

Гений Ортопедии

Orthopaedic Genius

Том 30
№ 3
2024

Научно-теоретический и практический журнал
Основан в память академика Г.А. Илизарова

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Бурцев А.В. (Россия, Курган) – **главный редактор**
Аранович А.М. (Россия, Курган) – **заместитель главного редактора**
Samchukov M.L. (США) – **заместитель главного редактора**
Баиндурашвили А.Г. (Россия, Санкт-Петербург)
Борзунов Д.Ю. (Россия, Екатеринбург)
Волокитина Е.А. (Россия, Екатеринбург)
Губин А.В. (Россия, Санкт-Петербург)
Дьячкова Г.В. (Россия, Курган)
Котельников Г.П. (Россия, Самара)
Кутепов С.М. (Россия, Екатеринбург)
Мироманов А.М. (Россия, Чита)
Линник С.А. (Россия, Санкт-Петербург)
Попков А.В. (Россия, Курган)
Попков Д.А. (Россия, Курган)
Рябых С.О. (Россия, Москва)
Скрябин Е.Г. (Россия, Тюмень)
Тихилов Р.М. (Россия, Санкт-Петербург)
Birch J.G. (США)
Catagni M.A. (Италия)
Chaudhary M.M. (Индия)
Dubousset J.F. (Франция)
Glatt V. (США)
Hosny G.A. (Египет)
Kirienko A. (Италия)
Lascombes P. (Швейцария)
Madan S. (Великобритания)
Monsell F. (Великобритания)
Paley D. (США)
Pinzur M.S. (США)
Podeszwa D.A. (США)
Weiss H.-R. (Германия)

Борзунова О.Б. – ответственный секретарь
Беляева М.А. – технический секретарь
Марченкова Л.О. – редактор

THE EDITORS

A.V. Burtsev (Russia, Kurgan) – **Editor in Chief**
A.M. Aranovich (Russia, Kurgan) – **Deputy Editor**
M.L. Samchukov (USA) – **Deputy Editor**
A.G. Baindurashvili (Russia, St. Petersburg)
D.Yu. Borzunov (Russia, Ekaterinburg)
E.A. Volokitina (Russia, Ekaterinburg)
A.V. Gubin (Russia, St. Petersburg)
G.V. Diachkova (Russia, Kurgan)
G.P. Kotel'nikov (Russia, Samara)
S.M. Kutepov (Russia, Ekaterinburg)
A.M. Miromanov (Russia, Chita)
S.A. Linnik (Russia, St. Petersburg)
A.V. Popkov (Russia, Kurgan)
D.A. Popkov (Russia, Kurgan)
S.O. Ryabykh (Russia, Moscow)
E.G. Skryabin (Russia, Tyumen)
R.M. Tikhilov (Russia, St. Petersburg)
J.G. Birch (USA)
M.A. Catagni (Italy)
M.M. Chaudhary (India)
J.F. Dubousset (France)
V. Glatt (USA)
G.A. Hosny (Egypt)
A. Kirienko (Italy)
P. Lascombes (Switzerland)
S. Madan (UK)
F. Monsell (UK)
D. Paley (USA)
M.S. Pinzur (USA)
D.A. Podeszwa (USA)
H.-R. Weiss (Germany)

O.B. Borzunova – Executive Secretary
M.A. Beliaeva – Technical Secretary
L.O. Marchenkova – Editor



Учредитель и издатель журнала:

**федеральное государственное бюджетное учреждение
«Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова»
Министерства здравоохранения Российской Федерации**



**Издание журнала осуществляется при поддержке
Ассоциации по изучению и применению метода Илизарова России (А.С.А.М.И. Россия)**

Журнал включен в перечень научных специализированных изданий ВАК, в которых могут публиковаться основные результаты диссертационных работ на соискание ученой степени кандидата наук, ученой степени доктора наук (3.1.8 – травматология и ортопедия)

Журнал включен в Реферативный журнал и Базы данных ВИНТИ

Сведения о журнале ежегодно публикуются в международной справочной системе по периодическим и продолжающимся изданиям «Ulrich's Periodicals Directory»

Журнал включен в библиографические и реферативные базы данных РИНЦ и SCOPUS

Журнал включен в электронные информационные ресурсы базы данных EBSCO

Электронная версия журнала размещена на сайтах

<http://ilizarov-journal.com>

<http://elibrary.ru>

<http://cyberleninka.ru>



Контент журнала доступен под лицензией Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY.

Адрес: 640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

Телефоны: (3522) 43-06-94 – редакция
(3522) 23-42-60 – реклама

Интернет: <http://ilizarov-journal.com/>

Email: genius@ilizarov.ru

Оригинал-макет изготовлен ОИАиВР ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Язык: русский, английский

Издается 6 раз в год

Цена свободная

© Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, 2024

Уважаемые коллеги!



Представляем вам очередной, третий в этом году, номер журнала, содержащий традиционные рубрики и охватывающий широкий спектр профессиональных вопросов не только травматологии и ортопедии, но и смежных дисциплин.

Клинические исследования представлены восемью публикациями.

Анализу причин ревизионных артропластик коленного сустава посвящена работа авторов из Саратова (М.В. Гиркало с соавт.), которые на основании 361 клинического наблюдения провели систематизацию этиологии патологических состояний, приводящих к необходимости ревизионного эндопротезирования. Авторами выделено три основных этиологических группы: I группа — перипротезная инфекция; II группа — состояния, связанные с ответом на продукты износа полиэтилена (остеолиз); III группа — биомеханические нарушения, куда можно отнести нарушение пространственной ориентации, размеров эндопротеза и все виды нестабильности. Авторы полагают, что предложенная систематизация причин ревизионных артропластик может помочь в проведении дальнейших исследований и будет полезной при создании национального регистра эндопротезирования в России.

Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик лечения разрывов передней крестообразной связки у 72 пациентов представлен в публикации Д.Ю. Пупынина с соавт. (Оренбург, Москва). Результаты исследования показали, что удаление поврежденной крестообразной связки с неповрежденной синовиальной оболочкой и замена ее трансплантатом может быть ненужным и чрезмерно агрессивным подходом. Динамическая интралигаментарная стабилизация в сравнении с ранней пластикой ПКС показывает более быстрое восстановление уровня физической активности в ближайшем периоде после операции и в отдаленном — меньшее количество рецидивов нестабильности коленного сустава.

Результаты многоцентрового исследования применения внутритканевой электростимуляции при лечении начальных стадий гонартроза у лиц пожилого и зрелого возраста анализируют Н.А. Бурматов с соавторами (Нижегород, Тюмень, Курган, Екатеринбург, Омск). Авторами доказана высокая эффективность применения ВТЭС в качестве противовоспалительной и противовоспалительной терапии, а изменения содержания гидроксипролина в исследованных средах позволяют предполагать хондропротективный эффект от применяемой терапии. Применение ВТЭС на ранних стадиях развития гонартроза ликвидирует болевой синдром, способствует снижению интенсивности процессов деструкции коллагена и восстановлению опороспособности конечности.

А.А. Суфианов с соавт. (Москва, Тюмень, Курган) посвятили свою работу изучению МСКТ-семиотики позвонков у 82 больных стенозом шейного отдела позвоночника. Авторы отмечают, что у пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника оценке плотности по данным МСКТ различных структурных образований позвонков должно придаваться наибольшее значение. Прежде всего, оценка плотности кости становится все более важной с возрастом пациентов. Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике. Полученные данные обосновывают необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ изучения плотности тел позвонков, дуги позвонка, ее толщины для разработки плана хирургического вмешательства у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника, поскольку они позволяют получать объективные данные о качестве кости.

Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении сидя и стоя предложили авторы из Новосибирска (В.В. Павлов с соавт.). В исследовании показано отсутствие статистической разницы значений углов PI стандартный для положения стоя и PI седалищный для положения сидя, что соответствует объективным данным и является общепринятым. Также приведены примеры изменения рентгенологических параметров наклона крестца и отклонения седалищных бугров, отражающих вращение таза в пространстве через вторую, седалищную, ось, что является подтверждением наличия двух осей вращения таза в зависимости от положения тела. Проведенные расчёты продемонстрировали возможности использования альтернативных показателей позвоночно-тазовых взаимоотношений (РТ седалищный, расстояние нависания крестца (overhang S1), отклонение седалищных бугров), которые позволяют оценить пространственную трансформацию таза, а также возможность прогнозирования пространственного положения ацетабулярной впадины, что является важным фактором, влияющим на успех лечения пациентов с сочетанной патологией тазобедренного сустава и позвоночника.

Особенности кинематики и кинетики двигательного стереотипа у детей с ахондроплазией проанализировали авторы из Кургана (Т.И. Долганова с соавт.). Авторами обнаружены статистически значимые нарушения в локоторной кинетике и кинематике. Первые связаны с продольным дефицитом сегментов конечностей и сниженной скоростью ходьбы. Вторые с продольным дефицитом не связаны, но проявлялись во всех плоскостях, а именно, увеличением максимального наклона таза вперед, сгибательной позицией в тазобедренном, коленном суставах и позицией тыльной флексии голеностопного сустава; увеличенным максимальным углом отведения бедра и варусной деформацией коленного сустава; увеличенным ротационным диапазоном движений таза.

Апробацию русскоязычных опросников FADI и FAAM для определения функции стопы до и после хирургического лечения провели авторы из Санкт-Петербурга (А.А. Акулаев с соавт.). По результатам апробации опросников в российской популяции пациентов установлено, что они чувствительны к изменениям в состоянии стопы/голеностопного сустава у пациентов, которым показано хирургическое лечение. Продемонстрированы надежность, валидность и информативность применения опросников FADI и FAAM у пациентов с патологией стопы, в том числе у спортсменов.

Завершает раздел пилотное исследование, обобщающее опыт ранней малоинвазивной фиксации разрыва лонного сочленения системой транспедикулярных винтов у 12 пострадавших с сочетанной травмой таза в остром периоде травматической болезни (А.В. Петров с соавт., Санкт-Петербург). Проанализировав исходы, авторы заключают, использование наkostных пластин для фиксации разрывов лонного сочленения приводит к нарушению его физиологической подвижности, а активизация пациента в послеоперационном периоде может вызвать перелом импланта. Оригинальные динамические пластины, проволочный серкляж позволяют избежать этого осложнения, однако все эти методики предполагают значительную операционную травму и кровопотерю, а также риск нагноения послеоперационной раны. Малоинвазивные способы фиксации при помощи канюлированных винтов, систем типа Endobutton, Tight Rope позволяют уменьшить интраоперационную травму и риск осложнений (кровопотеря, нагноение), однако процедура их установки является достаточно сложной и длительной, а для большей стабильности часто требуется внешняя фиксация тазового кольца. Методика малоинвазивной фиксации лонного сочленения системой транспедикулярных винтов отвечает современным требованиям лечения пострадавших с политравмой и нестабильным повреждением тазового кольца и может успешно применяться в остром периоде травматической болезни.

Экспериментальные исследования представлены в номере двумя публикациями.

Влияние моноклонального блокатора IL-6 на течение асептического некроза головки бедренной кости в эксперименте на 18 крысах изучили авторы из Кемерово (Н.А. Шабалдин с соавт.). Полученные авторами данные свидетельствуют о важной роли воспаления в регуляции остеодеструкции. Ингибирование биологического действия IL-6 способствовало угнетению экспрессии генов остеокластогенеза, усилению активности генов метаболизма костной ткани и обуславливало снижение интенсивности остеодеструкции и активацию остеорепаляции.

Оценку отдаленных результатов однократной интраоперационной электростимуляции после аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва у 30 взрослых крыс провели авторы из Кургана (Н.А. Шудло с соавт.). На основании полученных данных авторы делают заключение, что значимое увеличение диаметров регенерирующих нервных волокон в большеберцовом нерве, а также диаметров их аксонов и толщины миелинизированных оболочек через 4 и 6 месяцев после аутопластики большеберцовой порции седалищного нерва в группе животных с однократной 40-минутной ИЭС проксимального участка седалищного нерва свидетельствует о промотирующем влиянии примененного аддитивного воздействия на регенераторный аксоно- и миелиногенез. Увеличение просветов и улучшение пропускной способности эндоневральных сосудов большеберцового нерва в серии с ИЭС обеспечило стойкость нейрорегенераторного эффекта. Функциональная значимость эффектов однократной ИЭС подтверждается достоверно более высоким процентом животных с отличными результатами восстановления статического функционального индекса.

Новые технологии реконструкции пальцев кисти с применением 3D-печати представлены в работе Н.М. Александрова и И.Д. Вешаева (Нижний Новгород). Ретроспективно оценены результаты лечения 5 пациентов, у которых при предоперационном планировании, реконструкции первого пальца за счет кожно-костного лучевого лоскута с осевым кровоснабжением, перемещения культи третьего пальца и дистракционного удлинения культи первой и второй пястных костей применены оригинальные способы, основанные на 3D-технологии. У всех больных достигнуты консолидация интерпозиционных костных аллотрансплантатов при дистракционном удлинении культи пальцев, стабильность костной основы пальца, органотипическая перестройка краевого аллотрансплантата при пластике лучевым кожно-костным лоскутом и функционально-выгодное положение первого пальца после перемещения культи третьего. По данным авторов, применение 3D-технологии при реконструкции пальцев кисти за счет кожно-костного лучевого лоскута с осевым кровоснабжением и метода дистракции культи пальцев и пястных костей позволяет улучшить результаты оперативного лечения.

Представленные в номере случаи из практики касаются вопросов эндопротезирования голеностопного сустава при последствиях гематогенного остеомиелита большеберцовой кости (В.И. Зорин с соавт., Санкт-Петербург) и некрозе таранной кости, крузартрозе, эквино-варо-приведенной деформации стопы (В.В. Кузнецов с соавт., Москва), развития клиники илеофemorального тромбоза, вызванного мальпозицией илеосакрального винта (А.А. Гринь с соавт., Курган), использования корсета 3D немецкой школы в лечении ювенильного идиопатического сколиоза (В.Ф. Бландинский с соавт., Ярославль, Санкт-Петербург).

От имени редакционной коллегии журнала поздравляю всех читателей с Днем медицинского работника и желаю всех благ и профессиональных успехов.

Главный редактор журнала "Гений ортопедии"
д.м.н. Бурцев А.В.

Оригинальные статьи

- Анализ причин ревизионных артропластик коленного сустава 327
М.В. Гиркало, И.Н. Щаницын, В.В. Островский
- Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик
лечения разрывов передней крестообразной связки 337
Д.Ю. Пупынин, А.В. Лычагин, А.А. Грицюк
- Результаты применения внутритканевой электростимуляции при лечении начальных стадий гонартроза
у лиц пожилого и зрелого возраста 345
Н.А. Бурматов, К.С. Сергеев, С.Н. Лунева, А.А. Герасимов, С.А. Копылов, Н.А. Спиридонова
- МСКТ-семиотика позвонков у больных со стенозом шейного отдела позвоночника 353
А.А. Суфианов, Д.Н. Набиев, А.В. Бурцев, Р.А. Суфианов, М.Т. Карсанова, В.В. Питеров
- Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов
в положении сидя и стоя 362
В.В. Павлов, Е.А. Мушкетев, Э.Н. Тургунов, В.Л. Лукинов, А.В. Пелеганчук
- Особенности кинематики и кинетики двигательного стереотипа у детей с ахондроплазией:
сравнительное кросс-секционное исследование 372
Т.И. Долганова, Л.В. Смолькова, Д.В. Долганов, А.М. Аранович, Н.С. Гвоздев, Д.А. Попков
- Апробация русскоязычных опросников FAD1 и FAAM для определения функции стопы
до и после хирургического лечения 384
А.А. Акулаев, А.А. Иванов, Т.И. Ионова, Т.П. Никитина, К.А. Тищенко, А.А. Повалий
- Опыт ранней малоинвазивной фиксации разрыва лонного сочленения
системой транспедикулярных винтов у пострадавших с сочетанной травмой таза (пилотное исследование) 394
*А.В. Петров, И.В. Кажанов, В.И. Бадалов, С.И. Микитюк, Р.А. Преснов, В.А. Мануковский,
Я.В. Гавришук, Е.А. Колчанов*
- Влияние моноклонального блокатора IL-6 на течение асептического некроза головки бедренной кости
в эксперименте (пилотное исследование) 406
Н.А. Шабалдин, А.В. Синицкая, Л.Н. Игишева, Л.А. Богданов, А.В. Шабалдин
- Оценка отдаленных результатов однократной интраоперационной электронейростимуляции
после аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции
седалищного нерва взрослых крыс 417
Н.А. Щудло, Т.Н. Варсегова, Т.А. Ступина

Новые технологии

- Новые технологии реконструкции пальцев кисти с применением 3D-печати 427
Н.М. Александров, И.Д. Вешаев

Случай из практики

- Эндопротезирование голеностопного сустава у подростка с последствием гематогенного остеомиелита
большеберцовой кости 438
В.И. Зорин, А.И. Бердес, Д.А. Глухов, А.Ю. Мушкин
- Способ эндопротезирования голеностопного сустава при некрозе таранной кости, крузартрозе,
эквино-варо-приведенной деформации стопы 446
В.В. Кузнецов, В.Г. Процко, С.К. Тамоев, С.А. Оснач, А.В. Мазалов, В.В. Платонов
- Развитие клиники илеофemorального тромбоза, вызванного мальпозицией илеосакрального винта 456
А.А. Гринь, Е.О. Дарвин, В.И. Комаров
- Результат использования корсета 3D немецкой школы
в лечении пациентки с ювенильным идиопатическим сколиозом 464
В.Ф. Бландинский, Т.О. Могиланцева, Я.И. Павлова

Юбилей

- Кафедре усовершенствования врачей по чрескостному остеосинтезу в травматологии и ортопедии
в городе Кургане — 45 лет 472

Original Articles

Analysis of knee arthroplasty revision causes	327
<i>M.V. Girkalo, I.N. Shchanitsyn, V.V. Ostrovskij</i>	
Comparative analysis of five-year outcomes of anterior cruciate ligament tears repaired with different techniques	337
<i>D.Yu. Pupynin, A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk</i>	
Interstitial electrical stimulation for middle-aged, and elderly adults with early stages of knee osteoarthritis	345
<i>N.A. Burmatov, K.S. Sergeev, S.N. Luneva, A.A. Gerasimov, S.A. Kopylov, N.A. Spiridonova</i>	
MSCT-semiotics of vertebrae in patients with cervical spine stenosis	353
<i>A.A. Sufianov, D.N. Nabiev, A.V. Burtsev, R.A. Sufianov, M.T. Karsanova, V.V. Piterov</i>	
An alternative method for measuring patient's sagittal balance parameters in sitting and standing positions	362
<i>V.V. Pavlov, E.A. Mushkachev, E.N. Turgunov, V.L. Lukinov, A.V. Peleganchuk</i>	
Features of motor stereotype kinematics and kinetics in children with achondroplasia: a comparative cross-sectional study	372
<i>T.I. Dolganova, L.V. Smolkova, D.V. Dolganov, A.M. Aranovich, N.S. Gvozdev, D.A. Popkov</i>	
Russian versions of FADI and FAAM for preoperative and postoperative assessment of the foot function	384
<i>A.A. Akulaev, A.A. Ivanov, T.I. Ionova, T.P. Nikitina, K.A. Tishchenkov, A.A. Povaliy</i>	
Experience in early minimally invasive fixation of pubic symphysis disruption with a system of transpedicular screws in patients with combined pelvic trauma (pilot study)	394
<i>A.V. Petrov, I.V. Kazhanov, V.I. Badalov, S.I. Mikityuk, R.A. Presnov, V.A. Manukovsky, Ya.V. Gavrishuk, E.A. Kolchanov</i>	
The effect of the IL-6 monoclonal blocker on the course of aseptic femoral head necrosis in the experiment (pilot study)	406
<i>N.A. Shabaldin, A.V. Sinitskaya, L.N. Igisheva, L.A. Bogdanov, A.V. Shabaldin</i>	
Evaluation of long-term results of single intraoperative electrical neurostimulation after autologous plastic surgery of a resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve in adult rats	417
<i>N.A. Shchudlo, T.N. Varsegova, T.A. Stupina</i>	

New technologies

New finger reconstruction technologies using 3D printing	427
<i>N.M. Aleksandrov, I.D. Veshayev</i>	

Case report

Total ankle arthroplasty in an adolescent who suffered hematogenous osteomyelitis of tibia	438
<i>V.I. Zorin, A.I. Berdes, D.A. Glukhov, A.Yu. Mushkin</i>	
Ankle joint replacement for necrosis of the talus, crurarthrosis, equinovarus and adducted foot	446
<i>V.V. Kuznetsov, V.G. Protsko, S.K. Tamoev, S.A. Osnach, A.V. Mazalov, V.V. Platonov</i>	
Clinical development of ileofemoral thrombosis caused by malposition of the ileosacral screw	456
<i>A.A. Grin, E.O. Darwin, V.I. Komarov</i>	
A 3D German-designed brace used to treat adolescent idiopathic scoliosis	464
<i>V.F. Blandinskij, T.O. Mogilyantseva, Ya.I. Pavlova</i>	

Anniversary

The Faculty of Advanced Training in Transosseous Osteosynthesis at the Kurgan Ilizarov Center is 45 years old	472
---	-----

Научная статья

УДК 616.728.3-089.844-089.15

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-327-336>

Анализ причин ревизионных артропластик коленного сустава

М.В. Гиркало[✉], И.Н. Щаницын, В.В. Островский

Научно-исследовательский институт травматологии, ортопедии и нейрохирургии
Саратовского государственного медицинского университета им. В.И. Разумовского, Саратов, Россия

Автор, ответственный за переписку: Михаил Владимирович Гиркало, girkalo@mail.ru

Аннотация

Введение. Существующие разночтения в регистрах артропластики коленного сустава при определении показаний к ревизионному тотальному эндопротезированию коленного сустава (ТЭКС) приводят к путанице в отношении выявления ведущей патологии. Во многих работах указывают не одну причину ревизии, а несколько, что затрудняет сравнение. Таким образом, вопрос категоризации показаний к ревизионной артропластике после ТЭКС является слабым местом существующих регистров, как и любой большой ретроспективной серии.

Цель работы — систематизация этиологии патологических состояний, приводящих к необходимости ревизионного эндопротезирования коленного сустава.

Материалы и методы. В исследование включена 361 операция ревизионной артропластики коленного сустава. Проведен сравнительный анализ этиологии осложнений первичной артропластики с данными национальных регистров эндопротезирования и клинических исследований.

Результаты. Основные показания к ревизионному эндопротезированию коленного сустава: инфекция — в 48,2 % случаев (174/361), асептическая нестабильность эндопротеза (остеолиз) — в 38,2 % (138/361), нестабильность связочного аппарата — в 4,2 % (15/361). Только один тип осложнения определен в 98 (27,1 %) случаях, более одного — в 263 (85,2 %). Среди ранних осложнений преобладали инфекционные (126/234, 54 %), тогда как среди поздних — асептическое расшатывание (остеолиз) (69/127, 54 %).

Обсуждение. Показания к ревизионной артропластике можно разделить на три основных этиологических группы. Предложенная нами систематизация причин ревизионных артропластик может помочь в проведении дальнейших исследований и будет полезной при создании национального регистра эндопротезирования в России.

Заключение. Патологические состояния, приводящие к необходимости ревизионного эндопротезирования коленного сустава: I группа — перипротезная инфекция; II группа — состояния, связанные с ответом на продукты износа полиэтилена (остеолиз); III группа — биомеханические нарушения, к которым можно отнести нарушения пространственной ориентации, размеров эндопротеза и все виды нестабильности.

Ключевые слова: коленный сустав, эндопротезирование, осложнения, ревизионная артропластика, регистр, инфекция, нестабильность, остеолиз

Для цитирования: Гиркало М.В., Щаницын И.Н., Островский В.В. Анализ причин ревизионных артропластик коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):327-336. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-327-336. EDN: DJLVUP.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-327-336>

Analysis of knee arthroplasty revision causes

M.V. Girkalo✉, **I.N. Shchanitsyn**, **V.V. Ostrovskij**

Research Institute of Traumatology, Orthopaedics and Neurosurgery at the Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russian Federation

Corresponding author: Mikhail V. Girkalo, girkalo@mail.ru

Abstract

Introduction Existing discrepancies in knee arthroplasty registries regarding the definition of indications for revision TKA lead to confusion related to the identification of the leading pathology. Many works indicate not only one but several reasons for revision which makes comparison difficult. Therefore, the issue of categorizing indications for revision TKA is a weak point of the available registries and of any large retrospective series.

Purpose To systematize the etiology of pathological conditions leading to revision knee arthroplasty.

Materials and methods The study included 361 revision knee arthroplasties. A comparative analysis of the etiology of complications of primary arthroplasty was carried out with data from national arthroplasty registries and clinical studies.

Results The main indications for revision knee arthroplasty were infection in 48.2 % of cases (174/361), aseptic implant instability (osteolysis) in 38.2 % (138/361), and instability of the ligamentous apparatus in 4.2 % (15/361). In 98 cases (27.1 %), only one type of complication was identified, and in 263 (85.2 %) more than one. Infection prevailed among early complications (126/234, 54 %) and aseptic loosening (osteolysis) (69/127, 54 %) predominated among late complications.

Discussion In our opinion, the indications for revision arthroplasty can be divided into three main etiological groups: periprosthetic infection (group 1); conditions associated with a response to polyethylene wear products (osteolysis) (group 2); and biomechanical disorders, which include spatial malposition, incorrect implant sizes and all types of instability (group 3).

Conclusion Our systematization of revision arthroplasty causes can help in further research and will be useful in creating a national registry of arthroplasties in Russia.

Keywords: knee joint, joint replacement, complications, revision arthroplasty, registry, infection, instability, osteolysis

For citation: Girkalo MV, Shchanitsyn IN, Ostrovskij VV. Analysis of knee arthroplasty revision causes. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):327-336. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-327-336

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭКС) является наиболее часто используемым и эффективным методом лечения пациентов с остеоартрозом (ОА), который позволяет избавиться от болевого синдрома и улучшить функциональный статус [1]. Тем не менее, у части пациентов не отмечается улучшение в связи с развивающимися осложнениями, что требует выполнения повторного оперативного вмешательства на суставе. Ревизионное вмешательство на коленном суставе представляет собой сложную лечебно-диагностическую задачу с повышенным риском осложнений по сравнению с первичной хирургией [2]. Это требует ответственного подхода к определению показаний к ревизионной артропластике коленного сустава, что определяет необходимость детального анализа причин неудачного исхода первичной операции. Точное выделение ведущей патологии в оперированном коленном суставе и целенаправленное устранение её причины обеспечивает благоприятный исход лечения больных с осложнением после первичной артропластики.

Общее представление обо всех причинах неудач ТЭКС и абсолютных показаниях к ревизионному эндопротезированию можно составить, изучив данные национальных регистров и многоцентровых исследований. Однако данные регистров разнятся в силу специфики заполнения форм, анализа и интерпретации полученных результатов [3]. Многоцентровые исследования дают более детализированную картину, тем не менее, результаты также не однозначны. По данным D.F. Dalury et al., на первом месте среди причин ревизионного эндопротезирования находится нестабильность эндопротеза и инфекция [4], а по данным K. Thiele et al., лидером среди показаний к ревизии является нестабильность компонентов эндопротеза, на втором месте нестабильность связочного аппарата и только на третьем месте инфекция [5]. P.F. Sharkey et al. сообщали, что износ полиэтилена был наиболее распространенной причиной ревизии, который наблюдали в 19,4 % всех ревизий в их учреждении [6]. Однако через 10 лет P.F. Sharkey et al. сообщили, что асептическое расшатывание (39,9 %) стало превосходить по частоте износ полиэтилена (3,5 %) [7]. В последнее время износ полиэтилена, в принципе, не рассматривают как изолированное показание к ревизионному эндопротезированию, так как существует мнение, что продукты износа инициируют развитие остеолита.

Существующие разночтения в регистрах артропластики коленного сустава при определении показаний к ревизионному ТЭКС приводят к путанице в отношении выявления ведущей патологии. Например, боль в коленном суставе при отсутствии доказанного наличия иного вида осложнений некоторые авторы рассматривают как отдельное показание к ревизии, в то же время причиной такого состояния могут быть неуточненные инфекции, нестабильность связочного аппарата, нарушение ориентации компонентов или прогрессирование артроза. Во многих работах указывают не одну причину ревизии, а несколько, что затрудняет сравнение. Таким образом, вопрос категоризации показаний к ревизионной артропластике после ТЭКС является слабым местом существующих регистров, как и любой большой ретроспективной серии.

Цель работы — систематизация этиологии патологических состояний, приводящих к необходимости ревизионного эндопротезирования коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включено 361 клиническое наблюдение у 288 пациентов, которым в период с января 2016 года по декабрь 2019 года выполнена ревизионная артропластика. Исследование проведено на базе НИИТОН СГМУ, одобрено локальным комитетом по этике (протокол от 10.04.2018 № 8), включено в план научных исследований СГМУ им. В.И. Разумовского (номер государственного учёта НИОКТР АААА-А18-118050890023-7).

В рамках исследования проводили анализ этиологии осложнений, определивших показание к ревизионному ТЭКС, в том числе в зависимости от сроков после первичного ТЭКС; определяли частоту ревизионных вмешательств; различных демографических данных, включая возраст, пол, индекс массы тела (ИМТ), наличие сопутствующей патологии; хирургических методик, использованных для выполнения ревизионного ТЭКС.

Ревизионная операция нами определена как новая операция на ранее замененном коленном суставе, во время которой один или несколько компонентов (бедренный, большеберцовый, вкладыш, надколенник) заменяют, удаляют, переустанавливают или добавляют. Ревизионная операция может сопровождаться или не сопровождаться повторной имплантацией новых компонентов эндопротеза во время той же хирургической сессии (одноэтапная ревизия) или в более поздние сроки (многоэтапная ревизия). Все этапы одно- и многоэтапного лечения инфекции расценивали как одну ревизию. Все ревизионные вмешательства мы разделяли на первую и повторные ревизии. Повторную (вторую) ревизию определяли как вмешательство после первой ревизионной артропластики. Процедуры, при кото-

рых удаляли все компоненты эндопротеза и устанавливали цементный спейсер в связи с инфекцией, также регистрировали как отдельный случай ревизии. К ревизиям относили хирургические пособия с артротомией, направленные на улучшение баланса мягких тканей сустава (артролиз), дебридмент и ирригацию сустава, санацию сустава при хронических рецидивирующих гемартрозах; ревизии при несостоятельности одномышечковых эндопротезов вследствие прогрессирующего артроза мы также интерпретировали как отдельное ревизионное вмешательство.

Время до ревизии определяли как интервал между первичным эндопротезированием и первой ревизией, между первой ревизией и повторной ревизией. В случае двухэтапной ревизии мы использовали дату реимплантации в качестве конечной временной точки ревизии. Ввиду отсутствия в литературе последовательной и общепринятой категоризации сроков ревизии на ранние и поздние, мы придерживались предложенных P.F. Sharkey et al. временных интервалов: до двух лет — ранняя ревизия, более двух лет — поздняя ревизия [6].

Диагностику патологических состояний проводили следующим образом: для подтверждения перипротезной инфекции использованы критерии Международного консенсуса инфекции суставов [8]: наличие свища, двукратное выявление возбудителя инфекции при бактериологическом исследовании пунктата синовиальной жидкости коленного сустава и биоптата, подсчет лейкоцитов и нейтрофилов в синовиальной жидкости. Для выявления остеолита в области имплантата использовали данные рентгенографии. С целью оценки пространственной ориентации компонентов эндопротеза выполняли рентгенографию стоя с захватом тазобедренных, коленных и голеностопных суставов, а при необходимости — компьютерную томографию (КТ). Дефиницию нарушения пространственной ориентации компонентов и несостоятельность связок коленного сустава проводили интраоперационно. Полученные данные сравнивали с национальными регистрами и опубликованными исследованиями.

Статистическую обработку данных проводили с использованием SPSS 21.0. Нормальность распределения количественных признаков оценивали с применением методов Колмогорова – Смирнова и Шапиро – Уилка. Учитывая ненормальное распределение большинства количественных признаков, применяли непараметрические методы статистики. Для описания количественных параметров использовали медиану и квартили. Анализ различий между группами по количественным признакам проводили с использованием критерия U Манна – Уитни. Для качественных признаков применяли критерий Хи квадрат Пирсона. Достоверным считали результаты при $p < 0,05$, для всех критериев оценивали двустороннюю значимость.

РЕЗУЛЬТАТЫ

За период 2016–2019 гг. в НИИТОН СГМУ выполнено 7 877 артропластик коленного сустава, из них 7 516 первичных и 361 ревизионная. Ревизионные вмешательства составили 4,58 % от общего количества артропластик. В 175 случаях из 361 (48 %) первичное эндопротезирование также выполнено в НИИТОН СГМУ, 186 пациентов из 361 (52 %) направлены в наш центр из других медицинских учреждений. Среди всех случаев ревизионного эндопротезирования коленного сустава первую ревизию выполняли в 64,5 % (233/361). Вторая ревизия выполнена в 27,7 % (100/361). Третья и четвертая ревизии выполнены в 6,4 % (23/361) и 1,4 % (5/361) соответственно. По гендерному распределению ревизионные вмешательства преобладали у женщин, что составило 75 % (270/361). Медиана возраста составила 65 лет (59–71; IQR — межквартильный интервал), ИМТ — 34 (29–37; IQR). В подавляющем большинстве случаев показанием к первичной артропластике был остеоартроз (82 %).

Среди первых ревизий 139 операций (59,7 %) пришлось на срок менее двух лет после первичной имплантации. Медиана составила 19 месяцев (IQR: 11–36 месяцев). В 128 случаях (35,4 %) на одном суставе выполняли две и более ревизии. В срок до двух лет выполнено 74 % (95/128) всех повторных ревизий. Что касается возрастных групп, у пациентов в возрасте от 65 до 74 лет чаще проводили ревизионную артропластику (43 %), за ними следуют пациенты в возрасте от 55 до 64 лет (38 %).

Среди показаний к ревизионному эндопротезированию инфекцию встречали в 48,2 % (174/361) случаев, асептическую нестабильность эндопротеза — в 38,2 % (138/361), нестабильность связочного аппарата — в 4,2 %, контрактуру/артрофиброз — в 3,9 %, проблемы с надколенником — в 1,7 %, перипротезный перелом — в 1,4 %, нарушение пространственной ориентации — в 1,1 %, износ имплантата — в 0,6 %, другие причины (длительное заживление раны, отхождение гематомы в трех случаях) — в 0,8 %. Только один тип осложнения имели 98 пациентов (27,1 %), более одного — 263 (85,2 %).

Ранние осложнения в срок до двух лет отмечены у 234 пациентов (65 %), поздние осложнения через два года и более после первичной артропластики выявлены в 127 случаях (35 %). Структура ранних и поздних осложнений представлена в таблице 1. Среди ранних осложнений преобладали инфекционные в 126 (54 %) случаях, среди поздних — асептическое расшатывание в 69 (54 %) случаях.

Таблица 1

Осложнения первичного ТЭКС и интервал до ревизии

Причина ревизии	Всего (n = 361)		Срок ревизии, месяцы					
			Me (IQR)	ранние, < 2 лет (n = 234)		поздние, > 2 лет (n = 127)		p*
	абс.	%		абс.	%	абс.	%	
Инфекция	174	48	15 (7–27)	126	54	48	38	0,004
Асептическое расшатывание	138	38	24 (12–43)	69	30	69	54	< 0,001
Контрактура	14	3,9	10 (3–16)	13	5,6	1	0,8	0,024
Нестабильность связок	15	4,2	14 (6–19)	12	5,1	3	2,4	0,275
Проблемы с надколенником	6	1,7	17 (9–32)	4	1,7	2	1,6	0,644
Нарушение ориентации	4	1,1	16 (13–44)	3	1,3	1	0,8	0,56
Перипротезный перелом	5	1,4	13 (10–86)	3	1,3	2	1,6	0,576
Износ имплантата	2	0,6	26 (18–26)	1	0,4	1	0,8	0,58
Другие	3	0,8	5 (1–5)	3	1,3	0	0	0,271

* — расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера).

В большинстве случаев — 149 (64 %) — первичные ревизии выполняли после первично установленных эндопротезов с задней стабилизацией. В 70 случаях (30 %) — после установки протезов с сохранением крестообразной связки. В таблице 2 представлена характеристика выполненных ревизионных вмешательств.

Таблица 2

Характеристика выполненных ревизионных вмешательств

Ревизионное вмешательство	Все ревизии (n = 361)		Первая ревизия (n = 233)		Повторная ревизия (n = 128)		p*
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	
Одноэтапная ревизия	130	36	88	37,7	42	32,8	0,378
замена всех компонентов	99	76	66	28,3	33	25,7	0,392
замена бедренного компонента	4	3	4	1,7	0	0	
замена вкладыша	11	8	9	3,8	2	1,5	
замена вкладыша и большеберцового компонента	3	2	2	0,85	1	0,8	
замена большеберцового компонента	13	10	7	3	6	4,7	
замена одномоментного протеза	1	0,3	1	0,4	0	0	0,67
эндопротезирование надколенника	5	1,4	3	1,3	2	1,6	0,581
Двухэтапное вмешательство	193	53,5	132	56,7	61	47,6	0,101
1 этап: установка спейсера	31	16	15	6,4	16	12,5	< 0,001
2 этап: замена спейсера на протез	156	81	117	50,2	39	30,4	
переустановка спейсера	6	3	0		6	4,6	
Резекционная артропластика	3	0,8	0		3	2,3	0,044
Ревизия и санация (дебридмент, ирригация)	12	3,3	2	0,9	10	7,8	0,001
Артродезирование	3	0,8	1	0,4	2	1,6	0,287
Артротомия, артролиз	14	3,9	6	2,5	8	6,3	0,084
Пластика связки надколенника	1	0,3	1	0,4	0	0	0,645
Остеосинтез	5	1,4	2	0,9	3	2,3	0,241
Показатели	Все ревизии (n = 361)		Первая ревизия (n = 233)		Повторная ревизия (n = 128)		p*
Время операции, мин.	115 (95–135)		115 (95–135)		110 (75–125)		0,592
Кровопотеря операция, мл	200 (200–300)		200 (200–300)		200 (200–300)		0,672
Кровопотеря по дренажу, мл	300 (200–500)		300 (200–500)		300 (200–500)		0,353
Срок госпитализации, дни	8 (7–10)		8 (7–10)		9 (8–13)		0,046
Срок наблюдения, мес.	26 (11–52)		26 (14–55)		24 (11–42)		0,501

* — расчет критерия χ^2 (точный критерий Фишера) и критерия U Манна – Уитни.

Первые и повторные ревизии не отличались значимо при сравнении частоты одномоментных и двухэтапных вмешательств. Резекционную артропластику и артродез выполняли в основном при повторной ревизии. Отмечали незначимое увеличение медианы срока между этапами хирургического лечения при двухэтапном подходе в группе повторных вмешательств ($p = 0,523$). Время операции, интраоперационная и послеоперационная кровопотеря не различалась в группах первой или повторной ревизии. Медиана продолжительности пребывания в стационаре для ревизионной процедуры составила 8 дней (7–10), при этом операции артротомии были связаны с самым продолжительным пребыванием в 12 дней (10–14), а ревизия компонента надколенника связана с самым коротким пребыванием в 3 дня (3–5).

ОБСУЖДЕНИЕ

По данным национальных регистров и баз данных, мы наблюдаем ежегодное увеличение числа ревизионных артропластик коленного сустава вместе с увеличением числа его первичных эндопротезирований [9, 10, 11]. Для США в течение следующих 10 лет прогнозируют увеличение числа ревизионных ТЭКС на 78–182 % [10]. Осложнения после эндопротезирования коленного сустава встречаются нечасто, однако, по данным основных регистров артропластики, они составляют 2,0–11 %. Согласно данным австралийского регистра, процент ревизионных вмешательств составляет в среднем 8,6 % за 20 лет [12]. В регистре Англии — в среднем 6,2 % [13], в североамериканском регистре — 8,5 % [14]. Такую же картину наблюдают и в России. По данным регистра НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, с 2011 по 2019 г. выявлено увеличение числа ревизионных артропластик на 204 %, при этом практически не изменилось соотношение первичных и ревизионных артропластик [15]. В НИИТОН СГМУ ежегодная частота выполнения ревизий незначительно увеличилась с 4,8 % в 2016 г. до 5,9 % в 2019 г. Средняя ежегодная частота ревизий среди всех артропластик коленного сустава за 2016–2019 гг. составила 4,6 %.

В нашем исследовании медиана времени между первой операцией и ревизионной артропластикой составила 17 мес. (9–34, IQR). Эти данные отличаются в меньшую сторону от данных зарубежных авторов. По данным исследования A. Postler et al., в которое вошло 402 наблюдения, время между первичной артропластикой и первой ревизией составило в среднем 8,1 года [16], P.F. Sharkey et al. сообщают о семилетнем интервале до первой ревизии [7], K. Thiele et al. на серии наблюдений из 358 пациентов демонстрируют среднее время до первой ревизии в 7,9 года [5]. По нашему мнению, это может быть связано с преобладанием в нашем исследовании пациентов с ранними осложнениями. В срок до двух лет первая ревизия была выполнена в 234 случаях, что составило 65 %. У наших коллег ранние ревизии отмечены в 76 случаях из 402 наблюдений, что составляет только 19 % [16].

Структура и соотношение показаний к ревизионному эндопротезированию в большинстве зарубежных исследований неоднозначны. К примеру, по данным P.F. Sharkey et al., основной причиной ревизии был износ полиэтилена (19,4 %) [6], однако 12 лет спустя данные изменились, и ведущей причиной для повторного эндопротезирования коленного сустава стал остеолит (39,9 %) [7]. K. Thiele et al. определили ведущие показания к ревизии: остеолит (21,8 %), нестабильность связок (21,8 %) и нарушение позиционирования компонентов эндопротеза (20,7 %) [5]. В итальянском и австралийском регистрах артропластики остеолит, как основное показание к ревизии, доминирует и составляет 33 % и 27 % соответственно. Второе место, как показание к повторному вмешательству, занимает инфекция, на долю которой приходится 27 и 23 % случаев соответственно [17, 12]. Подобные результаты получены и в регистре Швейцарии: асептическое расшатывание и остеолит выявлены в 21,8 % случаев, инфекция — в 14 % [18]. По данным базы данных США, в период 2009–2013 гг. также превалировало асептическое расшатывание [19], однако в последующем регистре США (2012–2021 гг.) основной причиной ревизии стала инфекция — 28 % [14].

Структура осложнений первичной артропластики коленного сустава, как показание к повторному вмешательству, полученная в ходе нашего исследования, представлена в таблице 1. Среди ранних осложнений (до двух лет после первичного ТЭКС) преобладала инфекция (54 %), а среди поздних — асептическое расшатывание (54 %). Эти результаты повторяют данные других исследований. Так, в сроки до двух лет наиболее частыми показаниями к ревизионному эндопротезированию являются инфекция и нестабильность связочного аппарата [5, 7, 16]. Результаты исследований, в которых инфекция стоит на первом месте среди показаний к ревизии, демонстрируют преобладание пациентов с повышенным ИМТ [20, 21]. Так и в нашем исследовании среди всех ревизий преобладали вмешательства у пациентов с ожирением, медиана ИМТ составила 34 кг/м² (29–37, IQR).

По истечении двухлетнего периода после первичного эндопротезирования наиболее частыми показаниями к ревизии оказываются остеолит с нестабильностью компонентов эндопротеза и износ полиэтилена [6, 22]. В нашем исследовании среди причин ранних ревизий после инфекции следуют: асептическое расшатывание и остеолит (30 %), ограничение амплитуды движений (контрактура/артрофиброз) (5,6 %), нестабильность связочного аппарата (5,1 %), проблемы с надколенником (1,7 %),

перипротезный перелом (1,3 %), нарушение позиционирования компонентов эндопротеза (1,3 %) и износ имплантата (0,4 %). Асептическое расшатывание и остеолит, как показания к ранней ревизии, отмечены в 30 %.

Среди осложнений, возникших через два года и более после первичной артропластики, на первом месте по частоте в нашей работе зарегистрированы асептическое расшатывание (54 %) и инфекция (38 %), далее следует нестабильность связочного аппарата (2,4 %), проблемы с надколенником (1,6 %) и перипротезные переломы (1,6 %), мальпозиция компонентов эндопротеза (0,8 %) и износ имплантата (0,8 %). Эти данные не демонстрируют расхождения с результатами предыдущих исследований.

Необходимо отметить, что непрерывное изучение этиологии ревизионных ТЭКС может стать шагом на пути к улучшению результатов и уменьшению необходимости повторных ревизий в будущем. Полученные нами данные по частоте выполнения ревизионной артропластики свидетельствуют о том, что прогнозы наших зарубежных коллег сбываются [23]. Мы отметили рост доли ревизионных артропластик в структуре операций на коленном суставе с 3,1 % в 2017 г. до 5,9 % в 2019 г., в абсолютных значениях также отмечено увеличение до 116 операций. На наш взгляд, это связано с тем, что операция эндопротезирования коленного сустава является одной из самых распространенных в ортопедии и выполняется повсеместно. При этом значительное число травматологов-ортопедов выполняют менее 50 артропластик в год, а регулярность выполнения данной процедуры хирургом имеет влияние на частоту развития осложнений [24]. На наш взгляд, эта гипотеза требует проверки в будущих исследованиях и, вероятно, потребует определение минимального порога хирургической активности травматолога-ортопеда для успешного прохождения кривой обучения.

При сравнении интервала времени между первичной артропластикой и ревизионной мы отметили значительное различие между нашими данными и данными зарубежных исследований. Всего полтора года против семи лет по данным P.F. Sharkey et al. [7]. Это объясняется значительной долей ранних осложнений у пациентов в нашем исследовании. Осложнения, развившиеся в сроки до двух лет, отмечены у 234 пациентов (64,8 %), среди которых преимущественно встречались пациенты с перипротезной инфекцией (126; 54 %).

Наши данные совпадают с данными A. Postler et al. [16], где инфекция, как ведущее показание к ревизии, отмечена у 36,3 %, остеолит — у 21,6 % (в нашей работе — 48,2 % и 38,2 % соответственно). Однако ситуация в национальных регистрах Германии, Норвегии и Новой Зеландии несколько другая, и там преобладает остеолит как основная причина для ревизии [25, 26, 27]. Это можно объяснить разницей в наборе пациентов для исследования. Так, регистры учитывают все случаи ревизий на территории целого государства, и эти данные можно считать достаточно объективными и корректными. В случае с исследованиями, проводимыми в крупных ортопедических центрах, набор пациентов несколько другой. В связи с высокой ресурсоемкостью [16, 20, 21] и требованиями к квалификации медицинского персонала, необходимыми для успешного лечения инфекционных осложнений, больные с перипротезной инфекцией из других медицинских учреждений концентрируются в крупных федеральных центрах, что меняет статистику — именно это можно наблюдать в нашем исследовании и в исследовании A. Postler et al. [16]. Стоит отметить, что тенденция Североамериканского регистра системы здравоохранения свидетельствует о росте инфекционных осложнений в структуре показаний к ревизионной артропластике, особенно при ранней ревизии (в течение первых трех месяцев после первичной артропластики). При сравнении различных причин ревизий наблюдают рост частоты инфекции с 18,2 % в 2012 г. [19] до 28,4 % в 2021 г. [14]. Этот факт отличия Североамериканского регистра от европейских и Новозеландского национальных регистров заставляет предположить, что эта тенденция в скором времени может стать повсеместной. На наш взгляд, это может быть связано с ухудшающимся соматическим статусом пациентов при первичной артропластике. Результаты исследований, в которых инфекция стоит на первом месте среди показаний к ревизии, демонстрируют преобладание пациентов с повышенным ИМТ [21]. Так и в нашем исследовании среди всех ревизий преобладали пособия, выполненные пациентам с ожирением, медиана ИМТ составила 34 кг/м² (29–37, IQR).

Обращает на себя внимание тот факт, что у большинства пациентов с контрактурами коленного сустава, признаками нестабильности связочного аппарата и болевым синдромом без подтвержденного остеолита и инфекции мы обнаруживали мальпозицию компонентов эндопротеза. Нарушение ориентации компонентов идентифицировали интраоперационно в виде оверсайзинга или ротационных отклонений бедренного и большеберцового компонентов. Эти отклонения компонентов эндопротеза в большинстве случаев проявлялась клинически в виде болевого синдрома и ограничения амплитуды движений, возникших сразу после первичной артропластики.

Дело в том, что основные причины неудовлетворенности пациентов, снижающей качество жизни, — это болевой синдром, ограничение амплитуды движения и нестабильность сустава [28], но эти симптомы могут быть проявлением различных состояний и патологических процессов. В нашем исследо-

вании таковых было восемь (от инфекции и асептической нестабильности до нарушения ориентации и болевого синдрома неясной этиологии). Многие состояния имеют общую природу — к примеру, проблемы с надколенником в виде его нестабильности или болевого синдрома, равно как контрактура или артрофиброз, могут быть следствием нарушения пространственной ориентации компонентов эндопротеза [29, 30]. На наш взгляд, всё множество показаний к ревизии (осложнений первичной артропластики) можно разделить на три основных этиологических группы: I группа — перипротезная инфекция; II группа — состояния, связанные с ответом на продукты износа полиэтилена (остеолиз); III группа — биомеханические нарушения, к которым можно отнести нарушение пространственной ориентации, размеров эндопротеза и все виды нестабильности. Соответственно данной категоризации мы можем предложить объяснение причин возникновения данных осложнений. К примеру, на риск развития инфекционных осложнений влияет состояние пациента (наличие ожирения, сопутствующей патологии и иммунодефицитных состояний), для развития остеолиза важным фактором риска будет качество материалов, из которых изготавливают имплантат. В частности, высокомолекулярный полиэтилен без поперечно-сшитых молекул значительно уступает по износостойчивости полиэтилену, изготовленному по технологии crosslink или импрегнированному витамином Е. Возникновение осложнений из группы биомеханических осложнений обусловлено погрешностями в хирургической технике выполнения операции и зависит от мастерства хирурга и его оснащённости высокоточным инструментарием в виде компьютерной навигации или персональных резекторных блоков. Все вышеперечисленное предполагает проведение комплекса мероприятий по стратификации и менеджменту рисков развития данных осложнений (табл. 3).

Таблица 3

Характеристика групп осложнений ТЭКС

Показатели	I группа ИНФЕКЦИЯ	II группа ОСТЕОЛИЗ	III группа БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ НАРУШЕНИЯ
Нозологические формы	Перипротезная инфекция	Асептическая нестабильность Остеолиз Миграция имплантата	Контрактура Нестабильность связок Проблемы с надколенником Дисбаланс промежутков Смещение Нарушение ориентации
Этиология	Возбудитель + состояние пациента	Продукты износа полиэтилена	Погрешности при выполнении ТЭКС
Факторы риска	Сопутствующая патология (ожирение, иммунодефицитные состояния и т.д.)	Качество материалов и дизайн эндопротеза	Кривая обучения хирурга, недостаточно точный инструментарий
Методы профилактики	Отбор и подготовка пациента к операции	Улучшение технических характеристик эндопротезов для первичного ТЭКС	Повышение точности выполнения ТЭКС за счёт использования «цифровых помощников» (КТ-планирование, навигация, персональные блоки)

Наше исследование имеет определенные ограничения. Более половины (51 %) пациентов были направлены в наш центр из других медицинских учреждений, находящихся в том же или другом субъекте РФ. Это может исказить структуру осложнений по той причине, что лечение перипротезной инфекции, как очень ресурсоёмкий раздел в травматологии и ортопедии, может быть выполнено не в каждой клинике. Это приводит к притоку пациентов с инфекционными осложнениями в наш центр и меняет распределение осложнений в сторону увеличения инфекционных. Опять же, пациенты, ранее наблюдавшиеся в других клиниках, не всегда объективно могли оценить своё состояние, что приводило к сложностям в установлении точных сроков развития осложнения после первичной артропластики. Диагностические категории оценки причин ревизий разнятся в разных базах данных и регистрах. Вопрос категоризации причин ревизионной артропластики является слабым местом в любой большой ретроспективной серии, и в нашем исследовании некоторые причины к той или иной группе могли быть отнесены ошибочно. В некоторых случаях было отмечено несколько показаний к ревизии одновременно, и не было возможности установить первопричину осложнения. Поэтому мы использовали иерархию причин ревизии, чтобы ранжировать случаи с более чем одной причиной, а таких пациентов было большинство (85 %). Учитывая небольшой срок наблюдения в нашем исследовании (2–5 лет) относительно данных некоторых регистров, осложнения, которые часто возникают вскоре после операции (инфекция), представлены чаще по сравнению с отдалёнными осложнениями (асептическое расшатывание). Несмотря на все эти ограничения, мы смогли проиллюстрировать данные по этиологии ревизионной артропластики на большой группе пациентов. Будущие исследования должны включать изучение факторов риска ревизии. Для обеспечения достоверности и мощности таких исследований необходимо внедрение национального регистра, который позволит оценивать результаты в большой когорте пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Патологические состояния, приводящие к необходимости ревизионного эндопротезирования коленного сустава: I группа — перипротезная инфекция; II группа — состояния, связанные с ответом на продукты износа полиэтилена (остеолиз); III группа — биомеханические нарушения, к которым можно отнести нарушения пространственной ориентации, размеров эндопротеза и все виды нестабильности.

Предложенная нами систематизация причин ревизионных артропластик может помочь в проведении дальнейших исследований и будет полезной при создании национального регистра эндопротезирования в России.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Работа выполнена в соответствии с инициативным планом НИР (Регистрационный номер: АААА-А18-118050890023-7).

Этическая экспертиза. Исследование было одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «СГМУ им. В.И. Разумовского» Минздрава России (протокол № 8 от 10.04.2018) и проводилось в соответствии с этическими стандартами, разработанными согласно Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Информированное согласие. Все участники исследования подписали форму информированного согласия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Carr AJ, Robertsson O, Graves S, et al. Knee replacement. *Lancet*. 2012;379(9823):1331-1340. doi: 10.1016/S0140-6736(11)60752-6
- Lei PF, Hu RY, Hu YH. Bone Defects in Revision Total Knee Arthroplasty and Management. *Orthop Surg*. 2019;11(1):15-24. doi: 10.1111/os.12425
- Belt M, Hannink G, Smolders J, et al. Reasons for revision are associated with rerevised total knee arthroplasties: an analysis of 8,978 index revisions in the Dutch Arthroplasty Register. *Acta Orthop*. 2021;92(5):597-601. doi: 10.1080/17453674.2021.1925036
- Dalury DF, Pomeroy DL, Gorab RS, Adams MJ. Why are total knee arthroplasties being revised? *J Arthroplasty*. 2013;28(8 Suppl):120-121. doi: 10.1016/j.arth.2013.04.051
- Thiele K, Perka C, Matziolis G, et al. Current failure mechanisms after knee arthroplasty have changed: polyethylene wear is less common in revision surgery. *J Bone Joint Surg Am*. 2015 6;97(9):715-720. doi: 10.2106/JBJS.M.01534
- Sharkey PF, Hozack WJ, Rothman RH, et al. Insall Award paper. Why are total knee arthroplasties failing today? *Clin Orthop Relat Res*. 2002;(404):7-13. doi: 10.1097/00003086-200211000-00003
- Sharkey PF, Lichstein PM, Shen C, et al. Why are total knee arthroplasties failing today--has anything changed after 10 years? *J Arthroplasty*. 2014;29(9):1774-8. doi: 10.1016/j.arth.2015.07.024
- Parvizi J, Gehrke T. International consensus on periprosthetic joint infection: let cumulative wisdom be a guide. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(6):441. doi: 10.2106/JBJS.N.00023
- Bozic KJ, Kamath AF, Ong K, et al. Comparative Epidemiology of Revision Arthroplasty: Failed THA Poses Greater Clinical and Economic Burdens Than Failed TKA. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(6):2131-2138. doi: 10.1007/s11999-014-4078-8
- Rupp M, Walter N, Lau E, et al. Recent trends in revision knee arthroplasty in Germany. *Sci Rep*. 2021;11(1):15479. doi: 10.1038/s41598-021-94988-7
- Kim TW, Kang SB, Chang CB, et al. Current Trends and Projected Burden of Primary and Revision Total Knee Arthroplasty in Korea Between 2010 and 2030. *J Arthroplasty*. 2021;36(1):93-101. doi: 10.1016/j.arth.2020.06.064
- Australian Orthopaedic Association National Joint Replacement Registry (AOANJRR). *Hip, Knee & Shoulder Arthroplasty: 2020 Annual Report*. Adelaide: AOA; 2020:219-289. Available at: <https://aoanjrr.sahmri.com/annual-reports-2020>. Accessed Nov 14, 2023.
- Ben-Shlomo Y, Blom A, Boulton C, et al. *The National Joint Registry 17th Annual Report 2020 [Internet]*. London: National Joint Registry; 2020.
- The Ninth Annual Report of the AJRR on Hip and Knee Arthroplasty*. 2023;1-119. Available at: <https://orthocg.com/american-joint-replacement-registry-releases-2022-annual-report/>. Accessed Nov 14, 2023.
- Куляба Т.А., Корнилов Н.Н., Тихилов Р.М. *Руководство по ревизионному эндопротезированию коленного сустава*. СПб: НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена; 2021:400.
- Postler A, Lützner C, Beyer F, et al. Analysis of Total Knee Arthroplasty revision causes. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):55. doi: 10.1186/s12891-018-1977-y
- Torre M, Laricchiuta P, Luzi I, et al. *Italian Arthroplasty Registry Project. Better data quality for better patient safety. Fourth Report 2017 - Addendum*. Roma: Il Pensiero Scientifico Editore. 2018. Available at: <http://www.iss.it/riap>. Accessed Nov 14, 2023.
- National Swiss Registry Hip & Knee Joint. Report 2022. Annual Report of the SIRIS Registry Hip & Knee, 2012–2021*. 2022:169. Available at: https://www.swiss-medtech.ch/sites/default/files/2022-12/ANQakut_SIRIS_Hips-Knee_Annual-Report_2022.pdf. Accessed Nov 14, 2023.
- Delanois RE, Mistry JB, Gwam CU, et al. Current Epidemiology of Revision Total Knee Arthroplasty in the United States. *J Arthroplasty*. 2017;32(9):2663-2668. doi: 10.1016/j.arth.2017.03.066
- Boelch SP, Jakuscheit A, Doerries S, et al. Periprosthetic infection is the major indication for TKA revision - experiences from a university referral arthroplasty center. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):395. doi: 10.1186/s12891-018-2314-1
- Koh CK, Zeng I, Ravi S, et al. Periprosthetic Joint Infection Is the Main Cause of Failure for Modern Knee Arthroplasty: An Analysis of 11,134 Knees. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(9):2194-2201. doi: 10.1007/s11999-017-5396-4

22. Khan M, Osman K, Green G, Haddad FS. The epidemiology of failure in total knee arthroplasty: avoiding your next revision. *Bone Joint J.* 2016;98-B(1 Suppl A):105-112. doi: 10.1302/0301-620X.98B1.36293
23. Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222
24. Mohammad HR, Matharu GS, Judge A, Murray DW. The Effect of Surgeon Caseload on the Relative Revision Rate of Cemented and Cementless Unicompartamental Knee Replacements: An Analysis from the National Joint Registry for England, Wales, Northern Ireland and the Isle of Man. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(8):644-653. doi: 10.2106/JBJS.19.01060
25. Grimberg A, Jansson V, Lützner J, et al. *The German Arthroplasty Registry. Annual Report 2021.* 2021:104. doi: 10.36186/reportepd052022
26. Gundersen T, Furnes O, Gjertsen J, et al. *Annual report 2021 Norwegian National Advisory Unit on Arthroplasty and Hip Fractures Norwegian Arthroplasty Register Norwegian Cruciate Ligament Register Norwegian Hip Fracture Register Norwegian Paediatric Hip Register.* 2021:404. doi: 10.13140/RG.2.2.34266.26566
27. McKie J, Taylor J, Devane P, et al. *The new Zealand joint registry. Twenty-three year report. January 1999 to December 2021.* 2023:237. Available at: <https://www.nzoa.org.nz/>. Accessed Nov 14, 2023.
28. Bourne RB, Chesworth BM, Davis AM, et al. Patient satisfaction after total knee arthroplasty: who is satisfied and who is not? *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(1):57-63. doi: 10.1007/s11999-009-1119-9
29. Li CY, Ng Cheong Chung KJ, Ali OME, et al. Literature review of the causes of pain following total knee replacement surgery: prosthesis, inflammation and arthrofibrosis. *EFORT Open Rev.* 2020;5(9):534-543. doi: 10.1302/2058-5241.5.200031
30. Debbi EM, Alpaugh K, Driscoll DA, et al. Rotating Hinge Revision Total Knee Arthroplasty for Severe Arthrofibrosis. *JBJS Essent Surg Tech.* 2021;11(4):e21.00009. doi: 10.2106/JBJS.ST.21.00009

Статья поступила 29.06.2023; одобрена после рецензирования 08.11.2023; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 29.06.2023; approved after reviewing 08.11.2023; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Михаил Владимирович Гиркало — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, girkalo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5847-1153>, SPIN-код: 6151-4375;

Иван Николаевич Щаницын — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, dr.green@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0565-5172>, SPIN-код: 3653-9302;

Владимир Владимирович Островский — доктор медицинских наук, врач-нейрохирург, sarniito@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>, SPIN-код: 7078-8019.

Information about the authors:

Mikhail V. Girkalo — Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist, girkalo@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5847-1153>, SPIN-code: 6151-4375;

Ivan N. Shchanitsyn — Candidate of Medical Sciences, senior researcher, dr.green@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0565-5172>, SPIN-code: 3653-9302;

Vladimir V. Ostrovskij — Doctor of Medical Sciences, neurosurgeon, sarniito@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>, SPIN-code: 7078-8019.

Вклад авторов:

Гиркало М.В. — концептуализация, методология, валидация, написание (рецензирование и редактирование), визуализация.

Щаницын И.Н. — формальный анализ, исследование, обработка данных, написание (первоначальный вариант), визуализация.

Островский В.В. — контроль, управление проектом.

Научная статья

УДК 616.758.3-001.48-08-035:616-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344>

Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик лечения разрывов передней крестообразной связки

Д.Ю. Пупынин¹, А.В. Лычагин², А.А. Грицюк²✉

¹ Оренбургский областной клинический центр хирургии и травматологии, Оренбург, Россия

² Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Анатольевич Грицюк, drgaamma@gmail.com

Аннотация

Введение. Первичное восстановление передней крестообразной связки (ПКС) при ее отрывах от бедренной кости с сохранением синовиальной оболочки является показанием для двух конкурирующих методов: сберегающего — динамической интралигаментарной стабилизации (ДИС) и более травматичного — резекции культы и первичной аутопластики.

Цель работы — оценить пятилетние результаты ДИС в сравнении с ранней пластикой ПКС коленного сустава.

Материалы и методы. Проведено исследование и статистический анализ результатов лечения 72 пациентов с повреждением ПКС (47 мужчин и 25 женщин) в возрасте от 18 до 45 лет ($30,9 \pm 8,5$), с давностью травмы от 3 до 21 сут. ($10,6 \pm 5,0$), уровнем активности по шкале Тегнера до травмы не ниже 5 (1–9) баллов ($5,8 \pm 0,9$). I группе пациентов ($n = 39$) при артроскопической диагностике и выявлении отрыва от бедра с сохранением синовиальной оболочки выполнена ДИС, II группе пациентов, контрольной ($n = 33$) — ранняя пластика ПКС.

Результаты. Через 6 мес. после операции ВАШ: I группа — ($1,4 \pm 0,8$), II группа — ($1,9 \pm 0,8$), $p = 0,004$. Удовлетворенность пациентов операцией (НШУ) через 12 мес. в I группе — ($8,0 \pm 0,8$) баллов, во II — ($7,4 \pm 0,8$), $p = 0,003$. Тест Тегнера к 12 мес. после операции: I группа — ($6,5 \pm 0,9$) балла, II группа — ($6,3 \pm 0,8$), $p = 0,014$. Результаты по шкале Лисгольма к 12 мес.: ($91,1 \pm 2,2$) и ($88,6 \pm 3,5$) балла соответственно, $p = 0,001$. При динамическом наблюдении в течение пяти лет рецидивы переднемедиальной нестабильности коленного сустава выявлены у 10 пациентов, что составило 13,9 %, при этом у 4 пациентов в I группе (10,3 %), у 6 пациентов во II группе (18,2 %).

Обсуждение. Результат лечения проксимальных разрывов передней крестообразной связки при неповрежденной синовиальной оболочке может быть, по крайней мере, таким же хорошим, как при пластике ПКС. Удаление разорванной крестообразной связки с неповрежденной синовиальной оболочкой и замена ее трансплантатом может быть ненужным и чрезмерно агрессивным подходом.

Заключение. Динамическая интралигаментарная стабилизация в сравнении с ранней пластикой ПКС показывает более быстрое восстановление уровня физической активности в ближайшем периоде после операции, в отдаленном — меньшее количество рецидивов нестабильности коленного сустава.

Ключевые слова: разрывы передней крестообразной связки, динамическая интралигаментарная стабилизация, отдаленные результаты пластики ПКС

Для цитирования: Пупынин Д.Ю., Лычагин А.В., Грицюк А.А. Сравнительный анализ пятилетних результатов применения различных методик лечения разрывов передней крестообразной связки. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):337–344. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344. EDN: EBLQDP.



Comparative analysis of five-year outcomes of anterior cruciate ligament tears repaired with different techniques

D.Yu. Pupynin¹, A.V. Lychagin², A.A. Gritsyuk²✉

¹ Orenburg Regional Clinical Center for Surgery and Traumatology, Orenburg, Russian Federation

² I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Andrey A. Gritsyuk, drgaamma@gmail.com

Abstract

Introduction Primary repair of the anterior cruciate ligament (ACL) torn from the femur and the synovial membrane being intact can be an indication for two competing methods including dynamic intraligamentary stabilization (DIS) as the saving method and resection of the stump and primary autoplasty as a more traumatic option.

The purpose was to evaluate the five-year results of DIS in comparison with early ACL reconstruction of the knee joint.

Material and methods A review and statistical analysis of outcomes of 72 patients with ACL injuries (47 males and 25 females) were performed. The patients aged between 18 and 45 years (30.9 ± 8.5), with the length of time from injury ranging from 3 to 21 days (10.6 ± 5.0) and the Tegner activity score of 5 (1–9; 5.8 ± 0.9) prior to injury. DIS was performed for the first group of patients ($n = 39$) who arthroscopically were diagnosed with ACL torn off the femur with the synovial membrane preserved. Early ACL repair was performed for the controls (second group, $n = 33$).

Results VAS scored 1.4 ± 0.8 in group I and 1.9 ± 0.8 in group II at 6 months, $p = 0.004$. Patient satisfaction scored 8.0 ± 0.8 in group I and 7.4 ± 0.8 in group II at 12 months, $p = 0.003$. Tegner activity level scored 6.5 ± 0.9 in group I and 6.3 ± 0.8 in group II at 12 months, $p = 0.014$. The Lysholm knee score measured 91.1 ± 2.2 in group I and 88.6 ± 3.5 in group II at 12 months, $p = 0.001$. Five-year dynamic observation showed relapses of anterior-medial instability of the knee joint in 10 patients (13.9 %), with 4 patients in group I (10.3 %) and 6 patients in group II (18.2 %).

Discussion Outcomes of proximal ACL tears with intact synovium can be as good as with ACL repair. Removal of the torn cruciate ligament with the synovium being intact and grafting may be an unnecessary and aggressive approach.

Conclusion Dynamic intraligamentous stabilization as compared to early ACL repair shows a faster recovery of physical activity at a short term and less relapses of knee joint instability at a long term

Keywords: anterior cruciate ligament tear, dynamic intraligamentary stabilization, long-term results of ACL reconstruction

For citation: Pupynin D.Yu., Lychagin A.V., Gritsyuk A.A. Comparative analysis of five-year outcomes of anterior cruciate ligament tears repaired with different techniques. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):337-344. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-337-344

ВВЕДЕНИЕ

Пластика передней крестообразной связки (ПКС) коленного сустава является «золотым стандартом» хирургического лечения переднемедиальной нестабильности, как острой, так и хронической. Результаты данной операции не всегда удовлетворяют пациентов, так как только 50–65 % спортсменов–любителей возвращаются к своему уровню физической активности до травмы, а общий процент клинических неудач составляет до 10 % [1–3]. В литературе появляется все больше свидетельств, подтверждающих эффективность ранней первичной пластики ПКС при острых разрывах [4–7]. Ранее опубликованные статьи о первичном восстановлении ПКС при ее разрывах, в частности отрывах от бедренной кости с сохранением синовиальной оболочки и без разволокнения, дают очень разнородные результаты, поэтому показания к первичному восстановлению передней крестообразной связки еще четко не определены [8–12].

Динамическая интралигаментарная стабилизация (ДИС) представляет собой метод, основанный на первичном сшивании ПКС с усилением силы контакта в месте шва полиэтиленовой нитью, фиксированной к бедренной кости с помощью пуговицы и пружинного устройства в проксимальном отделе большеберцовой кости [13, 14]. Данная конструкция защищает линию шва во время заживления и дает возможность приложения циклических сил при ранней реабилитации, результаты использования этой конструкции были многообещающие, особенно при проксимально расположенном разрыве (в пределах проксимальной трети ПКС) [5, 15]. Ранние результаты данных методик изучены и представлены в ряде публикаций [16–18].

Цель работы — оценить пятилетние результаты ДИС в сравнении с ранней пластикой ПКС коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе Оренбургского областного клинического центра хирургии и травматологии (ООКЦХТ) с 2018 по 2023 г.

Критерии включения: возраст от 18 лет, свежие травмы (не более 14 дн.), полные разрывы ПКС, высокий уровень двигательной активности до травмы, по шкале Тегнера не ниже 5 (1–9).

Критерии не включения: острые или хронические инфекции, локальные или общие заболевания мышц, повреждения коллатеральных связок и нервов, остеоартроз коленного сустава любой стадии, остеопороз, переломы костей коленного сустава и их последствия. Профессиональных спортсменов в исследование не включали. При нежелании продолжить исследование или неявке на контрольный осмотр пациента исключали из исследования.

Пациентам, поступающим на лечение с острой закрытой травмой коленного сустава, выполняли рентгенологическое исследование, при котором исключали патологию костной ткани. Затем в сроки до 10 дн. выполняли МРТ-исследование и при выявлении полного повреждения ПКС предлагали участвовать в исследовании, заключавшемся в раннем артроскопическом восстановлении передней крестообразной связки и санации других повреждений сустава. Пациентам объясняли суть исследования, информировали о том, что окончательное решение будет принято при артроскопической диагностике повреждений: при отсутствии противопоказаний будет выполнена ДИС, при ее невозможности будет выполнена пластика ПКС сухожильными аутооттрансплантатами из подколенных мышц, поврежденные мениски будут либо восстановлены швами, либо резецированы.

Все пациенты подписали информированное согласие, исследование утверждено локальной экспертной комиссией (протокол ЛЭК от 20.01.2018 № 6).

Всего отобрано и включено в исследование 77 пациентов, из них 5 (6,5 %) пациентов исключено. Статистическому анализу подвергнуты данные 72 пациентов (47 мужчин и 25 женщин), средний возраст — $(30,9 \pm 8,5)$ года (от 18 до 45 лет). Левый коленный сустав поврежден у 25 пациентов, правый — у 47 (соотношение левый/правый — 1:1,9). Давность травмы в обеих группах составила от 3 до 21 сут. $(10,6 \pm 5,0)$. По механизму травмы были бытовые (падение) — 26 пациентов (36,1 %), спортивные — 46 пациентов, все спортсмены–любители (63,9 %): горные лыжи — 16 (22,2 %), футбол — 13 (18,2 %), хоккей — 6 (8,3 %), легкая атлетика — 6 (8,3 %), баскетбол — 5 (6,9 %). Средний рост — $(175,7 \pm 8,0)$ см, средний вес — $(71,4 \pm 8,1)$ кг, средний индекс массы тела (ИМТ) — $(23,6 \pm 3,0)$ кг/м², уровень активности по шкале Тегнера до травмы не ниже 5 (1–9), среднее значение — $(5,8 \pm 0,9)$, при сравнении средних величин между группами исследования статистически значимой разницы не выявлено (табл. 1).

Таблица 1

Гендерные показатели пациентов

Показатели		Пациенты			p*
		I группа	II группа	Всего	
Количество	абс.	39	33	72	0,891
	%	47,6	52,4	100	
Пол	м	25	23	47/	0,732
	ж	14	10	25	
Сторона повреждения	п	25	17	42	0,287
	л	14	16	30	
Возраст (Me $\pm$ SD, лет)		30,9 $\pm$ 8,2	31,0 $\pm$ 8,9	30,9 $\pm$ 8,5	0,961
Срок от травмы до операции (Me $\pm$ SD, сутки)		10,7 $\pm$ 5,2	10,5 $\pm$ 4,7	10,6 $\pm$ 5,0	0,847
Рост (Me $\pm$ SD, м)		1,75 $\pm$ 0,07	1,74 $\pm$ 0,08	1,75 $\pm$ 0,08	0,923
Вес (Me $\pm$ SD, кг)		71,0 $\pm$ 8,2	71,9 $\pm$ 8,0	71,4 $\pm$ 8,1	0,647
ИМТ (Me $\pm$ SD, кг/м ²)		23,4 $\pm$ 2,7	23,8 $\pm$ 3,3	23,6 $\pm$ 3,0	0,523
Шкала Тегнер (баллы)		5,8 $\pm$ 0,9	5,9 $\pm$ 0,9	5,8 $\pm$ 0,9	0,895

* — t-критерий для равенства средних для независимых выборок I и II групп

Типичную артроскопию коленного сустава выполняли под спинальной анестезией с применением жгута через два типичных порта, осматривали культы ПКС. При осмотре ПКС и выявлении повреждения типа А или В по классификации A. Ateschrang [16] проводили динамическую интралигаментарную стабилизацию (ДИС) с фиксатором Ligamys® (Mathys Ltd. Bettlach Switzerland) по типичной технике [17]. При повреждении типа С по классификации A. Ateschrang выполняли все необходимые диагностические внутрисуставные манипуляции, удаляли культы ПКС. При повреждении менисков (57 случаев из 72; внутренний — 39 случаев, наружный — 18) в «красной зоне» осуществляли шов мениска (23 случая), в остальных случаях (34 из 57) резецировали оторванную часть. Далее из отдельного разреза длиной 4 см в проекции сухожилий приводящих мышц выделяли, забирали и формировали трансплантат из двух сухожилий, сложенных вдвое (4-пучковый аутоотрансплантат). Техника пластики ПКС была типичной с формированием бедренного канала через антромедиальный доступ, фиксация бедренного конца биодеградируемыми винтами Milagro Advance (DePuy) 6–10 $\times$ 23 мм, большеберцовая фиксация винтами Milagro Advance (DePuy) 6–10 $\times$ 30 мм [18]. Послеоперационная реабилитация в обеих группах не отличалась.

В исследовании применяли визуально-аналоговую шкалу боли (ВАШ, 10-балльную), нумерологическую 10-балльную шкалу удовлетворенности пациентов (НШУ пациента: 1 — полная неудовлетворенность и 10 — полная удовлетворенность), шкалы Тегнера (Tegner) и Лисгольма (Lysholm), тесты проводили через 6 и 12 мес. после операции. Тест переднего выдвижного ящика (ПВЯ) оценивали с помощью артрометра KT-1000 (MEDmetric, Сан-Диего, Калифорния, США) при сгибании коленного сустава на 30° ежегодно в течение 5 лет. Результат считали отрицательным при переднем смещении не более 5 мм и отрицательном тесте Лахмана в сравнении с неповрежденным коленом. Измерения выполняли троекратно, среднее значение высчитывали и результат заносили в базу данных. Рецидив передней нестабильности коленного сустава считали при повторной травме на основании клинического обследования (при ПВЯ в переднезаднем направлении более 5 мм) и положительном тесте Лахмана, МРТ и результатам последующего оперативного артроскопического лечения, при отсутствии травмы — при ежегодном обследовании (ПВЯ более 5 мм и положительном тесте Лахмана).

Для проверки статистической значимости полученных данных использовали двусторонний t-критерий Стьюдента для двух независимых выборок, на основании которого находили p-значение в программе IBM SPSS Statistics 22. Кривую Каплана – Мейера использовали для определения частоты неудач лечения (рецидив переднемедиальной нестабильности коленного сустава) при восстановлении одиночных (ДИС) и пластики ПКС при множественных разрывах. Различия между обеими группами проверены с использованием лог-рангового (Log Rank (Mantel – Cox)) теста. Апостериорный анализ мощности с учетом приведенных ниже размеров выборки и разницы показателей в группах, наблюдаемых при $\alpha = 0,05$, составил 0,96. При $p > 0,05$ различия считали статистически незначимыми.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Болевой синдром после операции у пациентов обеих групп в первые дни был достаточно выраженным, что обусловило необходимость мультимодальной анальгезии, но к сроку в 6 мес. регрессировал и был у пациентов I группы меньше, чем у пациентов II группы (I группа — $1,4 \pm 0,8$), II группа — $1,9 \pm 0,8$), $p = 0,004$). К 12 мес. и далее средний балл по шкале ВАШ находился на одинаковом уровне, статистической разницы не выявлено: $1,1 \pm 0,8$ и $1,3 \pm 1,0$), $p = 0,340$.

Удовлетворенность пациентов операций (НШУ) в срок 6 мес. после операции в I группе составила ($7,3 \pm 1,3$) балла, значительно превысив показатель II группы ($6,4 \pm 1,3$) при $p = 0,006$, при этом 8 (20,5 %) пациентов оценили свое состояние в максимальные 10 баллов, что не отмечено в контрольной группе. В дальнейшем к 12 мес. удовлетворенность результатом операции по средним величинам достигала в I группе ($8,0 \pm 0,8$) балла, во II — ($7,4 \pm 0,8$) при $p = 0,003$.

Данный показатель перекликается с тестом уровня активности Тегнера, который в 6 мес. статистически значимо снижался по сравнению с предоперационным в обеих группах, но между группами имела место статистически значимая разница на 25 % ($p < 0,001$), к 12 мес. после операции показатели данного теста снова возвращались к уровню до травмы и даже выше, разница между группами была минимальная, но статистически значимая: I группа — ($6,5 \pm 0,9$ балла), II группа — ($6,3 \pm 0,8$) при $p = 0,014$.

Результаты по шкале Лисгольма в 6 мес. после операции в обеих группах находились на уровне немного ниже 90 баллов (I группа — ($89,9 \pm 3,6$) балла, II группа — ($85,6 \pm 4,2$), $p < 0,001$), к сроку 12 мес. после операции выходили на более высокий уровень, при этом в группе ДИС — ($91,1 \pm 2,2$) балла, при пластике ПКС — ($88,6 \pm 3,5$), при статистически значимой разнице между группами $p = 0,001$ (табл. 2).

Таблица 2

Результаты ДИС и пластики ПКС

Показатели	Результаты по срокам наблюдения после операции					
	6 месяцев			12 месяцев		
	I группа (n = 39)	II группа (n = 33)	p^*	I группа (n = 39)	II группа (n = 33)	p^*
ВАШ	$1,4 \pm 0,8$	$1,9 \pm 0,8$	0,004	$1,1 \pm 0,8$	$1,3 \pm 1,0$	0,340
НШУ	$7,3 \pm 1,3$	$6,4 \pm 1,3$	0,006	$8,0 \pm 0,8$	$7,4 \pm 0,8$	0,003
Тегнер	$4,8 \pm 1,1$	$3,6 \pm 1,1$	0,000	$6,5 \pm 0,9$	$6,3 \pm 0,8$	0,014
Лисгольм	$89,9 \pm 3,6$	$85,6 \pm 4,2$	0,000	$91,1 \pm 2,2$	$88,6 \pm 3,5$	0,001
ПВЯ (мм)	$2,2 \pm 0,9$	$2,5 \pm 1,0$	0,268	$2,4 \pm 0,8$	$2,6 \pm 1,0$	0,463

* — t-критерий для равенства средних для независимых выборок I и II групп

Тест ПВЯ составлял не более 2–3 мм на всех сроках динамического наблюдения в обеих группах, повторных травм у пациентов в течение 12 мес. после операции не было. При контрольных осмотрах и динамическом наблюдении в течение пяти лет (один раз в каждые 12 мес. на протяжении 60 мес.) рецидивы переднемедиальной нестабильности коленного сустава выявлены у 10 пациентов (13,9 %), при этом у четырех пациентов их I группы, что составило 10,3 % от всех пациентов I группы. Факт повторной травмы пациенты отрицали. Во II группе шесть пациентов имели рецидив переднемедиальной нестабильности (18,2 %), но у них в четырех случаях имела место повторная травма (12,1 % от всей группы), и в двух случаях (6,1 %) причину рецидива установить не удалось (рис. 1).

Несмотря на отсутствие статистической значимости рецидивов нестабильности коленного сустава между группами (Log Rank (Mantel – Cox) $p = 0,293$), в процентном отношении количество рецидивов в группе пластики ПКС больше, но спонтанные разрывы (без травмы) в группе ДИС встречались чаще.

ОБСУЖДЕНИЕ

Долгое время тактика отсроченной пластики ПКС была доминирующей, однако недавно интерес к первичному шву ПКС возобновился, что требует обсуждения и, возможно, пересмотра показаний к хирургическим вмешательствам по поводу свежих разрывов передней крестообразной связки, особенно проксимальных [8, 9, 15].

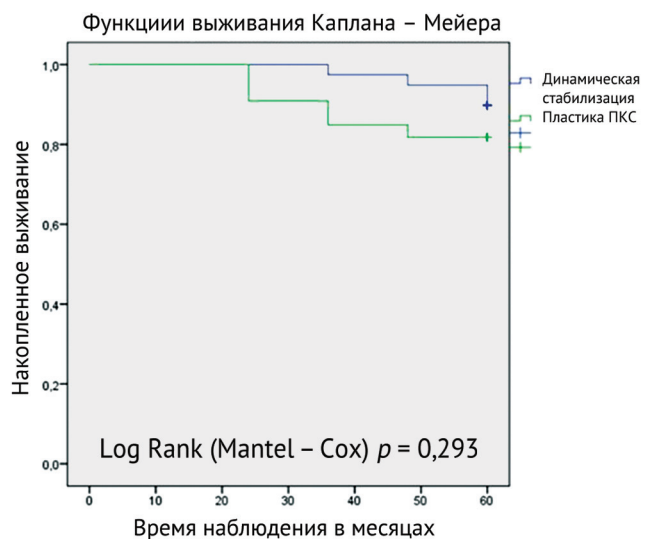


Рис. 1. График кривой Каплана – Мейера показывает значительную разницу между группами

Однако для обоснования показаний для первичного восстановления ПКС необходимо, чтобы результаты были сопоставимыми с «золотым стандартом» — пластикой ПКС. В сравнительном проспективном рандомизированном исследовании B. Schliemann et al. [11] показали, что пациенты с ДИС после операции раньше восстанавливали активность и достигали более высокого уровня в течение первого послеоперационного года. По функциональным оценкам (шкалы IKDC и Лисгольма) средние значения существенно не отличались между пластикой ПКС и ДИС [11]. В данном исследовании частота рецидивов нестабильности в течение 2,5 лет после DIS составила 17,7 %, это несколько выше по сравнению с другими исследованиями.

S. Kohl et al. обнаружили частоту повторного разрыва в 6 % и сохранение нестабильности у 4 % из 50 пациентов в течение двух лет наблюдения [5]. P. Henle et al. сообщили о частоте рецидивов разрыва 2,9 % и остаточной нестабильности 1,1 % [4]. В другом исследовании P. Henle et al. сообщили о повторных операциях по восстановлению ПКС в 11 % из 96 случаев, при сроках наблюдения не менее двух лет [14]. M. Meister et al. сообщили о частоте рецидивов 15 % в течение одного года [12]. M. Osti et al. упомянули, что общий процент рецидивов составляет 17,5 % [19]. Из результатов настоящего исследования очевидно, что общий процент неудач в 17,7 % довольно высок по сравнению с пластикой ПКС, при которой, по данным метаанализа, частота рецидивов составляет от 3 до 7 % случаев [20].

Однако следует подчеркнуть, что многие исследования, посвященные пластике ПКС, бессимптомное течение остаточной нестабильности колена трактуют как неудачу, отождествляя ее с рецидивом или разрывом [8, 20, 21, 22]. Причиной этого является нестабильность сустава, поэтому соответствующая частота рецидивов выше.

Исследование исходов применения ДИС показывает, что результат лечения проксимальных разрывов передней крестообразной связки при неповрежденной синовиальной оболочке может быть, по крайней мере, таким же хорошим, как при пластике ПКС. А удаление разорванной крестообразной связки с неповрежденной синовиальной оболочкой и замена ее трансплантатом может быть ненужным и слишком агрессивным подходом. Предпосылка к хорошему результату может быть связана с сохранением кровоснабжения паутинистыми перилигаментозными капиллярами в синовиальной оболочке, которые, как известно, обеспечивают основной вклад в кровоснабжение ПКС [23].

Мы понимаем, что размер выборки и количество неудач в нашем исследовании довольно малы, чтобы обеспечить узкие доверительные интервалы. Однако размер когорты приемлем для решения основного вопроса исследования, при котором достигнута достаточная мощность. Также следует подчеркнуть, что всем пациентам в группе проведена ДИС по интраоперационному решению, которое исключает мнение пациента при принятии окончательного решения о методе операции.

Несмотря на эти ограничения, представленные результаты показывают, что первичное восстановление проксимальных разрывов ПКС с сохранением целостности синовиальной оболочки может быть включено в алгоритм принятия решений для пациентов данной группы. Однако отбор пациентов имеет решающее значение. Предыдущие исследования показали более высокий риск рецидивов у молодых пациентов — профессиональных спортсменов, а также у пациентов с разрывом передней крестообразной связки в середине тела [4, 15, 22, 24]. Мы считаем, что особенно важно сохранить кровоснабжение синовиальной оболочки и целостность проксимально оторванной от бедренной кости передней крестообразной связки, которые могут обеспечить ее восстановление и противостоять рецидивам.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Динамическая интралигаментарная стабилизация в сравнении с ранней пластикой ПКС показывает более быстрое восстановление уровня физической активности в ближайшем периоде после операции, а в отдаленном — меньшее количество рецидивов нестабильности коленного сустава.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Этическая экспертиза. Исследование утверждено локальной экспертной комиссией (протокол № 6 ЛЭК от 20.01.2018 г.).

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное письменное информированное согласие до включения в исследование.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гончаров Е.Н., Коваль О.А., Дубров В.Э. и др. Среднесрочные результаты одномоментного восстановления передней крестообразной и антеролатеральной связок коленного сустава у спортсменов. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):62-71. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-62-71
2. Лычагин А.В., Алиев Р.И., Богатов В.Б. и др. Применение сухожилия длинной малоберцовой мышцы при пластике передней крестообразной связки: биомеханические свойства трансплантата, корреляционные взаимосвязи. *Российский журнал биомеханики*. 2020;24(4):505-512. doi: 10.15593/RZhBiomeh/2020.4.08
3. Rousseau R, Labruiere C, Kajetanek C, et al. Complications After Anterior Cruciate Ligament Reconstruction and Their Relation to the Type of Graft: A Prospective Study of 958 Cases. *Am J Sports Med*. 2019;47(11):2543-2549. doi: 10.1177/0363546519867913
4. Henle P, Röder C, Perler G, et al. Dynamic Intraligamentary Stabilization (DIS) for treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures: case series experience of the first three years. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:27. doi: 10.1186/s12891-015-0484-7
5. Kohl S, Evangelopoulos DS, Schär MO, et al. Dynamic intraligamentary stabilisation: initial experience with treatment of acute ACL ruptures. *Bone Joint J*. 2016;98-B(6):793-8. doi: 10.1302/0301-620X.98B6.35040
6. van der List JP, DiFelice GS. Preservation of the Anterior Cruciate Ligament: A Treatment Algorithm Based on Tear Location and Tissue Quality. *Am J Orthop* (Belle Mead NJ). 2016;45(7):E393-E405.
7. van der List JP, DiFelice GS. Role of tear location on outcomes of open primary repair of the anterior cruciate ligament: A systematic review of historical studies. *Knee*. 2017;24(5):898-908. doi: 10.1016/j.knee.2017.05.009
8. Ateschrang A, Ahmad SS, Stöckle U, et al. Recovery of ACL function after dynamic intraligamentary stabilization is resultant to restoration of ACL integrity and scar tissue formation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(2):589-595. doi: 10.1007/s00167-017-4656-x
9. DiFelice GS, van der List JP. Regarding "Acute proximal anterior cruciate ligament tears: outcomes after arthroscopic suture anchor repair versus anatomic single-bundle reconstruction". *Arthroscopy*. 2017 Apr;33(4):693-694. doi: 10.1016/j.arthro.2017.01.028
10. Henle P, Bieri KS, Brand M, et al. Patient and surgical characteristics that affect revision risk in dynamic intraligamentary stabilization of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(4):1182-1189. doi: 10.1007/s00167-017-4574-y
11. Schliemann B, Glasbrenner J, Rosenbaum D, et al. Changes in gait pattern and early functional results after ACL repair are comparable to those of ACL reconstruction. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(2):374-380. doi: 10.1007/s00167-017-4618-3
12. Meister M, Koch J, Amsler F, et al. ACL suturing using dynamic intraligamentary stabilisation showing good clinical outcome but a high reoperation rate: a retrospective independent study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2018;26(2):655-659. doi: 10.1007/s00167-017-4726-0
13. Egli S, Kohlhof H, Zumstein M, et al. Dynamic intraligamentary stabilization: novel technique for preserving the ruptured ACL. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2015;23(4):1215-1221. doi: 10.1007/s00167-014-2949-x
14. Henle P, Röder C, Perler G, et al. Dynamic Intraligamentary Stabilization (DIS) for treatment of acute anterior cruciate ligament ruptures: case series experience of the first three years. *BMC Musculoskelet Disord*. 2015;16:27. doi: 10.1186/s12891-015-0484-7
15. Krismer AM, Gousopoulos L, Kohl S, et al. Factors influencing the success of anterior cruciate ligament repair with dynamic intraligamentary stabilisation. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(12):3923-3928. doi: 10.1007/s00167-017-4445-6
16. Ateschrang A, Schreiner AJ, Ahmad SS, et al. Improved results of ACL primary repair in one-part tears with intact synovial coverage. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(1):37-43. doi: 10.1007/s00167-018-5199-5
17. Пупынин Д.Ю., Лычагин А.В., Грицюк А.А. Результаты применения динамической внутрисвязочной стабилизации при разрыве передней крестообразной связки. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2022;(4):45-51. doi: 10.17238/2226-2016-2022-4-45-51
18. Пупынин Д.Ю., Лычагин А.В., Грицюк А.А. Ранняя пластика передней крестообразной связки: организационные и клинические аспекты лечения в отдельном регионе. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023;(2):41-46. doi: 10.17238/2226-2016-2023-2-41-46
19. Osti M, El Attal R, Doskar W, et al. High complication rate following dynamic intraligamentary stabilization for primary repair of the anterior cruciate ligament. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(1):29-36. doi: 10.1007/s00167-018-5067-3
20. Gabler CM, Jacobs CA, Howard JS, et al. Comparison of Graft Failure Rate Between Autografts Placed via an Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Technique: A Systematic Review, Meta-analysis, and Meta-regression. *Am J Sports Med*. 2016;44(4):1069-79. doi: 10.1177/0363546515584043
21. Evangelopoulos DS, Kohl S, Schwienbacher S, et al. Collagen application reduces complication rates of mid-substance ACL tears treated with dynamic intraligamentary stabilization. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(8):2414-2419. doi: 10.1007/s00167-015-3838-7
22. Kaeding CC, Pedroza AD, Reinke EK, et al. Risk Factors and Predictors of Subsequent ACL Injury in Either Knee After ACL Reconstruction: Prospective Analysis of 2488 Primary ACL Reconstructions From the MOON Cohort. *Am J Sports Med*. 2015;43(7):1583-1590. doi: 10.1177/0363546515578836
23. Toy BJ, Yeasting RA, Morse DE, McCann P. Arterial supply to the human anterior cruciate ligament. *J Athl Train*. 1995;30(2):149-152.

24. Schlumberger M, Schuster P, Schulz M, Immendörfer M, Mayer P, Bartholomä J, Richter J. Traumatic graft rupture after primary and revision anterior cruciate ligament reconstruction: retrospective analysis of incidence and risk factors in 2915 cases. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2017;25(5):1535-1541. doi: 10.1007/s00167-015-3699-0

Статья поступила 18.01.2024; одобрена после рецензирования 26.01.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 18.01.2024; approved after reviewing 26.01.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Дмитрий Юрьевич Пупынин — главный врач, d16873@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7022-2315>;

Алексей Владимирович Лычагин — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, dr.lychagin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>;

Андрей Анатольевич Грицюк — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, drgaamma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4202-4468>.

Information about the authors:

Dmitrii Yu. Pupynin — chief physician, d16873@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-7022-2315>;

Alexey V. Lychagin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, dr.lychagin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>;

Andrey A. Gritsyuk — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor at Department, drgaamma@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4202-4468>.

Вклад авторов:

Пупынин Д.Ю. — разработка и проектирование методологии, применение статистических, математических, вычислительных или других формальных методов для анализа или синтеза данных исследования, проведение процесса исследования, написание и внесение корректировки в первоначальный вариант, подготовка работы к публикации.

Лычагин А.В. — формулировка целей и задач исследования, разработка и проектирование методологии, внесение корректировки в первоначальный вариант.

Грицюк А.А. — помощь в применении статистических, математических и других формальных методов для анализа и синтеза данных исследования, внесение корректировки в первоначальный вариант, подготовка работы к публикации.

Научная статья

УДК 616.728.3-007.248-053.9:615.847

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-345-352>

Результаты применения внутритканевой электростимуляции при лечении начальных стадий гонартроза у лиц пожилого и зрелого возраста

Н.А. Бурматов^{1✉}, К.С. Сергеев¹, С.Н. Лунева², А.А. Герасимов³, С.А. Копылов⁴, Н.А. Спиридонова⁵

¹ Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

³ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия

⁴ Омский государственный медицинский университет, Омск, Россия

⁵ Тюменский индустриальный университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Александрович Бурматов, burmatov.n@yandex.ru

Аннотация

Введение. Наиболее сложной задачей при лечении начальных стадий деформирующего артроза коленных суставов является подбор адекватной, патогенетически обоснованной противоболевой терапии. Необходимость изучения эффективности и механизмов действия современных методов электролечения и влияния их на качество жизни пациентов обусловлена тесной причинно-следственной связью болевого, воспалительного и деструктивного компонентов остеоартроза (ОА), одного из самых распространенных заболеваний.

Цель работы — оценить результаты использования внутритканевой электростимуляции в качестве варианта монотерапии в курсе консервативного лечения начальных стадий гонартроза на основании данных клинического и биохимического исследований.

Материалы и методы. Изучены данные рентгенографии, кожной электрометрии (объективные показатели интенсивности боли), опороспособности конечности, биохимические показатели деградации матрикса соединительной ткани в образцах сыворотки крови и суточной мочи и степень удовлетворенности проведенным лечением 43 пациентов. Пациенты, получавшие курс внутритканевой электростимуляции (ВТЭС), отнесены в основную группу ($n = 22$), пациенты, лечившиеся по стандартной схеме, не включающей ВТЭС, составили контрольную группу ($n = 21$).

Результаты. Электрометрический анализ выявил более высокую эффективность противоболевой терапии в основной группе по сравнению с контрольной (значения коэффициента асимметрии составили $3,2 \pm 0,31$ против $1,9 \pm 0,4$ при $p > 0,05$). Различались и показатели опороспособности конечности: $3,59 \pm 0,34$ против $3,26 \pm 0,2$ балла при $p > 0,05$. Установлена меньшая длительность сроков лечения пациентов основной группы: $13,21 \pm 1,2$ против $18,3 \pm 1,2$ дня в контрольной, $p > 0,05$, а также более высокая степень удовлетворенности результатами лечения в основной группе ($96,2 \pm 2,59$ балла против $86,2 \pm 3,17$). Установлено статистически достоверное различие ($p > 0,05$) показателей содержания свободного и общего гидроксипролина, характеризующих различную интенсивность распада коллагена в обследованных группах по окончании лечения.

Обсуждение. Доказана высокая эффективность применения ВТЭС в качестве противоболевой и противовоспалительной терапии, а изменения содержания гидроксипролина в исследованных средах позволяют предполагать хондропротективный эффект от применяемой терапии. На основании анализа и сравнения ряда объективных показателей показана высокая эффективность применения внутритканевой стимуляции при лечении начальных стадий гонартроза у пациентов зрелого и пожилого возраста.

Заключение. Применение ВТЭС на ранних стадиях развития гонартроза ликвидирует болевой синдром, способствует снижению интенсивности процессов деструкции коллагена и восстановлению опороспособности конечности.

Ключевые слова: остеоартрит, заболевания суставов, внутритканевая электростимуляция, восстановительное лечение, гонартроз

Для цитирования: Бурматов Н.А., Сергеев К.С., Лунева С.Н., Герасимов А.А., Копылов С.А., Спиридонова Н.А. Результаты применения внутритканевой электростимуляции при лечении начальных стадий гонартроза у лиц пожилого и зрелого возраста. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):345-352. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-345-352. EDN: ELGBYC.

© Бурматов Н.А., Сергеев К.С., Лунева С.Н., Герасимов А.А., Копылов С.А., Спиридонова Н.А., 2024



Interstitial electrical stimulation for middle-aged, and elderly adults with early stages of knee osteoarthritis

N.A. Burmatov^{1✉}, K.S. Sergeev¹, S.N. Luneva², A.A. Gerasimov³, S.A. Kopylov⁴, N.A. Spiridonova⁵

¹ Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

² Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

³ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

⁴ Omsk State Medical University, Omsk, Russian Federation

⁵ Industrial University of Tyumen, Tyumen, Russian Federation

Corresponding author: Nikita A. Burmatov, burmatov.n@yandex.ru

Abstract

Introduction The adequate, pathogenetically substantiated pain management is essential for treatment of early stages of deforming osteoarthritis of the knee joint. There is a need to explore the effectiveness and mechanisms of modern methods of electrical therapy and their impact on the quality of life due to close cause-and-effect relationship between the pain, inflammatory and destructive components of osteoarthritis (OA) as one of the most common conditions.

The objective was to evaluate the effect of interstitial electrical stimulation (IES) as a monotherapy in the course of conservative treatment of early stages of gonarthrosis based on clinical and biochemical findings.

Materials and methods Radiographic findings, skin electromy (objective parameters of pain intensity), limb weight-bearing capacity, biochemical parameters of connective tissue matrix degradation in blood serum and 24-hour urine samples, and treatment satisfaction were explored in 43 patients. Patients who received a course of IES were assigned to the treatment group ($n = 22$) and patients who received standard treatment without IES constituted the control group ($n = 21$).

Results Electrometric analysis showed a higher effectiveness of pain relief in the treatment group compared to the controls with asymmetry coefficient measuring 3.2 ± 0.31 versus 1.9 ± 0.4 at $p > 0.05$. The weight-bearing scored 3.59 ± 0.34 versus 3.26 ± 0.2 at $p > 0.05$. The treatment group showed shorter treatment length with 13.21 ± 1.2 days versus 18.3 ± 1.2 days in the control group at $p > 0.05$ and a higher degree of satisfaction with outcomes scored 96.2 ± 2.59 in the treatment group versus 86.2 ± 3.17 in the control group. A statistically significant difference ($p > 0.05$) was established in the levels of free and total hydroxyproline characterizing the different intensity of collagen breakdown in the groups at the end of treatment.

Discussion The IES used as an analgesic and anti-inflammatory therapy was shown to be highly effective with changes in the hydroxyproline level in the media suggesting a chondroprotective effect. The analysis and comparison of objective parameters demonstrated high effectiveness of IES in the treatment of early stages of gonarthrosis in middle-aged and elderly adults.

Conclusion The IES used for treatment of early stages of gonarthrosis helps pain reducing the intensity of collagen destruction and improving weight-bearing.

Keywords: osteoarthritis, joint diseases, interstitial electrical stimulation, rehabilitation, gonarthrosis

For citation: Burmatov NA, Sergeev KS, Luneva SN, Gerasimov AA, Kopylov SA, Spiridonova NA. Interstitial electrical stimulation for middle-aged, and elderly adults with early stages of knee osteoarthritis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):345-352. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-345-352

ВВЕДЕНИЕ

По мнению ряда исследователей, среди множества дегенеративно-дистрофических заболеваний опорно-двигательного аппарата безусловным лидером является гонартроз [1], во всем мире от проявлений данного заболевания страдают свыше 240 млн. человек [2]. От 40 до 70 % случаев заболевания приходится на лиц в возрастном диапазоне 60–70 лет, при этом значимая часть патологии (от 40 до 65 % случаев) связана с генетическим фактором [3]. Несмотря на известные меры профилактики и лечения, количество людей с проявлениями остеоартроза коленного сустава возрастает, при этом отмечается тенденция к снижению возраста больных и увеличению числа лиц молодого, трудоспособного возраста, что негативно сказывается на качестве жизни пациентов [4]. Несмотря на постоянный поиск и совершенствование методик и способов лечения остеоартроза крупных суставов, экономические затраты ряда экономически развитых стран, связанные с лечением и реабилитацией данной категории пациентов, составляют до 2,5 % национального валового продукта [5]. В настоящее время проводится поиск патогенетически обоснованных методов лечения первичного остеоартроза (ОА) коленных суставов, в основе развития которого лежит сложный комплекс биохимических и структурных изменений, охватывающих все суставные компоненты, включая гиалиновый хрящ и субхондральную кость [6–8]. В современной практике с высокой степенью эффективности применяют различные методики лечения болевого и воспалительного компонентов ОА и их комбинации, включающие внутрисуставные инъекции компонентов крови, костного мозга и различные фармакологические и физиотерапевтические пособия. Но проблема лечения болевого синдрома при ОА в настоящее время полностью не решена и, следовательно, является актуальной. Костная ткань богата остеорецепторами, реагирующими на снижение парциального давления кислорода в костных сосудах, обусловленное развитием гипоксии, вызванной венозным застоем в субхондральных отделах кости [9, 10]. Нарушение кровообращения вызывает хронический костно-болевой синдром, характерный для гонартроза. Доказано, что чем хуже кровоснабжение кости, тем интенсивнее боль. Нарушение микроциркуляции в субхондральной кости приводит к резкому снижению диффузии необходимых питательных веществ в матрикс хряща. Снижение внутрикостного давления ликвидирует одно из препятствий для адекватной трофики гиалинового хряща, что подтверждается данными проведенных клинического и биохимического исследований.

Цель работы — оценить результаты использования внутритканевой электростимуляции в качестве варианта монотерапии в курсе консервативного лечения начальных стадий гонартроза на основании данных клинического и биохимического исследований.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Объектом исследования являлась когорта пациентов обоего пола в возрасте 45–65 лет ($n = 43$). Клиническое обследование включало специализированную оценку антропометрических параметров с вычислением индекса массы тела (ИМТ) по известной формуле:

$$I = \frac{m}{h^2}, \text{ кг/м}^2,$$

где I — индекс массы тела, m — масса тела в килограммах, h — рост в метрах.

Для определения степени ожирения руководствовались значениями индекса массы тела, выявляли наличие и степень тяжести сопутствующих заболеваний, согласно действующим Клиническим рекомендациям по лечению гонартроза (Утверждены Минздравом РФ 03.09.2021). При помощи «Калькулятора экологической коморбидности» вычисляли числовой показатель – индекс коморбидности (ИК) [11].

Критерии включения в исследование:

- наличие в анамнезе установленного диагноза «гонартроз», «артроз коленного сустава» (код M17 согласно МКБ-10);
- стадия заболевания I–II (по Kellgen – Lowrence) [12];
- односторонний характер заболевания.

Критерии исключения:

- системные, аллергические, ревматические и опухолевые поражения суставов, асептический некроз, ожирение выше 1 степени;
- отличный от механического фенотип скелетно-мышечной боли;
- оперативные вмешательства на коленном суставе;
- патология почек;
- заболевания опухолевой и эндокринной природы;
- количество баллов по результатам теста ходьбы Хаузера менее 5 [13].

Исходя из методов лечения, исследуемая совокупность пациентов разделена на 2 группы. Контрольную группу ($n = 21$) составили пациенты, получавшие курс лечения, включавший медикаментозное пособие, курсы физио- и кинезиотерапии, в рамках действующего Приказа Минздрава России от 27.10.2022 № 706 «Об утверждении стандарта медицинской помощи взрослым при гонартрозе (диагностика, лечение и диспансерное наблюдение)». Лица, при лечении которых в качестве монотерапии применяли внутритканевую электростимуляцию по А.А. Герасимову (ВТЭС), отнесены в основную группу ($n = 22$). Распределение показателей больных дает основание считать, что сравниваемые группы являются сопоставимыми ($p < 0,05$) (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики исследуемых групп

Показатель		Основная группа	Контрольная группа
Мужчины	абс.	10	10
	%	45,5	47,6
Женщины	абс.	12	11
	%	54,5	52,4
Возраст (лет)		$70,00 \pm 2,65$	$69,60 \pm 2,93$
ИК (балл)		$9,42 \pm 0,86$	$9,73 \pm 0,42$
ИМТ (балл)		$23,85 \pm 3,24$	$23,33 \pm 2,3$

Примечание: ИК — индекс коморбидности; ИМТ — индекс массы тела.

Длительность курса лечения и количество процедур были индивидуальны (от 7 до 21 дня) и варьировали, исходя из необходимости и состояния пациента. Субъективную оценку степени интенсивности болевого синдрома проводили по визуально-аналоговой шкале ВАШ (от 0 до 10 баллов). Характеристики интенсивности боли определяли методом кожной электрометрии по А.А. Герасимову [14]. Для расчета показателей опороспособности нижних конечностей использовали оригинальное программное обеспечение — программа SupportTest [15]. Исследование проводили с помощью напольных весов. Испытуемый вставал одной ногой на весы, а другой ногой — на подставку. Показания весов регистрировали каждые 15 сек. в течение 5 мин. Предварительно на тех же весах определяли массу тела пациента (P), которую принимали за 100 %. По показаниям весов для стоящей на них ноги вычисляли среднюю величину $P1$, а затем определяли величину опороспособности конечности (X) по формуле:

$$X = \frac{P1 \times 100}{P}, \%$$

Путем вычитания полученного значения из 100 % вычисляли процент распределения массы тела на другую ногу. Опороспособность конечности считали восстановленной в случае, если показатели пострадавшей конечности достигали значения не менее (80 ± 10) % от здоровой. При отсутствии нарушения и при полном (100 %) восстановлении ОС начисляли 5 баллов, при значениях в 90, 80 и 70 % — по 4, 3 и 2 балла соответственно.

Изучение биологического материала (сыворотки крови и суточной мочи) включало определение ряда показателей — маркеров деградации хрящевой ткани (свободного и общего гидроксипролина). Исследование проводили по методу, предложенному П.Н. Шараевым [16]. Забор биологического материала проводили перед началом курса лечения и через 45 сут. со дня последней процедуры или пребывания в отделении восстановительного лечения. В качестве референсных значений использовали аналогичные показатели здоровых людей в возрастном диапазоне от 45 до 65 лет. Степень удовлетворенности лечением определяли согласно персонифицированной оценке результатов лечения [17], при этом в качестве базовой использовали шкалу WOMAC (англ. Western Ontario and McMaster University Osteoarthritis Index).

Результаты исследования обработаны непараметрическими методами вариационной статистики для малых выборок. Статистическую значимость различий подтверждали при значении $p < 0,05$. Показатели проверены на нормальность по критериям Шапиро – Уилка и Титъена – Мура.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Анализ стандартных рентгенограмм пациентов обеих групп выявил рентгенологические признаки, характерные для ОА коленных суставов, описанные J. Kallgren и J. Lawrence [12], где нулевое значение свидетельствует об отсутствии изменений, при значении I (сомнительная степень) визуализируются незначительные остеофиты. Степень II (минимальная) характеризуется наличием четко выраженных остеофитов. У 11 пациентов отмечены минимальное сужение суставной щели (менее чем на 2/3 по сравнению с нормальными показателями), единичные субхондральные кисты и незначительные краевые костные разрастания. В 32 случаях видимых изменений структуры кости или анатомии сустава выявлено не было (рис. 1).



Рис. 1. Распределение пациентов согласно классификации Kellgren & Lawrence

Объективные показатели, характеризующие опороспособность конечности и степень болевого синдрома, перед началом лечения в обеих группах были сопоставимы (табл. 1). Согласно данным локомоторного тестирования перед началом лечения, нарушение опороспособности выявлено у 70 % пациентов основной и 70 % пациентов контрольной группы. Сравнительный анализ данных показателей в отдаленном периоде выявил статистически подтвержденное различие в полученных значениях ($p < 0,05$), что указывает на более эффективное восстановление опороспособности конечности в основной группе: ($3,59 \pm 0,31$) против ($3,26 \pm 1,2$).

Путем измерений кожного электропотенциала перед началом курса лечения у большинства обследуемых пациентов установили наличие болевого синдрома различной интенсивности (от умеренной до сильной). Объективное количественное измерение электропотенциала в виде коэффициента асимметрии (КА) стойко коррелировало ($r = 0,97$) с аналогичными субъективными показателями ВАШ (табл. 2). Клиническое и электрометрическое исследование подтвердило наличие болевого синдрома различной интенсивности у равного числа пациентов, при этом статические и ночные боли также испытывали 55 % ($n = 11$) пациентов основной и 57 % ($n = 11$) пациентов контрольной группы. Ликвидации болевого синдрома удалось добиться у всех пациентов основной и у 65 % пациентов контрольной группы. Сравнив числовые значения КА в отдаленном периоде, установили наличие болевого синдрома (от умеренного до незначительного) у 15 пациентов контрольной группы и у 2 человек основной группы. Результат подтвержден данными ВАШ. Выявлено статистически подтвержденное различие ($p < 0,05$) в показателях, характеризующих наличие и степень интенсивности боли в отдаленном периоде, что указывает на более высокую эффективность противоболевой терапии в основной группе.

Таблица 2

Распределение показателей результатов антропометрического, локомоторного, электрометрического и клинического исследования в различные периоды лечения

Показатели	Основная группа ($n = 22$)		Контрольная группа ($n = 21$)	
	до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
ВАШ (балл)	$6,7 \pm 2,6$	$0,6 \pm 0,02$	$6,5 \pm 2,3$	$4,6 \pm 0,02^*$
КА (балл)	$3,2 \pm 0,3$	$1,1 \pm 0,1$	$3,1 \pm 0,3$	$1,9 \pm 0,4^*$
ОС (балл)	$3,4 \pm 0,31$	$3,59 \pm 0,14$	$3,21 \pm 0,2$	$3,26 \pm 0,15^*$

Примечание: КА — коэффициент асимметрии; ВАШ — визуально-аналоговая шкала; ОС — опороспособность конечности; * — различия между группами достоверны при $p \leq 0,05$.

При изучении биохимических показателей в качестве референсных были использованы аналогичные данные, полученные при обследовании молодых здоровых людей в возрасте 30–45 лет, которые составили референсную группу ($n = 20$). Биохимический анализ перед началом курса лечения выявил одинаково повышенное содержание уровня общего и свободного гидроксипролина в сыворотке крови пациентов обеих групп ($p > 0,05$). Содержание свободного гидроксипролина в анализах суточной мочи также было повышенным, при этом полученные значения отличались от аналогичных показателей группы контроля, что свидетельствует о повышенном разрушении коллагена в обеих группах (табл. 3, 4).

Таблица 3

Сравнительный анализ результатов биохимического исследования сыворотки крови пациентов

Показатели	Референсная группа ($n = 20$)	Основная группа ($n = 22$)		Контрольная группа ($n = 21$)	
		до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
Гидроксипролин общий (ммоль/л)	$3,28 \pm 0,11$	$3,43 \pm 0,08$	$3,31 \pm 0,07^*$	$3,46 \pm 0,07$	$3,06 \pm 0,05$
Гидроксипролин свободный (ммоль/л)	$0,29 \pm 0,10$	$0,25 \pm 0,13$	$0,27 \pm 0,06$	$0,24 \pm 0,09$	$0,28 \pm 0,06$

Примечание: * — различия между группами достоверны при $p \leq 0,05$.

Таблица 4

Результаты биохимического исследования суточной мочи пациентов обеих групп

Показатель	Референсная группа ($n = 20$)	Основная группа ($n = 22$)		Контрольная группа ($n = 21$)	
		до лечения	после лечения	до лечения	после лечения
Гидроксипролин свободный (ммоль/л)	$0,12 \pm 0,01$	$0,17 \pm 0,04$	$0,12 \pm 0,05$	$0,17 \pm 0,02$	$0,15 \pm 0,02^*$

Примечание: * — различия между группами достоверны при $p \leq 0,05$.

Сравнительный анализ показателей биохимического исследования до и после лечения (длительность отдаленного периода составила ($45,3 \pm 1,22$) сут. в основной и ($44,1 \pm 1,03$) сут. в контрольной группе) выявил ряд статистически значимых различий ($p > 0,5$), косвенно указывающих на улучшение биохимических показателей обмена соединительной ткани в основной группе.

Персонализированная оценка результатов лечения [17] также показала различную степень удовлетворенности проведенным лечением пациентов основной и контрольной групп ($p < 0,05$). В качестве базовой при оценке функции коленного сустава использовали шкалу WOMAC [18].

Согласно ожиданиям пациентов, проведенное лечение должно купировать болевой синдром, улучшать опороспособность, расширять функциональные возможности и улучшать качество жизни. Высокие показатели степени удовлетворенности лечением зарегистрированы у 95 % пациентов основной группы и у 55 % пациентов контрольной группы. По результатам вводного тестирования каждая из групп была поделена на 2 подгруппы (табл. 5). Подгруппу «А» составили пациенты, ожидания которых находились в диапазоне «отлично» или у верхней границы диапазона «хорошо» ($n = 21$). При этом показатель ЖР составил ≥ 85 баллов. В подгруппу «В» вошли пациенты, ожидания которых находились у нижней границы диапазона «хорошо». В данной подгруппе преобладали лица старшей возрастной категории с нарушением опороспособности конечности. Показатель ЖР у этих пациентов составил ≤ 84 баллов. Анализ результатов оценки эффективности лечения выявил различную степень удовлетворенности лечением у пациентов основной и контрольной групп. Установлено, что результатами лечения осталось довольно большинство пациентов основной группы, при этом в 25 % случаев достигнутый результат превзошел ожидаемый. Количество удовлетворенных результатами лечения пациентов в контрольной группе было ниже, чем в основной, выявлено 2 случая с неудовлетворительной результативностью, что, очевидно, являлось результатом низкой эффективности противоболевой и противовоспалительной терапии. Основанием для прекращения процедур внутритканевой электростимуляции (и курса лечения) в основной группе являлись ликвидация болевого синдрома и восстановление параметров опороспособности конечности. Установлено, что длительность сроков лечения пациентов различалась в пользу пациентов основной группы: $(13,21 \pm 1,2)$ дня против $(18,3 \pm 1,2)$ дня в контрольной.

Таблица 5

Показатели персонализированной оценки результатов и длительности лечения пациентов

Показатель	Основная группа			Контрольная группа		
	А, $n = 11$	В, $n = 6$	С, $n = 21$	А, $n = 12$	В, $n = 7$	С, $n = 22$
ЖР (балл)	$91,8 \pm 3,8$	$77,5 \pm 6,09^*$	$87,05 \pm 8,28$	$96,2 \pm 3,25$	$85,5 \pm 5,68^*$	$92,6 \pm 6,59$
ДР (балл)	$96,2 \pm 3,25$	$85,5 \pm 5,68^*$	$92,6 \pm 2,59$	$89,1 \pm 3,68$	$81,1 \pm 2,79$	$86,21 \pm 3,17^{**}$
ИР (балл)	$104,9 \pm 4,43$	$110,89 \pm 11,3$	$106,9 \pm 7,66$	$97,9 \pm 5,97$	$106,9 \pm 5,15$	$101,24 \pm 7,1$
Курс лечения (дни)	$8,2 \pm 1,2$	$11,3 \pm 2,2$	$13,21 \pm 1,2$	$10,2 \pm 2,3$	$13,5 \pm 3,4$	$18,3 \pm 1,2^{**}$

Примечание: А — группа пациентов с ожиданиями в диапазоне «отлично» или у верхней границы диапазона «хорошо»; В — группа пациентов, ожидания которых находятся у нижней границы диапазона «хорошо»; С — группа пациентов с ожиданиями «отлично» и «хорошо»; ЖР — желаемый результат; ДР — достигнутый результат; ИР — итоговый результат; * — различия между подгруппами А и В достоверны при $p \leq 0,05$; ** — различия между подгруппами С основной и контрольной групп достоверны при $p \leq 0,05$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Известно, что течение ранних стадий остеоартроза характеризуется наличием хронического костно-болевого синдрома различной интенсивности, сопровождается характерными изменениями биомеханических, прочностных свойств кости, обусловленных перестройкой и изменением её качества. Собственные клинические наблюдения, подтвержденные данными литературы, указывают на то, что наиболее интенсивная боль локализуется в брадитрофных зонах костей, образующих коленный сустав (метафизарных отделах голени) [1, 4]. Известно, что результатом применения ВТЭС на ранних стадиях ОА, помимо снятия болевого синдрома, является восстановление локальной микроциркуляции костной и хрящевой тканей [19]. Результаты проведенных ранее полярографических и реографических исследований показали достоверно значимое ускорение процессов латентного периода доставки и утилизации кислорода в костной ткани после проведения курса электростимуляции. Доказано, что восстановление микроциркуляции и васкуляризации усиливает активность процессов энергетического обмена, что приводит к ликвидации локальных очагов асептического воспаления кости, восстановлению ее пьезоэлектрических и биохимических свойств [19]. В ряде отечественных и зарубежных исследований, посвященных вопросам лабораторной диагностики, показана специфичность маркеров деградации и синтеза хрящевой ткани и субхондральной кости — основных патогенетических звеньев ОА [20], изучена взаимосвязь структурных нарушений гиалинового хряща сустава и параметров системных проявлений воспалительной реакции на различных (в том числе доклинических) стадиях течения заболевания [22, 23]. Известно, что разрушение коллагеновых волокон сопровождается повышением экскреции гидроксипролина и увеличением его содержания в сыворотке крови. По имеющимся в настоящее время данным, гидроксипролин, определяемый в сыворотке крови и моче, является продуктом распада коллагена, причем свободная фракция ГП считается маркером деструкции, а связанная — маркером активности метаболизма соединительной ткани [23–26]. После проведения

курса внутритканевой электростимуляции мы отметили уменьшение содержания общего и свободного гидроксипролина в сыворотке крови и суточной моче пациентов преимущественно в основной группе, что косвенно свидетельствовало о более активном торможении процессов распада коллагена и восстановлении активности метаболизма соединительной ткани в этой группе пациентов [27, 29]. Изученные нами биохимические маркеры обладают невысокой специфичностью и высокой диагностической значимостью, поэтому являются косвенным признаком торможения распада коллагена. Однако изменение биохимических маркеров в совокупности с данными клинического и электрометрического исследований позволяют с высокой долей вероятности предполагать хондропротективный эффект от применения внутритканевой электростимуляции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение ВТЭС на ранних стадиях развития гонартроза ликвидирует болевой синдром, способствует снижению интенсивности процессов деструкции коллагена и восстановлению опороспособности конечности.

Внутритканевая электростимуляция является эффективным, патогенетически обоснованным методом лечения пациентов с остеоартрозом коленных суставов, сопровождающимся хроническим болевым синдромом.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования не заявлен.

Этическая экспертиза. Локальный этический комитет постановил, что метод ВТЭС внедрен в рутинную клиническую практику, имеет 15-летний период применения, не требует одобрения локальным этическим комитетом на использование. Разрешение на применение медицинской технологии «Лечение болевых синдромов позвоночника и суставов внутритканевой электростимуляцией» выдано Федеральной службой по надзору в сфере здравоохранения и социального развития, ФС 210/379 от 26.10.10. Используемый аппарат Вектор-МС находится в серийном выпуске с 2003 г., регистрационное удостоверение № РЗН 2013/1050 от 14.08.13.

Информированное согласие. Каждый пациент (законные представители) был ознакомлен с условиями лечения и исследования, подписал добровольное информированное согласие.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Хело М.Д., Ахтямов И.Ф., Абдуллах А.М., Саид Ф.М. Лечение гонартроза — современные тенденции и проблемные вопросы. *Практическая медицина*. 2018;16(7 (часть 1)):48-53. doi: 10.32000/2072-1757-2018-16-7-48-53
2. Katz JN, Arant KR, Loeser RF. Diagnosis and Treatment of Hip and Knee Osteoarthritis: A Review. *JAMA*. 2021;325(6):568-578. doi: 10.1001/jama.2020.22171
3. Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И. Связь полиморфизма генов LYPLAL1 и TGFA с прогрессированием остеоартроза коленного сустава у жителей Центрального Черноземья России. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):42-53. doi: 10.17816/2311-2905-1979
4. Алексеева Л.И., Таскина Е.А., Кашеварова Н.Г. Остеоартрит: эпидемиология, классификация, факторы риска и прогрессирования, клиника, диагностика, лечение. *Современная ревматология*. 2019;13(2):9-21. doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-9-21
5. Повзун А.С., Мазуров В.И., Повзун К.А., Костенко В.А.. Оценка текущей экономической эффективности лечения больных остеоартритом в Санкт-Петербурге и ее перспективы. *Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета*. 2017;9(3):89-96.
6. Rizk E, Tajchman S, Fink E, et al. Quality indicators for osteoarthritis pain management in the primary care setting. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):538. doi: 10.1186/s12891-023-06637-x
7. Eymard F, Ornetti P, Maillet J, et al. Intra-articular injections of platelet-rich plasma in symptomatic knee osteoarthritis: a consensus statement from French-speaking experts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2021;29(10):3195-3210. doi: 10.1007/s00167-020-06102-5
8. Fiz N, Delgado D, Garate A, et al. Intraosseous infiltrations of Platelet-Rich Plasma for severe hip osteoarthritis: A pilot study. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(Suppl 4):S585-S590. doi: 10.1016/j.jcot.2019.12.012
9. Абушева Г.Р., Ковлен Д.В., Пономаренко Г.Н. и др. Физические методы реабилитации пациентов с остеоартрозом: наукометрический анализ доказательных исследований. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(1):190-200. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-190-200.
10. Garvey WT, Garber AJ, Mechanick JI, et al. American association of clinical endocrinologists and american college of endocrinology position statement on the 2014 advanced framework for a new diagnosis of obesity as a chronic disease. *Endocr Pract*. 2014;20(9):977-989. doi: 10.4158/EP14280.PS
11. Рагозин О.Н., Малахов Ю.В., Дьячкова Э.Э., Рагозин Р.О. *Калькулятор экологической коморбидности*. Свидетельство о гос. рег. программы для ЭВМ № 2017663878. 13.12.2017. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 09.04.2024.
12. Kellgren JH, Jeffrey M, Ball J. *Atlas of standard radiographs*. Vol 2. Oxford: Blackwell Scientific; 1963.
13. Коваленко А.П., Камаева О.В., Мисиков В.К. и др. Шкалы и тесты для оценки эффективности лечебно-реабилитационных мероприятий у пациентов со спастичностью нижней конечности. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2018;118(5):120-128. doi: 10.17116/jnevro201811851120
14. Герасимов А.А. Способ объективной диагностики болевых синдромов. *Российский журнал боли*. 2013;1(36):76-77.
15. Бурматов Н.А., Сергеев К.С., Копылов С.А. и др. *Способ расчёта объективных показателей опороспособности нижней конечности (SUPPORTTEST)*. Свидетельство РФ о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2023616226. 23.03.2023. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 10.04.2023.

16. Шараев П.Н., Сахабутдинова Е.П., Лекомцева О.И., Кошикова С.В. Определение свободного и пептидосвязанного гидроксипролина в сыворотке крови. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2009;(1):7-9.
17. Гаркави Д., Гаркави А., Лычагин А. Универсальный способ персонализированной оценки результатов лечения у пациентов ортопедо-травматологического профиля. *Врач*. 2014;(7):31-34.
18. Иржанский А.А., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н. Валидация и культурная адаптация шкал оценки исходов заболеваний, повреждений и результатов лечения коленного сустава WOMAC, KSS и FJS-12. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(2):70-79. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-70-79
19. Герасимов А.А. Лечение больных с дистрофическими заболеваниями суставов и позвоночника способом внутритканевой электростимуляции: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. Санкт-Петербург; 1995;27. Доступно по: <https://medical-diss.com/medicina/lechenie-bolnyh-s-distroficheskimi-zabolevaniyami-sustavov-i-pozvonochnika-sposobom-vnutritkanevoy-elektrostimulyatsii>. Ссылка активна на 10.04.2024.
20. Белова С.В., Гладкова Е.В., Ульянов В.Ю., Блиникова В.В. Метаболические сдвиги у лиц с потенциальным риском развития первичного остеоартроза. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2018;14(3):511-514.
21. Гладкова Е.В., Иванов А.Н. Взаимосвязь структурных нарушений суставного гиалинового хряща и параметров системных проявлений воспалительной реакции в патогенезе ранних стадий первичного остеоартроза. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2018;14(3):518-523.
22. Галашина Е.А., Бондаренко А.С., Ульянов В.Ю., Климов С.С. Роль маркеров ремоделирования скелетной ткани в патогенезе имплантат-ассоциированного воспаления после первичной артропластики коленного сустава. *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2018;14(3):515-518.
23. Носивец Д.С. Биохимические маркеры при патологии хрящевой и костной ткани. *Материалы научно-практической конференции с международным участием, посвященной 90-летию со дня рождения профессора Н.П. Демичева «Современные аспекты травматологии, ортопедии и реконструктивной хирургии»*, Астрахань, 22-23 марта 2019. Астрахань: Изд-во Астраханского государственного медицинского университета; 2019:90-92.
24. Русланова Н.М., Поспелова К.И., Бахтин В.М. и др. Клиническое значение гидроксипролина в диагностике соединительнотканной дисплазии. *Материалы VI Международной научно-практической конференции молодых учёных и студентов, посвященной году науки и технологий «Актуальные вопросы современной медицинской науки и здравоохранения»*, Екатеринбург, 8-9 апреля 2021. Екатеринбург: Изд-во УГМУ; 2021:369-374.
25. Kurd MF, Kreitz T, Schroeder G, Vaccaro AR. The Role of Multimodal Analgesia in Spine Surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(4):260-268. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00049
26. Рассказов Н.И., Колокольцев В.В., Рассказов Д.Н. Перспективы изучения аутоантител к коллагенам. *Вестник дерматологии и венерологии*. 1994;(3):12-15.
27. Лунева С.Н., Сазонова Н.В., Мальцева Л.В., Матвеева Е.Л. Оценка эффективности препарата Терафлекс® в лечении начальных стадий остеоартрита и его влияния на структуру и метаболизм хрящевой ткани. *Consilium Medicum*. 2018;20(9):63-70. doi: 10.26442/2075-1753_2018.9.63-70
28. Parry DDA, Squire JM. Fibrous proteins: new structural and functional aspects revealed. In: *Advances in protein chemistry*. Elsevier Publ.; 2005:1-10.

Статья поступила 17.05.2023; одобрена после рецензирования 24.01.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 17.05.2023; approved after reviewing 24.01.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Никита Александрович Бурматов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, ассистент кафедры, burmatov.n@yandex.ru;

Константин Сергеевич Сергеев — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, <https://orcid.org/0000-0002-6621-9449>;

Светлана Николаевна Лунева — доктор биологических наук, профессор, ведущий научный сотрудник, luneva_s@mail.ru, SPIN-код: 9572-2655, <https://orcid.org/0000-0002-0578-1964>;

Андрей Александрович Герасимов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, <https://orcid.org/0000-0002-3581-1917>;

Семен Александрович Копылов — студент 5 курса, <https://orcid.org/0009-0001-7031-2646>;

Наталья Александровна Спиридонова — кандидат физико-математических наук, <https://orcid.org/0000-0002-2918-6609>.

Information about the authors:

Nikita A. Burmatov — Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist, Assistant at the Department, burmatov.n@yandex.ru;

Konstantin S. Sergeev — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, <https://orcid.org/0000-0002-6621-9449>;

Svetlana N. Luneva — Doctor of Biological Sciences, Professor, Leading Researcher, luneva_s@mail.ru, SPIN-code: 9572-2655, <https://orcid.org/0000-0002-0578-1964>;

Andrey A. Gerasimov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor, <https://orcid.org/0000-0002-3581-1917>;

Semyon A. Kopylov — student, 5th year, <https://orcid.org/0009-0001-7031-2646>;

Natalia A. Spiridonova — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, <https://orcid.org/0000-0002-2918-6609>.

Вклад авторов:

Бурматов Н.А. — концептуализация, методология, валидация, исследование, написание — первоначальный вариант, написание — рецензирование и редактирование, визуализация, контроль.

Сергеев К.С. — концептуализация, методология, написание — рецензирование и редактирование, управление проектом.

Лунева С.Н. — методология, валидация, исследование.

Герасимов А.А. — концептуализация, методология, контроль, написание — рецензирование и редактирование.

Копылов С.А. — обработка данных, визуализация, исследование.

Спиридонова Н.А. — методология, валидация, формальный анализ.

Научная статья

УДК 616.711.1-007.271-073.756.8

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361>

МСКТ-семиотика позвонков у больных со стенозом шейного отдела позвоночника

А.А. Суфианов^{1,2,3}, Д.Н. Набиев^{2✉}, А.В. Бурцев⁴, Р.А. Суфианов¹, М.Т. Карсанова^{1,2}, В.В. Питеров^{1,2}

¹ Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова, Москва, Россия

² Федеральный центр нейрохирургии, Тюмень, Россия

³ Российский университет дружбы народов, Москва, Россия

⁴ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Давид Нодарович Набиев, davidnabiev82@gmail.com

Аннотация

Введение. Количество хирургических вмешательств на шейном отделе позвоночника по поводу стеноза постоянно увеличивается, что обосновывает необходимость тщательной предоперационной подготовки, учитывая сложность вмешательства и возраст пациентов.

Цель работы — обосновать необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ плотности костной ткани тел и дуг позвонков для оценки ее качества при планировании костно-пластической декомпрессивной ламинопластики у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника на фоне дегенеративно-дистрофических изменений.

Материалы и методы. Одноцентровое ретроспективное исследование. Качественные и количественные характеристики позвоночника изучены методами рентгенографии и мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) у 82 больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями шейного отдела позвоночника со стенозом позвоночного канала (СШОП).

Результаты. Полученные данные свидетельствуют о тенденции увеличения общей плотности шейных позвонков от СIII к CV и уменьшения ее каудальнее с минимальной плотностью для CVII без признаков остеопороза. Аналогичная тенденция характерна и для трабекулярной кости. Достоверно отличается плотность остеонного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка от плотности наружных и внутренних пластинок. Общая плотность компактного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка превышает $(785,15 \pm 38,4)$ НУ.

Обсуждение. У пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника оценке плотности по данным МСКТ различных структурных образований позвонков должно придаваться наибольшее значение. Прежде всего, оценка плотности кости становится все более важной с возрастом пациентов. Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике.

Заключение. Полученные данные обосновывают необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ изучения плотности тел позвонков, дуги позвонка, ее толщины для разработки плана хирургического вмешательства у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника, поскольку они позволяют получать объективные данные о качестве кости.

Ключевые слова: позвоночник, шейный отдел, стеноз, семиотика, МСКТ

Для цитирования: Суфианов А.А., Набиев Д.Н., Бурцев А.В., Суфианов Р.А., Карсанова М.Т., Питеров В.В. МСКТ-семиотика позвонков у больных со стенозом шейного отдела позвоночника. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):353-361. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361. EDN: ETBFJW.



MSCT-semiotics of vertebrae in patients with cervical spine stenosis

A.A. Sufianov^{1,2,3}, D.N. Nabiev^{2✉}, A.V. Burtsev⁴, R.A. Sufianov¹, M.T. Karsanova^{1,2}, V.V. Piterov^{1,2}

¹ Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russian Federation

² Federal Centre of Neurosurgery, Tyumen, Russian Federation

³ Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

⁴ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: David N. Nabiev, davidnabiev82@gmail.co

Abstract

Introduction The number of surgical interventions on the cervical spine for stenosis has been constantly increasing. This fact proves that there is a need for careful preoperative preparation that would consider the complexity of the intervention and the age of the patients.

Purpose To substantiate the need to include the MSCT data processing algorithm of bone tissue density of vertebral bodies and arches to assess their quality for planning osteoplastic decompressive laminoplasty in patients with cervical spine stenosis due to degenerative changes.

Material and methods This single-center retrospective study investigated qualitative and quantitative characteristics of the spine with radiography and multislice computed tomography (MSCT) in 82 patients with degenerative diseases of the cervical spine and associated spinal canal stenosis (CSS).

Results and discussion The data obtained indicate a tendency for the total density of the cervical vertebrae to increase from C3 to C5 and to decrease caudally, with minimal density in C7 without signs of osteoporosis. A similar trend is characteristic of trabecular bone. The density of the osteon layer of the vertebral arch cortex differs significantly from the density of the outer and inner plates. The total density of the compact layer of the vertebral arch cortex exceeds 785.15 ± 38.4 HU.

Conclusion The data obtained justify the need to include the study of the density of vertebral bodies, vertebral arches, and its thickness in the MSCT data processing algorithm to develop a plan for surgical intervention in patients with cervical spine stenosis in order to obtain objective data on the quality of the bone.

Keywords: spine, cervical spine, stenosis, semiotics, MSCT

For citation: Sufianov AA, Nabiev DN, Burtsev AV, Sufianov RA, Karsanova MT, Piterov VV. MSCT-semiotics of vertebrae in patients with cervical spine stenosis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):353-361. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-353-361

ВВЕДЕНИЕ

Современные методы визуализации обеспечивают отличное анатомическое изображение шейного отдела позвоночника. Выбор каждого из них зависит от клинического сценария и терапевтических альтернатив. Полипозиционная рентгенография по-прежнему остается фундаментальным методом, поскольку позволяет оценить ось позвоночника, размеры и изменения позвонков и провести последующее наблюдение после лечения, будучи экономически доступным и визуализационно обоснованным обследованием [1–3]. Значительно возросла роль МРТ, которая позволяет визуализировать мягкотканые образования позвоночника, включая межпозвонковые диски, связки, спинной мозг, в частности, его подвижность, что крайне важно для пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника (СШОП), осложненного миелопатией [2, 4–8]. Не меньшее значение придается мультисрезовой компьютерной томографии (МСКТ) в изучении дистрофических изменений позвоночника ввиду большого пространственного разрешения и уникальной способности качественно и количественно оценивать состояние позвонков, как до лечения, так и на различных его этапах [2, 9, 10]. Часто применяется комплекс лучевых методов диагностики для оценки результатов лечения пациентов со СШОП [2, 11].

Изучение анатомии позвонков, их архитектоники, плотностных показателей крайне важно для решения вопроса о выборе метода лечения при любом характере хирургического вмешательства на позвоночнике, в том числе и при устранении стеноза шейного отдела позвоночника (СШОП). Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения во многих случаях, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике [12, 13].

Прежде всего, речь идет об оценке состояния кости для введения имплантов при различных видах транспедикулярной фиксации и других методах металлоостеосинтеза с целью предотвращения различных осложнений, связанных с мальпозицией винтов или других конструкций, несостоятельностью металлоконструкций, причем больше внимания следует уделять пациентам с выраженными дегенеративными изменениями показателям плотности (НУ) [14–16].

Плотность кости, как важный фактор прочности, определяют различными методами, однако наиболее распространенным и универсальным является МСКТ с использованием стандартизированных единиц Хаунсфилда (НУ), обеспечивая надежную оценку плотности кости, улучшая диагностические показатели [10, 18, 19]. Изучение анатомии, архитектоники, плотности позвонков проводят с помощью отдельных методов или комплексно, как в работе G. Schröder et al., где использованы микро-КТ и МСКТ [12]. Гистоморфометрическое исследование («золотой стандарт» изучения качества кости) в работе H.J. Grote et al. использовано для оценки плотности трабекулярной кости [20]. В случаях применения МСКТ плотность губчатой кости в НУ определена для позвонков C2–C7 на каждом сагитальном, корональном и аксиальном КТ-изображении, результаты компьютерной томографии шейного отдела позвоночника (ШОП) предоставляют достоверную информацию независимо от плоскости измерения, возраста или пола, а также степени дегенерации [21].

По мнению Q. Zaidi et al., О.Н. Леоновой с соавт., у пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника следует придавать наибольшее значение оценке плотности различных структурных образований позвонков по данным МСКТ [15, 22].

В представленной выше литературе, касающейся определения качества кости позвонков на основе плотности кости по данным МСКТ, изучены только некоторые показатели и параметры тела позвонка, причем при измерении, в основном, локальной плотности губчатой кости. Однако важно знать состояние всех структурных образований позвонка, особенно при использовании метода ламинопластики, где наиболее важными для хирурга анатомическими зонами являются дуги позвонка и дугоотростчатые суставы, как основные объекты, к которым фиксируют пластины.

Цель работы — обосновать необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ плотности костной ткани тел и дуг позвонков для оценки ее качества при планировании костно-пластической декомпрессивной ламинопластики у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника на фоне дегенеративно-дистрофических изменений.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Одноцентровое ретроспективное исследование выполнено на базе нейрохирургического отделения № 3 Федерального центра нейрохирургии (Тюмень). Качественные и количественные характеристики позвоночника изучены методами рентгенографии и МСКТ у 82 больных с дегенеративно-дистрофическими заболеваниями шейного отдела позвоночника со стенозом позвоночного канала.

Уровень доказательности — IV.

Клинико-статистическая характеристика пациентов

В представленной выборке преобладали лица мужского пола (86,6 %) в возрасте от 56 до 75 лет (70,7 %). У большинства пациентов (89,0 %) имел место многоуровневый стеноз позвоночного канала (табл. 1).

Во время хирургического вмешательства у 68,3 % пациентов ламинопластика шейного отдела была выполнена на уровне $C_{III}-C_{VI}$ и $C_{III}-C_{VII}$ (табл. 2).

Таблица 1

Распределение больных по возрасту, полу и количеству уровней стенозов в шейном отделе позвоночника

Возраст	Пол		Количество стенозов				
	мужчины	женщины	два	три	четыре	пять	Всего
36–40	1	–	–	1	–	–	1
41–45	2	1	–	3	–	–	3
46–50	8	1	1	8	–	–	9
51–55	9	2	2	5	4	–	11
56–60	19	3	8	8	7	–	23
61–65	16	–	2	5	8	1	16
66–70	12	3	2	7	6	–	15
71–75	4	–	1	2	1	–	4
Итого	71	11	16	39	26	1	82

Таблица 2

Распределение больных по уровню ламинопластики шейного отдела позвоночника

Протяженность фиксации	Количество больных		Итого	
	мужчины	женщины	абс.	%
$C_{II}-C_{IV}$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_V$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_{VI}$	1	–	1	1,2
$C_{II}-C_{VII}$	1	–	1	1,2
$C_{III}-C_V$	5	–	5	6,1
$C_{III}-C_{VI}$	26	5	31	37,8
$C_{III}-C_{VII}$	22	3	25	30,5
$C_{IV}-C_{VI}$	7	1	8	9,8
$C_{IV}-C_{VII}$	4	2	6	7,3
C_V-C_{VII}	2	–	2	2,4
C_V-Th_1	1	–	1	1,2
Всего	71	11	82	100

Методы исследования

1. Полипозиционная и функциональная рентгенография выполнена всем 82 пациентам.
2. Мультисрезовая спиральная компьютерная томография (МСКТ) выполнена всем 82 пациентам с помощью рентгеновского компьютерного томографа Aquilion One (1385 Shmoishigami, Otawara-shi, Tochigi 324-8550, Japan, 320 линеек детекторов, максимальное количество срезов – 640).

МСКТ применена для оценки качества кости (плотность, структура, размеры тела позвонка, дужек). Измерение плотности позвонков проводили на аксиальных и сагиттальных срезах (общая плотность, плотность губчатой кости, компактного слоя). Изучали плотность кортикальной пластинки дуги позвонка в различных слоях. При необходимости производили 3D-реконструкции (рис. 1).

Критерии включения:

- 1) стеноз шейного отдела позвоночника по данным МСКТ и МРТ, полный лучевой архив;
- 2) отсутствие в анамнезе пациентов операций на шейном отделе позвоночника;
- 3) согласие пациентов на публикацию данных, полученных во время исследования, без идентификации личности.

Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава РФ. Все больные подписали информированное согласие на публикацию данных без идентификации личности.

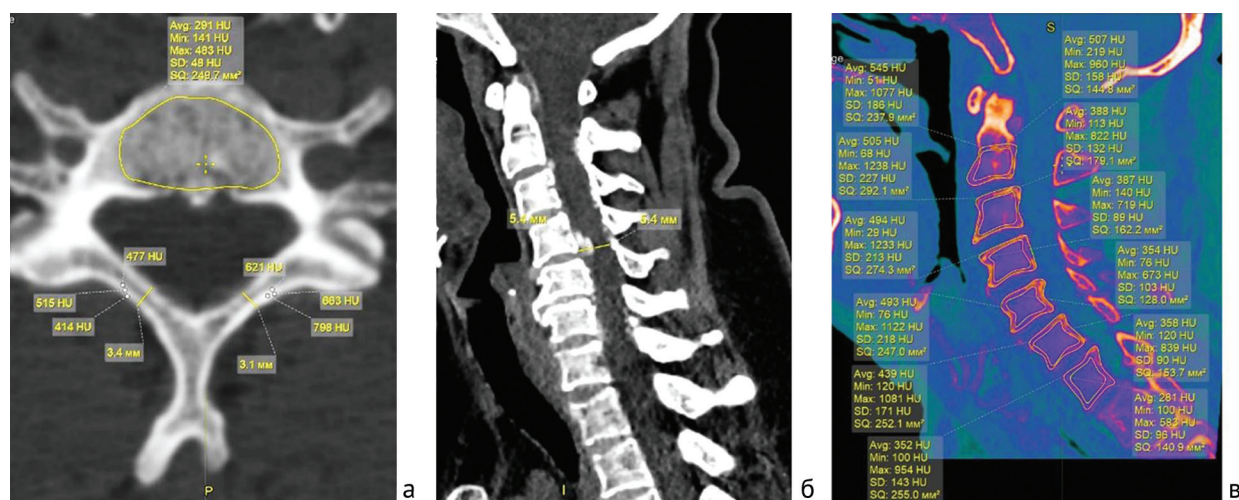


Рис. 1. МСКТ шейного отдела позвоночника больных дегенеративно-дистрофической болезнью позвоночника со стенозом позвоночного канала. Аксиальная плоскость, измерение плотности трабекулярной (губчатой) кости тела позвонка, плотности компактного слоя и толщины дуги позвонка CV (а), сагиттальная плоскость (б), сагиттальная плоскость, измерение общей плотности позвонков CIII–CVII и плотности трабекулярной кости (в)

Статистическую обработку параметров плотности проводили с помощью программы Attestat, встроенной в Microsoft Excel. Для подтверждения выводов о различиях между полученными результатами в двух группах, учитывая малые выборки, применяли U-критерий Манна – Уитни. Выборочные параметры, приводимые далее в таблицах, имели следующие обозначения: M – среднее, σ – стандартное средне-квадратичное отклонение, n – количество больных, p – достигнутый уровень значимости. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез в данном исследовании принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изучение общей плотности позвонков от C_{III} до C_{VII} в сагиттальной плоскости показало увеличение ее от уровня C_{III} к C_{IV}, а от уровня C_V и каудальнее отмечено снижение показателей в порядке убывания с минимумом на уровне C_{VII} (табл. 3).

Таблица 3

Общая плотность позвонков у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника в зависимости от уровня, HU

Показатели	Плотность, HU					
	C _{II}	C _{III}	C _{IV}	C _V	C _{VI}	C _{VII}
Средняя величина, M	394,4	445,3	452,2	439,8	411,9	337,1 ¹
Средне-квадратичное отклонение, σ	51,7	57,4	65,7	74,8	66,4	38,9

¹ – $p < 0,044$

Результаты изучения общей и локальной плотности губчатой кости тела шейных позвонков представлены на рисунке 2.

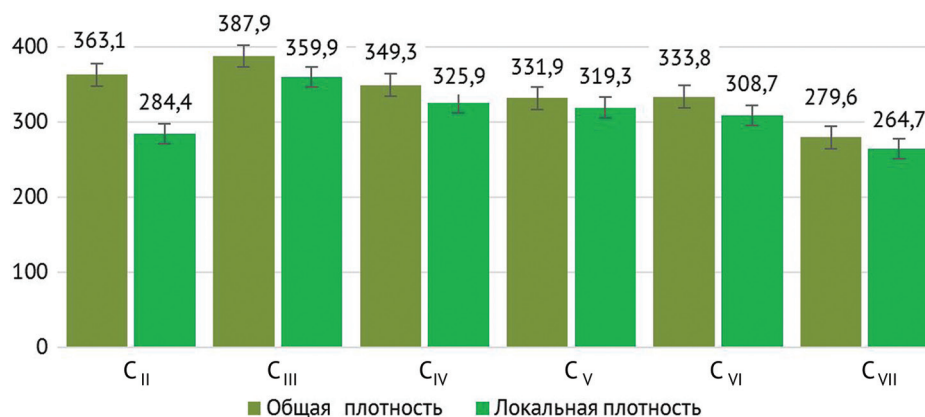


Рис. 2. Диаграмма общей и локальной плотности губчатой кости тела шейных позвонков

Измерение плотности компактного слоя тела позвонка в сагиттальной плоскости по передней и задней поверхностям показало, что плотность компактного слоя костной ткани была выше в задних отделах тел позвонков по сравнению с передними, однако без достоверных отличий. Это связано с тем, что границы компактного слоя и трабекулярной кости на аксиальных срезах четко визуализируются, тогда как в сагиттальной плоскости границы определяются условно. При изучении плотности компактного слоя шейных позвонков по передней и задней поверхностям в аксиальной плотности отличия достоверны, кроме C_{VII} . Что касается позвонка C_{VII} , то он имел минимальную плотность с зонами резорбции и минимальными отличиями по передней и задней поверхностям, в связи с чем показатели плотности не отличались (табл. 4).

Таблица 4

Плотность компактного слоя позвонков по передней и задней поверхностям в аксиальной плоскости, HU

Зона интереса	Плотность компактного слоя позвонков в аксиальной плоскости, HU				
	C_{III}	C_{IV}	C_V	C_{VI}	C_{VII}
Передняя поверхность позвонка	$449,1 \pm 60,8$	$547,2 \pm 21,8$	$628,5 \pm 53,9$	$436,1 \pm 63,1$	$312,0 \pm 45,6$
Задняя поверхность позвонка	$516,6 \pm 51,6$	$821,3 \pm 48,9^1$	$972,4 \pm 61,6^2$	$599,7 \pm 75,7^3$	$309,25 \pm 42,8$

¹ — $p \leq 0,041$; ² — $p \leq 0,034$; ³ — $p \leq 0,05$

Изучена также локальная общая и точечная плотность трех слоев кортикальной пластинки, поскольку плотность остеонного (центрального) слоя намного превышала плотность наружных и внутренних пластинок, что необходимо учитывать при предоперационном измерении плотности дуги позвонка, к которой фиксируются пластины при ламинопластике (рис. 3).

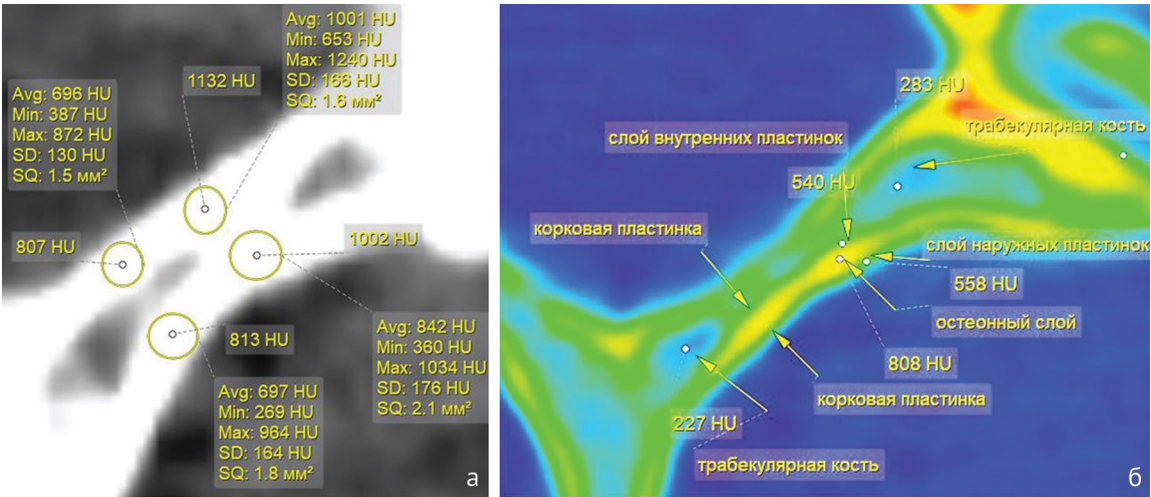


Рис. 3. МСКТ шейного отдела позвоночника. Аксиальный срез C_V . Схема измерения общей локальной плотности корковой пластинки дуги позвонка (а). Увеличенный фрагмент кортикальной пластинки дуги позвонка. Определение плотности слоев кортикальной пластинки. Фильтр (палитра) perfusion (б)

Статистические данные плотности различных слоев кортикальной пластинки дуги позвонка представлены на рисунке 4.

Плотность остеонного слоя на 33,3 % больше плотности внутренних пластинок и на 10,4 % больше плотности наружных пластинок. Это следует учитывать при измерении плотности кортикальной пластинки дуги. При измерении в области внутренних пластинок, слой которых тоньше остеонного, можно получить очень низкие показатели плотности. Необходимо измерять плотность всех слоев не только точно, но и определяя локальную общую плотность всех слоев кортикальной пластинки, которую измеряли в зоне интереса в виде круга, захватывающего всю толщину кортикальной пластинки ($ROI = 1,5-2,2 \text{ см}^2$). Локаль-

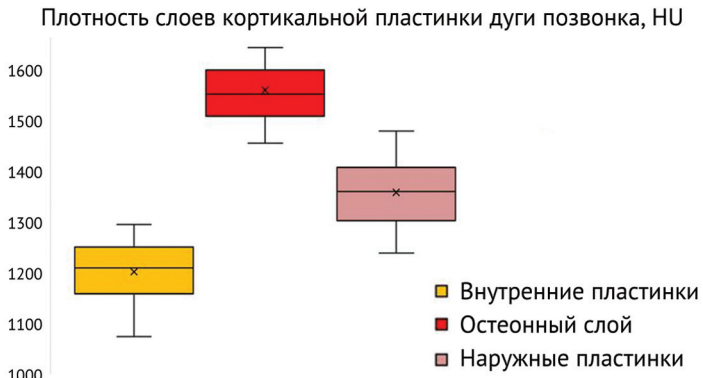


Рис. 4. Диаграмма точечной плотности слоев кортикальной пластинки дуги позвонка. *Примечание:* в графике цвет обозначает среднее значение, горизонтальная линия — эксклюзивная медиана, прямоугольник показывает межквартильный размах, а вертикальные линии — планки погрешностей

ная плотность всех слоев кортикальной пластинки дуги позвонка колебалась от 700 до 1150 HU, составляя в среднем $(785,15 \pm 38,4)$ HU, причем в зоне, прилежащей к дугоотростчатым суставам, плотность была несколько выше у 75,6 % больных.

Измерение толщины дужек позвонков в аксиальной плоскости на равном расстоянии от центральной оси позвонка выявило, что у 83 % пациентов этот показатель отличался справа и слева, причем справа толщина была меньше у 45 % пациентов (рис. 5).

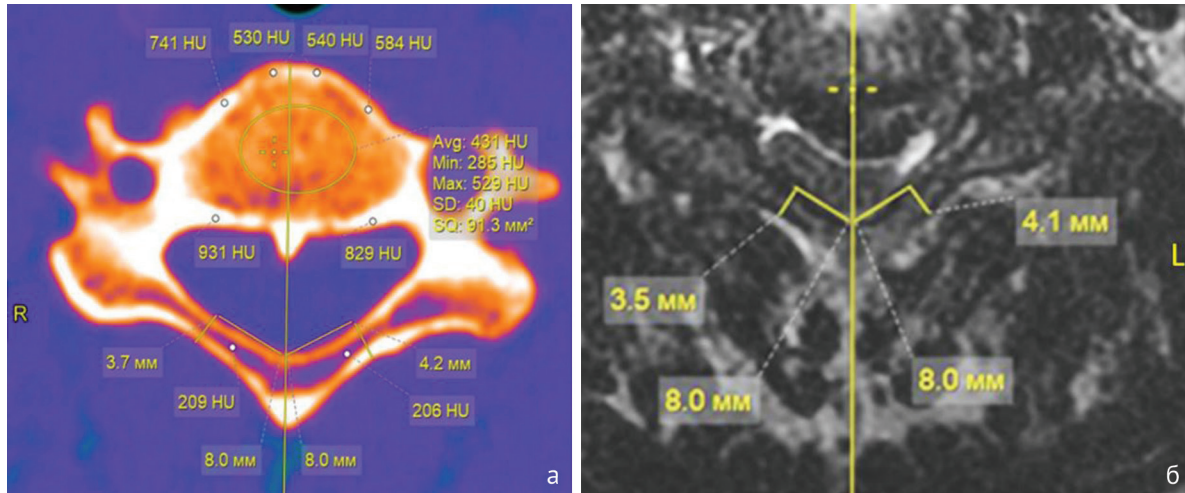


Рис. 5. МСКТ шейного отдела позвоночника пациента Ю., 65 лет. Аксиальная плоскость, измерение толщины дужек C_v позвонка на двух уровнях (а), МРТ шейного отдела позвоночника этого же пациента, аксиальная плоскость, Ax T2FRFSE. Измерение толщины дужек C_{IV} позвонка (б)

В таблице 5 представлены данные о толщине дуг позвонков на уровне C_{III} и C_v справа и слева, измерения сделаны во всех случаях на расстоянии 8 мм от центральной оси позвонка.

Измерение толщины дуги позвонка ближе к дугоотростчатому суставу показало, что она была на 1,2–1,5 мм больше.

Таблица 5
Толщина дуг позвонков на уровне C_{III} и C_v у пациентов с различной их толщиной

Толщина дуги, мм	Зона интереса	
	C_{III}	C_v
Справа	$3,8 \pm 0,5$	$4,1 \pm 0,6$
Слева	$4,0 \pm 0,3$	$4,3 \pm 0,8$

ОБСУЖДЕНИЕ

Применение МСКТ позволило определить не только характер и распространенность изменений позвоночника, но и изучить количественные плотностные характеристики позвонков при СШОП, что позволило объективно судить о состоянии трабекулярной и компактной костной ткани при оценке в единицах Хаунсфилда (HU). Это заключение подтверждается исследованиями А.Н. Михайлова, Т.Н. Лукьяненко [23]. В работе G. Schröder et al. с использованием микро-КТ и МСКТ у всех обследованных больных плотность губчатой кости была значительно выше в шейных позвонках (в среднем 177,6 HU), чем в грудных (в среднем 94,4 HU) или поясничных позвонках (в среднем 62,8 HU, $p < 0,001$). В нашем исследовании плотность позвонков в шейном отделе была значительно выше, чем в приведенных данных. Это связано с тем, что в указанной работе обследованы пациенты с одним или двумя переломами позвоночника в возрасте $(84,3 \pm 8,4)$ года, тогда как в нашей выборке средний возраст не превышал $(58,9 \pm 7,9)$ года, и не было пациентов с переломами позвоночника. Кроме того, мы изучали плотность трабекулярной кости по всей площади позвонка в аксиальной плоскости, тогда как авторы исследовали небольшой участок в центре позвонка, что не всегда отражало общую плотность [24]. Гистоморфометрическое исследование («золотой стандарт» изучения качества кости) H.J. Grote et al. выявило, что плотность трабекулярной кости в шейном отделе позвоночника заметно выше, чем в грудном или поясничном отделах [20]. Показано, что потеря костной массы в шейном отделе позвоночника с возрастом меньше, чем в других отделах позвоночника. Не отмечено значительной возрастной потери трабекулярной плотности в шейных позвонках C_{III} и C_{IV} , что согласуется с данными G. Schröder et al. [24, 25]. В работах с применением МСКТ плотность губчатой кости в HU была определена для позвонков C_{II} – C_{VI} на каждом сагиттальном, корональном и аксиальном КТ-изображении [21]. По мнению авторов, средние значения плотности в единицах Хаунсфилда (HU), которые могут быть отнесены к остеопении и остеопорозу, составили $(284,0 \pm 63,3)$ и $(231,5 \pm 52,8)$ соответственно. Показатели плотности двух верхних шейных позвонков (C_{II} и C_{III}) имели большую плотность, чем для других сегментов [21]. По нашим данным, трабекулярная плотность позвон-

ков была намного выше, составляя в среднем $(387,89 \pm 49,14)$ — $(333,81 \pm 46,09)$ для $C_{III}-C_{VII}$. Нами также изучена плотность различных слоев кортикальной пластинки дужки позвонка, которая является важным объектом хирургического сценария. Наибольшая плотность соответствовала остеонному слою, что совпадает с данными Г.В. Дьячковой с соавт. [26]. Локальная плотность всех слоев кортикальной пластинки дуги позвонка колебалась от 700 до 1150 НУ, составляя в среднем $(785,15 \pm 38,4)$ НУ.

По мнению Q. Zaidi et al., у пациентов с дегенеративно-дистрофическими изменениями позвоночника оценке плотности по данным МСКТ различных структурных образований позвонков должно придаваться наибольшее значение [15]. Прежде всего, оценка плотности кости становится все более важной с возрастом пациентов. Определение качества кости имеет решающее значение для успеха лечения, особенно профилактики остеопоротических переломов, но оно также является частью оптимальной хирургической подготовки к операции на позвоночнике и контроля состояния винтов [24, 27]. Полученные данные свидетельствуют о тенденции увеличения общей плотности шейных позвонков от C_{III} к C_V и уменьшения ее каудальнее с минимальной плотностью для C_{VII} без признаков остеопороза. Аналогичная тенденция характерна и для трабекулярной кости. По мнению X. Liang et al., необходимо определять не только общую и локальную плотность позвонков, но и изучать ее на трех уровнях в сагиттальной плоскости (верхняя треть, центральная часть, нижняя треть) для выяснения влияния дегенерации дисков на плотность позвонка [28]. Выявлены достоверные отличия плотности компактной кости по задней поверхности позвонков $C_{III}-C_V$ на аксиальных срезах. Имеет место умеренная асимметрия толщины дужки позвонка на аксиальных срезах. Достоверно отличается плотность остеонного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка от плотности наружных и внутренних пластинок. Общая плотность компактного слоя кортикальной пластинки дуги позвонка превышает $785,15 \pm 38,4$ НУ, что свидетельствует о достаточной плотности дуги позвонка с учетом всех ее слоев для безопасного введения фиксирующих винтов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные данные обосновывают необходимость включения в алгоритм обработки данных МСКТ изучения плотности тел позвонков, дуги позвонка, ее толщины для разработки плана хирургического вмешательства у пациентов со стенозом шейного отдела позвоночника, поскольку они позволяют получать объективную характеристику качества кости.

Конфликт интересов. Авторы заявляют, что данная работа, ее тема, предмет и содержание не затрагивают конкурирующих интересов. Мнения, изложенные в статье, принадлежат авторам рукописи.

Финансирование исследования. Исследование не финансировалось какими-либо источниками.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дамдинов Б.Б., Сороковиков В.А., Ларионов С.Н. и др. Особенности изменения сагиттального баланса шейного отдела позвоночника при шейно-плечевом синдроме. *Хирургия позвоночника*. 2019;16(2):42-48. doi: 10.14531/ss2019.2.42-48
2. Spirig JM, Sutter R, Götschi T, et al. Value of standard radiographs, computed tomography, and magnetic resonance imaging of the lumbar spine in detection of intraoperatively confirmed pedicle screw loosening—a prospective clinical trial. *Spine J*. 2019;19(3):461-468. doi: 10.1016/j.spinee.2018.06.345
3. Hirai T, Yoshii T, Sakai K, et al. Long-term results of a prospective study of anterior decompression with fusion and posterior decompression with laminoplasty for treatment of cervical spondylotic myelopathy. *J Orthop Sci*. 2018;23(1):32-38. doi: 10.1016/j.jos.2017.07.012
4. Wolf K, Krafft AJ, Egger K, et al. Assessment of spinal cord motion as a new diagnostic MRI-parameter in cervical spinal canal stenosis: study protocol on a prospective longitudinal trial. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):321. doi: 10.1186/s13018-019-1381-9
5. Hesni S, Baxter D, Saifuddin A. The imaging of cervical spondylotic myeloradiculopathy. *Skeletal Radiol*. 2023;52(12):2341-2365. doi: 10.1007/s00256-023-04329-0
6. Tetreault L, Kalsi-Ryan S, Davies B, et al. Degenerative Cervical Myelopathy: A Practical Approach to Diagnosis. *Global Spine J*. 2022;12(8):1881-1893. doi: 10.1177/21925682211072847
7. Chen YC, Kuo CH, Cheng CM, Wu JC. Recent advances in the management of cervical spondylotic myelopathy: bibliometric analysis and surgical perspectives. *J Neurosurg Spine*. 2019;31(3):299-309. doi: 10.3171/2019.5.SPINE18769
8. Nouri A, Cheng JS, Davies B, et al. Degenerative Cervical Myelopathy: A Brief Review of Past Perspectives, Present Developments, and Future Directions. *J Clin Med*. 2020;9(2):535. doi: 10.3390/jcm9020535
9. Llopis E, Belloch E, León JP, et al. The degenerative cervical spine. *Radiologia*. 2016;58 Suppl 1:13-25. doi: 10.1016/j.rx.2015
10. Xu F, Zou D, Li W, et al. Hounsfield units of the vertebral body and pedicle as predictors of pedicle screw loosening after degenerative lumbar spine surgery. *Neurosurg Focus*. 2020;49(2):E10. doi: 10.3171/2020.5.FOCUS20249
11. Liu FJ, Ding XK, Chai Y, et al. Influence of fixed titanium plate position on the effectiveness of open-door laminoplasty for cervical spondylotic myelopathy. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):297. doi: 10.1186/s13018-022-03188-0
12. Schröder G, Reichel M, Spiegel S, et al. Breaking strength and bone microarchitecture in osteoporosis: a biomechanical approximation based on load tests in 104 human vertebrae from the cervical, thoracic, and lumbar spines of 13 body donors. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):228. doi: 10.1186/s13018-022-03105-5
13. Kim MK, Cho HJ, Kwak DS, You SH. Characteristics of regional bone quality in cervical vertebrae considering BMD: Determining a safe trajectory for cervical pedicle screw fixation. *J Orthop Res*. 2018;36(1):217-223. doi: 10.1002/jor.23633

14. Зейналов Ю.Л., Дьячкова Г.В., Бурцев А.В. и др. Компьютерно-томографическая семиотика апикальных позвонков у больных идиопатическим сколиозом в возрасте от 14 до 18 лет в зависимости от величины деформации позвоночника. *Радиология – практика*. 2021;(5):11-27. doi: 10.52560/2713-0118-2021-5-11-27
15. Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W. Measurement Techniques and Utility of Hounsfield Unit Values for Assessment of Bone Quality Prior to Spinal Instrumentation: A Review of Current Literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(4):E239-E244. doi: 10.1097/BRS.0000000000002813
16. Han C, Zhou C, Zhang H, et al. Evaluation of bone mineral density in adolescent idiopathic scoliosis using a three-dimensional finite element model: a retrospective study. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):938. doi: 10.1186/s13018-023-04413-0
17. Weinberg DS, Rhee JM. Cervical laminoplasty: indication, technique, complications. *J Spine Surg*. 2020;6(1):290-301. doi: 10.21037/jss.2020.01.05
18. Choi MK, Kim SM, Lim JK. Diagnostic efficacy of Hounsfield units in spine CT for the assessment of real bone mineral density of degenerative spine: correlation study between T-scores determined by DEXA scan and Hounsfield units from CT. *Acta Neurochir (Wien)*. 2016;158(7):1421-1427. doi: 10.1007/s00701-016-2821-5
19. Wang H, Zou D, Sun Z, et al. Hounsfield Unit for Assessing Vertebral Bone Quality and Asymmetrical Vertebral Degeneration in Degenerative Lumbar Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(22):1559-1566. doi: 10.1097/BRS.0000000000003639
20. Grote HJ, Amling M, Vogel M, et al. Intervertebral variation in trabecular microarchitecture throughout the normal spine in relation to age. *Bone*. 1995;16(3):301-308. doi: 10.1016/8756-3282(94)00042-5
21. Han K, You ST, Lee HJ, et al. Hounsfield unit measurement method and related factors that most appropriately reflect bone mineral density on cervical spine computed tomography. *Skeletal Radiol*. 2022;51(10):1987-1993. doi: 10.1007/s00256-022-04050-4
22. Леонова О.Н., Байков Е.С., Крутько А.В. Особенности плотности костной ткани поясничных позвонков у пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника. *Гений ортопедии*. 2022;28(5):692-697. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-692-697. EDN: EUHAVU.
23. Михайлов А.Н., Лукьяненко Т.Н. Минеральная плотность позвонков у больных с шейным остеохондрозом по данным количественной компьютерной томографии. *Международные обзоры: клиническая практика и здоровье*. 2014;(6):24-32.
24. Schröder G, Jabke B, Schulze M, et al. A comparison, using X-ray micro-computed tomography, of the architecture of cancellous bone from the cervical, thoracic and lumbar spine using 240 vertebral bodies from 10 body donors. *Anat Cell Biol*. 2021;54(1):25-34. doi: 10.5115/acb.20.269
25. Schröder G, Wendig D, Jabke B, et al. Comparison of the spongiosa morphology of the human cervical spine (CS), thoracic spine (TS) and lumbar spine (LS) of a 102-year-old body donor. *Osteology*. 2019;28(04):283-288. (In German) doi: 10.1055/a-0997-8059
26. Дьячков К.А., Дьячкова Г.В., Кутиков С.А. Способ определения локальной плотности корковой пластинки длинных костей. Патент РФ на изобретение № 2539424. 20.01.15. Бюл. № 2. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 07.02.2024.
27. Wu X, Shi J, Wu J, et al. Pedicle screw loosening: the value of radiological imagings and the identification of risk factors assessed by extraction torque during screw removal surgery. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):6. doi: 10.1186/s13018-018-1046-0
28. Liang X, Liu Q, Xu J, et al. Hounsfield Unit for Assessing Bone Mineral Density Distribution Within Cervical Vertebrae and Its Correlation With the Intervertebral Disc Degeneration. *Front Endocrinol (Lausanne)*. 2022;13:920167. doi: 10.3389/fendo.2022.920167

Статья поступила 29.01.2024; одобрена после рецензирования 02.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 29.01.2024; approved after reviewing 02.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Альберт Акрамович Суфианов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, Sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7580-0385>;

Давид Нодарович Набиев — врач-нейрохирург высшей категории, заведующий отделением, davidnabiev82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5380-8367>;

Александр Владимирович Бурцев — доктор медицинских наук, директор, bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;

Ринат Альбертович Суфианов — ассистент кафедры, врач-нейрохирург, Rinat.sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4031-0540>;

Мария Темболатовна Карсанова — врач-нейрохирург, asya_mag_95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8919-1012>;

Владислав Владимирович Питеров — врач-нейрохирург, Piterovva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7024-0016>.

Information about the authors:

Albert A. Sufianov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, Sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7580-0385>;

David N. Nabiev — neurosurgeon, Head of the Department, davidnabiev82@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5380-8367>;

Aleksandr V. Burtsev — Doctor of Medical Sciences, Director, bav31rus@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;

Rinat A. Sufianov — assistant, neurosurgeon, Rinat.sufianov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4031-0540>;

Maria T. Karsanova — neurosurgeon, asya_mag_95@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8919-1012>;

Vladislav V. Piterov — neurosurgeon, Piterovva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7024-0016>.

Вклад авторов:

Авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Научная статья

УДК 531.1/3:612.763:616.728.2-77-073.75

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371>

Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении сидя и стоя

В.В. Павлов, Е.А. Мушкачев✉, Э.Н. Тургунов, В.Л. Лукинов, А.В. Пелеганчук

Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна,
Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Евгений Андреевич Мушкачев, mushkachevi@gmail.com

Аннотация

Введение. Понимание биомеханики движений в позвоночно-тазовом сегменте играет важную роль в успешном лечении пациентов с hip-spine синдромом. Анализ биомеханических процессов, происходящих в биокинематической цепи позвоночник–таз–бедро, возникающих при переходе из положения стоя в положение сидя, позволяет сделать вывод, что ацетабулярная ось вращения таза в пространстве не является единственной. Классические способы измерения показателей PI, PT, overhang S1 применимы для положения пациентов стоя и используют в качестве отправной точки тазобедренный сустав, так как он является точкой вращения таза в пространстве в стоячем положении. Ранее мы посредством математического моделирования описали пространственные изменения таза при данной смене положения тела и показали наличие второй точки вращения таза в пространстве, появляющейся в положении сидя. Мы предположили, что в положении сидя при расчете показателей позвоночно-тазовых взаимоотношений необходимо использовать другие методы их определения.

Цель работы — оценить параметры сагиттального баланса предложенным альтернативным способом у пациентов в положении стоя и сидя.

Материалы и методы. Проанализирована медицинская документация и результаты рентгенологического обследования 20 пациентов с односторонним идиопатическим коксартрозом, которым выполнена операция тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Рассчитаны рентгенологические параметры: PI, PT, Overhang S1 в положении стоя и сидя, антеклон ацетабулярного компонента эндопротеза, предложены и рассчитаны параметры PI седалищный, PT седалищный, отклонение седалищных бугров в положении стоя и сидя.

Результаты. В исследовании показано отсутствие статистической разницы значений углов PI стандартный для положения стоя и PI седалищный для положения сидя, что соответствует объективным данным и является общепринятым. Также приведены примеры изменения рентгенологических параметров наклона крестца и отклонения седалищных бугров, отражающих вращение таза в пространстве через вторую, седалищную, ось, что является подтверждением наличия двух осей вращения таза в зависимости от положения тела.

Обсуждение. Проведенные расчёты продемонстрировали возможности использования альтернативных показателей позвоночно-тазовых взаимоотношений (PT седалищный, расстояние нависания крестца (overhang S1), отклонение седалищных бугров), позволяющие оценить пространственную трансформацию таза и возможность прогнозирования пространственного положения ацетабулярной впадины, что является важным фактором, влияющим на успех лечения пациентов с сочетанной патологией тазобедренного сустава и позвоночника.

Заключение. Полученные нами данные дополняют версию о двухосевой концепции вращения таза. Предложен альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса в положении сидя. Для оценки практической значимости данного метода требуются дальнейшие исследования.

Ключевые слова: позвоночник, суставы нижних конечностей, позвоночно-тазовые взаимоотношения, ориентация, параметры

Для цитирования: Павлов В.В., Мушкачев Е.А., Тургунов Э.Н., Лукинов В.Л., Пелеганчук А.В. Альтернативный способ измерения параметров сагиттального баланса у пациентов в положении сидя и стоя. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):362–371. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371. EDN: FXVSIID.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371>

An alternative method for measuring patient's sagittal balance parameters in sitting and standing positions

V.V. Pavlov, E.A. Mushkachev✉, E.N. Turgunov, V.L. Lukinov, A.V. Peleganchuk

Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, Russian Federation

Corresponding author: Evgeniy A. Mushkachev, mushkachevi@gmail.com

Abstract

Introduction The understanding of the biomechanics of movements in the spinopelvic segment plays an important role in the successful treatment of patients with hip-spine syndrome. Analysis of the biomechanical processes occurring in the biokinematic chain of the spine–pelvis–hip during the transition from standing position to sitting position allows us to conclude that the acetabular axis of rotation of the pelvis in space is not the only one. Classical methods for measuring PI, PT, overhang S1 are applicable for patients in a standing position and use the hip joint as a starting point, since it is the point of rotation of the pelvis in space in a standing position. Previously, using mathematical modeling, we described spatial changes in the pelvis during a given change in the body position and showed the presence of a second point of pelvis rotation in space, which appears in a sitting position. We assumed that in a sitting position, it is necessary to use other methods for calculating indicators of spinopelvic relationships for their determination.

Purpose of the study was to evaluate the parameters of patients' sagittal balance using the proposed alternative method in standing and sitting positions.

Materials and methods Medical documentation and the results of X-ray examination of 20 patients with unilateral idiopathic coxarthrosis who underwent total hip replacement surgery were analyzed. The radiographic parameters were calculated: PI, PT, overhang S1 in standing and sitting positions, anterior inclination of the acetabular component; parameters PI ischial, PT ischial, deviation of the ischial tuberosities in standing and sitting positions were proposed and calculated.

Results The study shows that there is no statistical difference in the values of the angles PI standard for a standing position and PI ischial for a sitting position. It corresponds to objective data and is generally accepted. Examples of changes in radiographic parameters of the sacral slope and the deviation of the ischial tuberosities were shown reflecting the rotation of the pelvis in space through the second, ischial axis, that confirm the biaxial concept of pelvic rotation.

Discussion The calculations demonstrated the possibility of using alternative indicators of spinopelvic relationships (PT, distance of overhang of the sacrum (overhang S1), deviation of the ischial tuberosities). They enabled assessment of the spatial transformation of the pelvis and the ability to predict the spatial position of the acetabulum, which is an important factor for successful treatment of patients with combined pathology of the hip joint and spine.

Conclusion Our findings complement the biaxial concept of pelvic rotation. An alternative method for measuring sagittal balance parameters in a sitting position has been proposed. Further research is required to assess the practical significance of this method.

Keywords: spine, hip joint, lower extremity, spinopelvic relationship, orientation, parameters

For citation: Pavlov VV, Mushkachev EA, Turgunov EN, Lukinov VL, Peleganchuk AV. An alternative method for measuring sagittal balance parameters in patient's sitting and standing positions. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):362-371. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-362-371

ВВЕДЕНИЕ

Дислокация головки протеза тазобедренного сустава (ТБС) или нестабильность протеза ТБС возникают примерно у 3 % пациентов после операции. Данное осложнение является наиболее частым ранним осложнением тотального протезирования ТБС и самой частой причиной выполнения ревизионных вмешательств при тотальном его протезировании. Выявленными факторами риска являются повторные вмешательства, малый опыт хирурга, женский пол, возраст старше 70 лет, наличие предшествующих переломов или артритов, ожирение, характер поражения сустава и сложность выполненного эндопротезирования, соотношение размеров вертлужного компонента и головки, метод ушивания операционной раны [1].

Описанные за последние годы в многочисленных публикациях позвоночно-тазовые взаимоотношения указывают на огромную заинтересованность ортопедов в понимании кинематики таза для профилактики осложнений после эндопротезирования ТБС, так как нестабильность эндопротеза все чаще связывают различными отклонениями в позвоночно-тазовом балансе [2–16]. В статье J. Legaye et al. описаны основные параметры позвоночно-тазового баланса и методы их измерения [17]. Классическое измерение таких позвоночно-тазовых параметров, как SS, PT, PI и overhang S1, выполняют на боковой рентгенограмме таза относительно верхней замыкательной пластинки крестца и головок бедренных костей.

Таким образом, J. Legaye et al. сформировано представление о вращении таза только относительно головок бедренных костей со статичными центрами вращения, которое является парадигмой для ортопедов. Последующие исследователи рассматривали позвоночно-тазовые отношения исключительно исходя из положения стоя, да и при планировании операций на позвоночнике исходили только из формирования изгибов позвоночника для положения тела стоя, без учета неизбежных их изменений в положении сидя, что, конечно, не соответствует реальным позам в повседневной жизни.

В ранее опубликованной статье мы посредством математического моделирования описали пространственные изменения таза при смене положением тела из позиции стоя в позицию сидя, с формированием второй точки вращения таза в пространстве — седалищных бугров [18]. Исходя из этого, мы сделали предположение, что в положении сидя расчеты параметров позвоночно-тазового баланса должны производиться иным методом.

Цель работы — оценить параметры сагиттального баланса предложенным альтернативным способом у пациентов в положении стоя и сидя.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследование включены 20 пациентов: 8 мужчин (средний возраст — 57 лет) и 12 женщин (средний возраст — 62 года) с состоянием физического статуса ASA II (согласно классификации американской ассоциации анестезиологов), перенесших операцию тотального эндопротезирования ТБС по поводу одностороннего идиопатического коксартроза, со здоровым контралатеральным суставом, у которых через 4–6 месяцев после операции наблюдали достаточно полно восстановленную функцию ТБС (по шкале Харрис 70–75), без клинических проявлений hip-spine синдрома. Критерии невключения: наличие двустороннего коксартроза, ограничение объема движений в контралатеральном суставе, существенная разница в длине нижних конечностей (более 2 см), вывихи и подвывихи в ТБС, установка ацетабулярного компонента эндопротеза вне «безопасной зоны» Lewinnek, мальпозиция чашечного или бедренного компонента эндопротеза, вывих, травматический вывих бедренного компонента эндопротеза, возникший под воздействием значительной силы (травма, падение с высоты и т.д.), наличие в анамнезе перипротезной инфекции, ожирение III степени и более, наличие сопутствующей патологии поясничного отдела позвоночника с клиническими проявлениями.

Пациентам выполнены рентгенограммы таза в положении стоя и сидя, в прямой и боковой проекции. Исследуемые параметры:

- 1) PI седалищный (рис. 1) — угол между линией, проведенной перпендикулярно середине верхней замыкательной пластинке S1 позвонка, и линией, соединяющей середину верхней замыкательной пластинки S1 позвонка с самой нижней точкой бугра седалищной (или серединой bi-ischium) кости;
- 2) PT седалищный (рис. 2) — угол между линией, соединяющей середину верхней замыкательной пластинки S1 позвонка с самой нижней точкой бугра седалищной кости, и вертикальной линией, проведенной через самую нижнюю точку бугра седалищной кости;
- 3) отклонение S1 относительно седалищных бугров (рис. 3) — расстояние между серединой верхней замыкательной пластинки S1 позвонка и вертикальной линией, проведенной через самую нижнюю точку бугра седалищной кости. Классический параметр «The overhang of S1» отражает нависание S1 позвонка, а в конечном итоге, таза над опорой. В положении стоя опора идет на головки бедренных костей, в положении сидя — на седалищные бугры;
- 4) классический PI (рис. 4) — угол между линией, проведенной перпендикулярно середине замыкательной пластинки S1, и линией, соединяющей середину замыкательной пластинки S1 с центром головки бедренной кости;
- 5) PT — угол между вертикалью и линией, соединяющей середину верхней замыкательной пластинки S1 с центром головок бедер.

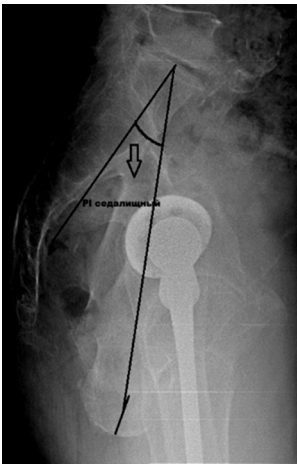


Рис. 1. PI сидящий

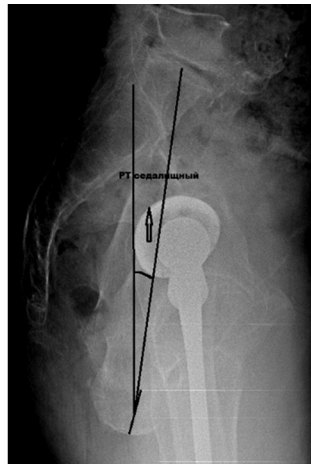


Рис. 2. PT сидящий

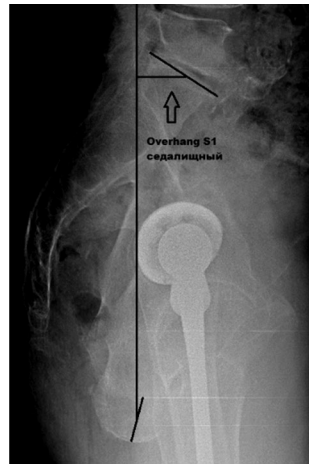
Рис. 3. Отклонение
седящих бугров

Рис. 4. Угол PI

Эмпирические распределения данных испытывали на согласие с законом нормального распределения критерием Шапиро – Уилка. Ввиду ненормальности данных для сравнения показателей использовали непараметрические критерии. Мы сравнили полученные данные при альтернативном измерении параметров PI, PT и overhang S1 и латерального наклона ацетабулярной впадины с результатами, полученными при стандартном измерении парным критерием Вилкоксона. Дескриптивные характеристики представлены в виде медианы [первый квартиль; третий квартиль] (МЕД [Q1; Q3]), среднего $\pm$ стандартного отклонения (СРЕД $\pm$ СО), минимального и максимального значения (МИН–МАКС). Для оценки различия между сравниваемыми показателями рассчитывали псевдомедиану парных разностей (ПМЕД) с 95 % доверительным интервалом (95 % ДИ) и стандартизованную разницу средних (СРС) с 95 % ДИ. Различие считали статистически значимым, если $p < 0,05$. Все статистические расчёты проводили в IDE RStudio (версия 2023.09.0 Build 463 — © 2009–2023 Posit Software, PBC) на языке R (версии 4.1.3 (2022-03-10)).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При сравнении результатов значений углов PI стандартного и сидящего достоверных различий в зависимости от перемены положения тела не отмечено, что соответствует концепции инцидентности (табл. 1, рис. 5 и рис. 6).

Таблица 1

Таблица значений тазовой инцидентности (PI, PT) стандартной и сидящей, нависания крестца (Overhang S1) и латерального наклона ацетабулярного компонента в положении стоя и сидя

Показатель, $n = 20$		МЕД [Q1; Q3], СРЕД $\pm$ СО; МИН–МАКС		Сравнение стоя vs. сидя	
		Стоя	Сидя	Оценка различия ПМЕД [95 % ДИ] СРС [95 % ДИ]	Критерий Вилкоксона, p
PI станд.		52,5 [49,75; 56,25], 54,4 $\pm$ 10,41; 40–78	52,5 [50; 56,25], 54,5 $\pm$ 10,4; 39–78	0 [0; 0,5], 0,01 [–0,61; 0,63]	0,813
PI седал.		35 [31; 40,25], 36,75 $\pm$ 8,25; 25–55	34 [31,5; 39,25], 36,15 $\pm$ 8,37; 22–53	0,5 [0,5; 2], 0,07 [–0,55; 0,69]	0,173
Сравнение станд. vs. седал.	ПМЕД [95 % ДИ], СРС [95 % ДИ]	17,5 [17; 17,5], 1,88 [1,13; 2,63]	18 [17,5; 18,5], 1,94 [1,18; 2,7]	–	
	Критерий Вилкоксона, p	< 0,001*	< 0,001*		
PT станд.		11,5 [6; 18,25], 12,6 $\pm$ 8,18; 1–27	40,5 [35; 44,5], 38,6 $\pm$ 10,51; 12–56	26 [25,5; 27,5], 2,76 [1,88; 3,64]	< 0,001*
PT седал.		–5,5 [–12; 3,25], –3,95 $\pm$ 8,4; –16–9	20,5 [15,75; 23,5], 19,55 $\pm$ 8,03; 1–32	23,5 [22,5; 24], 2,86 [1,97; 3,75]	< 0,001*
Сравнение станд. vs. седал.	ПМЕД [95 % ДИ], СРС [95 % ДИ]	17 [16,5; 17], 2,13 [1,58; 2,67]	20 [19,5; 20], 2,16 [1,61; 2,71]	–	
	Критерий Вилкоксона, p	< 0,001*	< 0,001*		
Overhang S1, мм		24,5 [9,75; 36,75], 26,25 $\pm$ 17,33; 3–57	75,5 [70,25; 81,25], 73,85 $\pm$ 14,68; 32–100	46,5 [36,5; 57,5], 2,96 [2,05; 3,87]	< 0,001*
Латеральный наклон ацетабулярной впадины, °		39,5 [30; 48,5], 39,5 $\pm$ 11,36; 18–59	61 [51,75; 68], 60,2 $\pm$ 12,15; 38–83	20,5 [16; 25], 1,76 [1,02; 2,5]	< 0,001*

Примечание: символом * обозначены статистически значимо отличающиеся значения, т.е. $p < 0,05$.

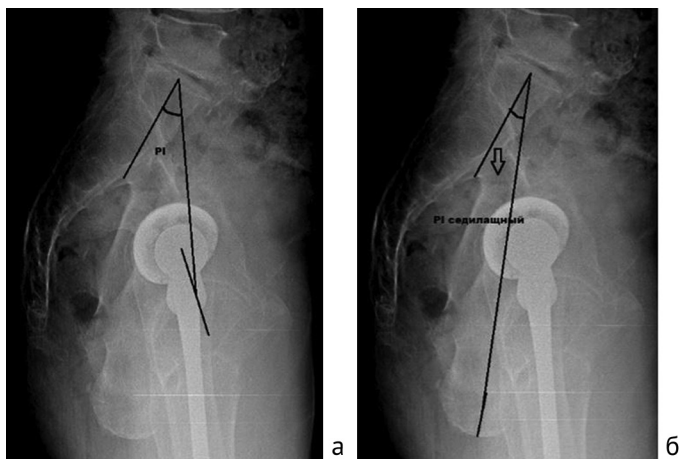


Рис. 5. Боковая рентгенограмма таза в положении стоя: а — нахождение угла PI в положении стоя; б — нахождение угла PI седящий в положении стоя

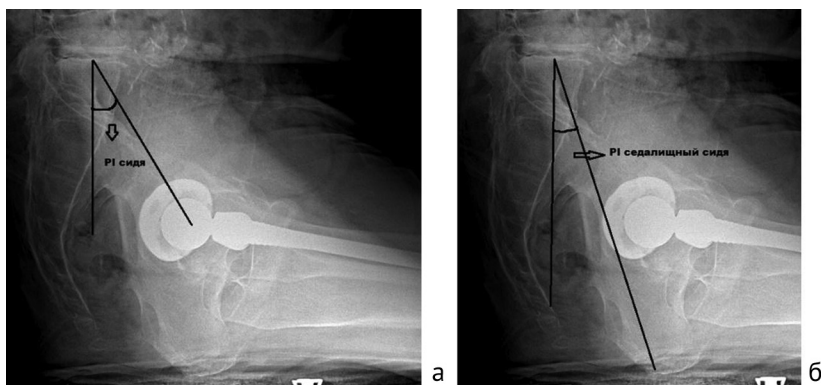


Рис. 6. Боковая рентгенограмма таза в положении сидя: а — нахождение угла PI в положении сидя; б — нахождение угла PI седящий в положении сидя

При сопоставлении значений углов наклона таза при стандартном их измерении (РТ стандартный) эти изменения согласуются с общепринятой концепцией. При смене положения тела угол наклона таза в положении стоя составляет в среднем $11,5^\circ$, а в положении сидя достигает $20,5^\circ$ с разницей углов 9° ($p < 0,001$), что, по сути, не противоречит концепции вращения таза вокруг оси, проведенной через центры вращения головок бедренных костей. Но, если мы рассмотрим различия углов наклона таза (РТ седящий) относительно седалищных бугров, как опоры и соответствующей оси вращения, то в положении стоя наклон таза составит $-5,5^\circ$, и в положении сидя, соответственно, $+20,5^\circ$ с разницей углов до 25° , значения углов стоя и сидя отличаются в 2,5 раза (табл. 1, рис. 7). Это объясняется подлинным отклонением таза при опоре на седалищные бугры, так как в конечной фазе принятия позы сидя опоры на головки бедренных костей нет, и, соответственно, относительно них таз по законам физики вращаться не может. При этом головки бедренных костей и вертлужные впадины смещаются кзади с одновременным разобщением, что продемонстрировано на математической модели [18].

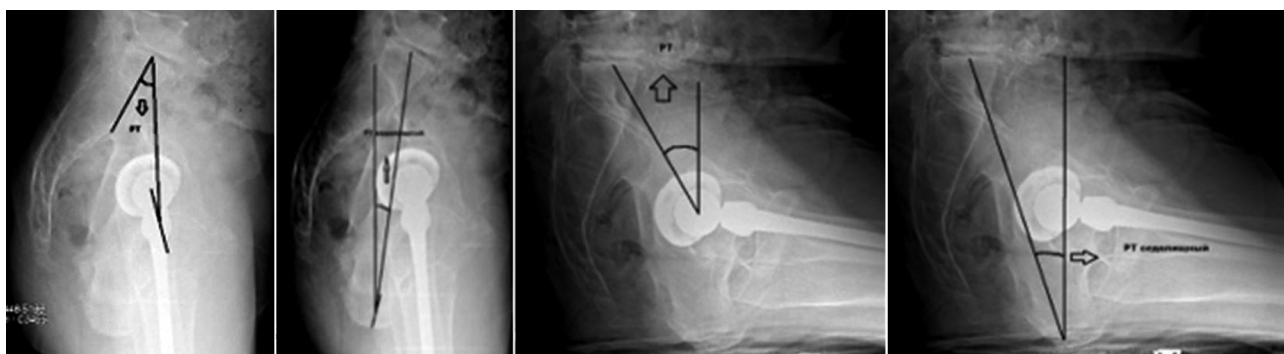


Рис. 7. Боковая рентгенограмма таза с расчётом РТ стандартного и РТ седящего в положении стоя и сидя

Последнее утверждение подтверждают полученные результаты измерения overhahg S1 (нависания крестца) (табл. 1, рис. 8). Обращаем внимание на то, что, согласно матрице инцидентности, расстояние (граф) между вершинами (середина S и центр ротации G) относительно таза постоянно, а изменения, возникающие при смене положения тела относительно вертикали опущенной из точки S, возможны только при вращении таза. Так, в положении стоя средние значения нависания составляют $26,25 \pm 17,33$ мм при медиане 24,5 мм, разброс значений в группе от 9,75 до 36,75 мм отражает жесткость или избыточную

подвижность позвоночно-тазовых взаимоотношений, а при положении сидя, в результате ретроверсии, нависание крестца над центром ротации (вертлужной впадиной) уменьшается, крестец отклоняется назад с увеличением расстояния от центра ротации в среднем на 75,5 мм ($p < 0,001$).

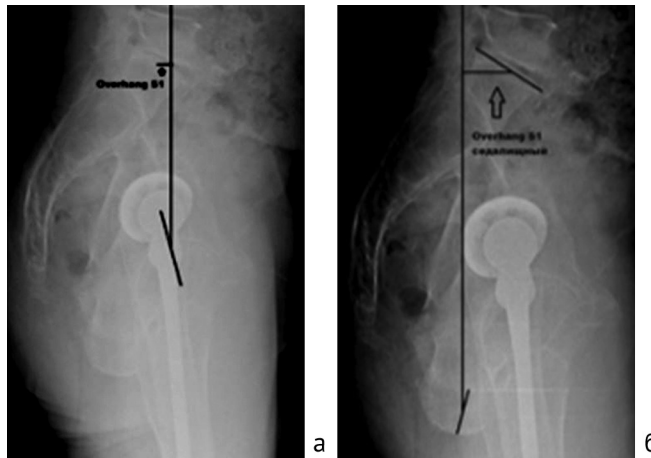


Рис. 8. Боковая рентгенограмма таза в положении стоя: а — нахождение величины «Overhang of S1 — Нависание крестца» в положении стоя; б — нахождение величин «Отклонение седалищных бугров» в положении стоя

Наши суждения об отклонении крестца основаны на определении расстояния между двумя ориентирами — вертикальной линией, опущенной от середины замыкательной пластинки, и центром ротации, который является статичным, что является общепринятым мнением. Но, если мы добавим третий ориентир, приняв его за ноль, мы сможем оценить пространственную трансформацию предыдущих ориентиров относительно последнего. Для этого мы и ввели третий ориентир, предложив понятие «Отклонение седалищных бугров» по аналогии с нависанием крестца (overhang S1). При измерении «Отклонения седалищных бугров» расстояния О и V в положении стоя составляли 49,5 мм, 23,5 мм соответственно. Но в положении сидя расстояния O_1 (15 мм) и V_1 (61) изменяются обратно пропорционально, с уменьшением расстояния О и увеличением расстояния V (табл. 2, рис. 9).

Таблица 2

Значения величин «Отклонение седалищных бугров относительно середины замыкательной пластинки S_1 (V) и центров ротации головок бедренных костей (O) в положении стоя и сидя»

Отклонение седалищных бугров, $n = 20$		МЕД [Q1; Q3], СРЕД ± СО; МИН–МАКС		Сравнение стоя vs. сидя	
		Стоя	Сидя	Оценка различия ПМЕД [95 % ДИ] СРС [95 % ДИ]	Критерий Вилкоксона, p
Относительно центров ротации головок бедренных костей (O)		49,5 [44,75; 54,25], 48,4 ± 8,88; 27–61	15 [7,75; 21], 14,55 ± 8,13; 1–29	35,5 [28,5; 40,5] 3,98 [2,89; 5,07]	< 0,001*
Относительно середины замыкательной пластинки S_1 (V)		23,5 [15; 36], 25,25 ± 18,64; –23–55	–61 [–70,75; –49,25], –56,7 ± 25,87; –92–24	86,5 [72; 99] 3,63 [2,61; 4,66]	< 0,001*
Сравнение O vs V	ПМЕД [95 % ДИ] СРС [95 % ДИ]	23,5 [15,5; 29,5] 1,59 [0,87; 2,3]	74,89 [68,5; 80,5] 3,72 [2,68; 4,76]	–	
	Критерий Вилкоксона, p	< 0,001*	< 0,001*		

Примечание: символом * обозначены статистически значимо отличающиеся значения, т.е. $p < 0,05$.



Рис. 9. Боковые рентгенограммы таза с расчётом отклонения седалищных бугров в положении стоя и сидя

Изменения значений расстояния $V-V_1$ коррелируют с изменениями значений $overhang\ S1$, что отражает отклонение таза назад (ретроверсию таза) и соответствует общепризнанному отклонению, однако уменьшение расстояния $O-O_1$ отражает линейное смещение вертлужной впадины назад относительно седалищных бугров во время опоры на них со смещением в среднем до 50 мм, при этом линейное смещение S_1 составляет 84 мм. Такое различие объясняется разницей радиусов, если точкой вращения таза при завершении принятия положения сидя являются седалищные бугры.

Показав рентгенологические признаки кинематики таза относительно двух осей вращения, в подтверждение правильности математической модели вращения таза, описанной нами ранее, мы предположили, что, если в матрицу инцидентности (таз) встроить второе тело, то пространственная трансформация второго тела будет соответствовать кинематике таза.

Мы пришли к пониманию следующего положения: если в устойчивую жесткую матрицу инцидентности (таз) установить второе тело (ацетабулярный компонент) с жесткой его фиксацией, то пространственная трансформация ацетабулярного компонента будет соответствовать кинематике таза, совершая повороты, аналогичные повороту таза. В таком случае пространственная трансформация ацетабулярного компонента может быть оценена определением угла антеклона впадины (латерального угла наклона ацетабулярной впадины) по боковым рентгенограммам в положениях стоя и сидя.

Сравнительный анализ латерального наклона ацетабулярного компонента в положении стоя и сидя показал достоверные различия величин угла латерального наклона (табл. 1).

ОБСУЖДЕНИЕ

Опора структурами подвздошных костей на головки бедренной кости формирует точки вращения таза, центры ротации, с формированием оси вращения последнего, характерного для положения стоя. Для суждения о вращении таза J. Legaye et al. ввели параметры «The sacral slope (SS)» и «The Pelvic tilt (PT)». Особенностью этих параметров является то, что их измеряют применительно к горизонтальной SS и вертикальной PT линиям, являющимся условными нулями [17]. При этом линии, формирующие вышеперечисленные параметры, взаимосвязаны между собой. Их взаимосвязь описывается теорией графов и инцидентности, как фундаментальный признак жестких систем, в частности таза, имеющей постоянные жестко взаимосвязанные ориентиры, обладающие стабильными связями (расстояние, углы и направление), что в дискретной математике называют матрицей инцидентности [19]. Инцидентность вершин соответствует середине замыкательной пластинки и центрам головок бедренных костей, а ребра графа — это линия, их соединяющая, а также вертикальная и горизонтальная линии, создающие смежность вершин графа для формирования параметров SS, PT, PI. Таким образом, тазовая инцидентность PI позволяет в связанной, жесткой системе установить иные инцидентные вершины (анатомические ориентиры) и графы связи (горизонтальные и вертикальные линии, проведенные из выбранных анатомических ориентиров), которой мы и воспользовались в нашей работе.

На основании работ А.И. Капанджи мы знаем о наличии двух основных трабекулярных систем, которые передают нагрузки с позвоночника от крестцово-подвздошного сочленения на вертлужные впадины и седалищные кости, принимая на себя вес тела в положении сидя [20]. Подтверждение существующим нагрузкам на головки бедренных костей мы находим в статье R. Philippot et al., в которой авторы описывают позиционирование вертлужной впадины над головкой бедренной кости, при этом разогнутое бедро в положении стоя позволяет шунтировать нагрузку массы верхней части туловища на таз [21]. Седалищные бугры в положении сидя принимают на себя вес тела и становятся точками опоры по аналогии с опорой структур подвздошных костей на головки бедренных костей в положении стоя. В этом случае формируется вторая ось вращения таза, характерная для положения сидя. В своей предыдущей статье мы посредством математического моделирования описали пространственные изменения таза при смене положения тела [18]. Для практических целей мы решили оценить изменения положения таза по данным боковых рентгенограмм с возможностью доказательства вращения таза вокруг двух осей в зависимости от его позы — стоя и сидя. Для этого мы воспользовались новыми способами определения позвоночно-тазовых параметров.

Метод, который мы применили, схож с описанным J. Legaye et al., при этом использованы принципы матрицы инцидентности [17, 18]. Но в нашем исследовании помимо рентгенограмм таза в боковой проекции в положении стоя дополнительно проведена рентгенография таза в боковой проекции в положении сидя, с расчётом новых параметров — PI седалищный, PT седалищный, отклонение седалищных бугров. Поскольку мы предположили о вращении таза при формировании опоры на седалищные бугры в позе сидя, мы обозначали седалищные бугры соответствующей точкой, соединили с серединой замыкательной пластинки сегмента S1 крестца и провели вертикальную линию, получив углы PI седалищный и PT седалищный таза, присущих для положения сидя, аналогичные PI стандартный и PT стандартный таза, характерные для положения стоя, при опоре таза на головки бедренных костей. Далее, применяя параметр «The overhang of S1», в противоположность ему ввели понятие и параметр

«отклонение седалищных бугров», соотнося уже обозначенные точкой седалищные бугры с точкой, обозначающей центры ротации головок бедренных костей, с помощью вертикальных линий, проведенных через ранее обозначенные ориентиры точками. Предполагается, что эти углы и линейные значения относительно вертикального нуля будут характеризовать поворот таза относительно седалищных бугров при принятии положения сидя, при переходе с одной оси вращения таза на другую. Мы также предположили, что в основе вращения таза относительно седалищной оси лежит физический принцип вращения колеса с формированием в каждой точке касания твердой поверхности мгновенного центра вращения с линейным смещением вышележащей оси вращения. Согласно нашей гипотезе, вертлужная ось (межголовчатая ось, проведенная условно линия через центры ротаций вертлужных впадин) вращения таза не статична, а смещается в пространстве на линейную величину в направлении ротации таза.

В настоящее время существуют исследования, ставящие под сомнение безупречность концепции безопасной зоны Lewinnek при постановке ацетабулярного компонента эндопротеза [23]. Многие исследователи при поиске причин нестабильности эндопротеза и поиске оптимальной ориентации чашки эндопротеза все чаще обращают свое внимание на позвоночно-тазовые взаимоотношения. Так, В.М. McKnight et al. в своей работе указали на важность связи импиджмент-синдрома, вывихов эндопротеза и степени подвижности позвоночно-тазового комплекса [7]. Влияние позвоночно-тазовой подвижности на особенности имплантации ацетабулярного компонента эндопротеза описали А.К. Sharma et al. [24]. D. Phan et al. классифицировали пациентов по гибкости позвоночно-тазового сегмента и по тому, сбалансирована ли деформация позвоночника, в попытке определить положение вертлужного компонента и последовательность лечения у пациента как с патологией позвоночника, так и с патологией ТБС [11]. С. Rivière et al. представили позвоночно-тазовые взаимоотношения на основе PI пациента и подвижности позвоночника и таза и описывали «пользователей бедра» и «пользователей позвоночника» с присущими им особенностями PI, PT и функциональными двигательными паттернами движения [25]. Также в другой своей работе они предложили способ определения оптимальной имплантации чашки эндопротеза для создания функциональной безопасной зоны в зависимости от типа позвоночно-тазовых взаимоотношений [26]. J.M. Vigdorchik et al. провели крупное исследование, показывающее важность использования индивидуального подхода к эндопротезированию при патологии позвоночника, используя классификацию Hip-spine при предоперационном планировании [27]. S. Batra et al. представили свою схему лечения пациентов с hip-spine синдромом, опирающуюся на степень подвижности позвоночника и особенности его взаимоотношений с тазом [28].

J.Y. Lazennec et al. описали позвоночно-тазовые взаимоотношения при положении стоя и сидя, которые трактовались достаточно упрощенно, объясняя, что движение позвоночник–таз–тазобедренный сустав синхронизировано с целью обеспечения сгибания бедра без конфликта большого вертела с бедренной костью или малого вертела с седалищной костью [22]. При этом оценочное суждение о движении таза исходило только на основе одного параметра SS — наклон крестца — со значением от 35° до 20°. Утверждение, что крестцовый наклон является наиболее точным показателем динамических изменений, нами не опровергается [28, 30].

В своем исследовании, в основу которого положен принцип тазовой инцидентности, мы продемонстрировали возможности использования других показателей позвоночно-тазовых взаимоотношений (PT, расстояние overhang S1, отклонение седалищных бугров), которые позволяют оценить пространственную трансформацию таза, что и было основной целью данного исследования.

Полученные нами данные об отсутствии статистической разницы значений углов PI стандартный для положения стоя и PI седалищный для положения сидя соответствуют объективным данным и являются общепринятыми. Предложенный J. Legaye термин Overhang S1, нависание крестца S1, отражающий линейное смещение крестца при повороте таза, соответствует концепции одноосевого вращения таза исключительно вокруг оси, проведенной через головки бедренных костей, поскольку они являются опорами, о чем мы и указывали выше, ссылаясь на работы А.И. Капанджи и М. Stefl [20, 30].

Но только вращением относительно одной оси трудно объяснить большой поворот таза назад. Ведь, когда человек совершает последовательные переходы из положения лежа в положение стоя и из положения стоя в положение сидя, движения таза состоят из увеличивающейся версии (наклона) таза назад от 20° до 40°. Одновременно с этим замечено, что сагиттальная ориентация вертлужного компонента или передний наклон вертлужной впадины (acetabular tilt) изменяется (увеличивается) последовательно с этим движением таза [29]. Соответственно, второй механизм, обеспечивающий такую вариабельность наклона таза назад, дополняется вращением таза при опоре на седалищные бугры, что доказывается изменением значений нависания крестца, наклоном таза и отклонением седалищных бугров (O, V).

На основании этого становится понятным линейное смещение назад при ретроверсии не только замыкательной пластинки S1, но и вертлужных впадин, поскольку эти анатомические образования являются составляющими целого (таза). Описанное нами в предыдущей статье с помощью математической

модели отклонение таза назад, с разобщением впадины и головки бедренной кости, с формированием диастаза до 8 мм полностью соответствует двухосевой концепции вращения таза. В дополнение к этому становится понятным значение сагиттальной ориентации ацетабулярного компонента. Анализ углов сагиттальной ориентации ацетабулярного компонента, которую мы в своей работе называли латеральным наклоном ацетабулярного компонента, показал изменения угла до 30° в соответствии с увеличением версии таза. Плотная фиксация ацетабулярного компонента с формированием вершины графа, согласно инцидентности таза, приведет к точному повторению движений таза и даст возможность прогнозировать угол наклона ацетабулярного компонента в положении сидя и стоя. Соответственно, в положении сидя увеличение угла латерального наклона ацетабулярного компонента с линейным смещением компонента назад и разобщением головки протеза и ацетабулярного компонента с уменьшением дистанции прыжка создаст высокие риски для вывиха протеза, что, возможно, и лежит в патогенезе VI типа нестабильности по Classification System for the Unstable Total Hip Arthroplasty в модификации G.D. Wera et al. [31].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные с помощью рентгенологического исследования и расчета рентгенологических параметров данные дополняют возможности о суждении версии таза в отношении двухосевой концепции его вращения, а полученные данные об изменении угла наклона ацетабулярного компонента при смене положения тела также не противоречат ранее полученным данным, что подтверждает правильность наших результатов. Для оценки практической значимости предложенного способа определения параметров позвоночно-тазового баланса требуются дальнейшие исследования.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Молодов М.А., Даниляк В.В., Ключевский В.В. и др. Факторы риска вывихов тотальных эндопротезов тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2013;19(2):23-30. doi: 10.21823/2311-2905-2013-0-2-65-71
2. Louette S, Wignall A, Pandit H. Spinopelvic Relationship and Its Impact on Total Hip Arthroplasty. *Arthroplast Today*. 2022;17:87-93. doi: 10.1016/j.artd.2022.07.001
3. Haffer H, Wang Z, Hu Z, et al. Does obesity affect acetabular cup position, spinopelvic function and sagittal spinal alignment? A prospective investigation with standing and sitting assessment of primary hip arthroplasty patients. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):640. doi: 10.1186/s13018-021-02716-8
4. Haffer H, Hu Z, Wang Z, et al. Association of age and spinopelvic function in patients receiving a total hip arthroplasty. *Sci Rep*. 2023;13(1):2589. doi: 10.1038/s41598-023-29545-5
5. Langston J, Pierrepont J, Gu Y, Shimmin A. Risk factors for increased sagittal pelvic motion causing unfavourable orientation of the acetabular component in patients undergoing total hip arthroplasty. *Bone Joint J*. 2018;100-B(7):845-852. doi: 10.1302/0301-620X.100B7.BJJ-2017-1599.R1
6. Maratt JD, Esposito CI, McLawhorn AS, et al. Pelvic tilt in patients undergoing total hip arthroplasty: when does it matter? *J Arthroplasty*. 2015;30(3):387-91. doi: 10.1016/j.arth.2014.10.014
7. McKnight BM, Trasolini NA, Dorr LD. Spinopelvic Motion and Impingement in Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2019;34(7S):S53-S56. doi: 10.1016/j.arth.2019.01.033
8. Lazennec JY, Riwan A, Gravez F, et al. Hip spine relationships: application to total hip arthroplasty. *Hip Int*. 2007;17(Suppl 5):91-104. doi: 10.1177/112070000701705S12
9. Lazennec JY, Boyer P, Gorin M, et al. Acetabular anteversion with CT in supine, simulated standing, and sitting positions in a THA patient population. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(4):1103-1109. doi: 10.1007/s11999-010-1732-7
10. Ike H, Dorr LD, Trasolini N, et al. Spine-Pelvis-Hip Relationship in the Functioning of a Total Hip Replacement. *J Bone Joint Surg Am*. 2018 Sep 19;100(18):1606-1615. doi: 10.2106/JBJS.17.00403
11. Phan D, Bederman SS, Schwarzkopf R. The influence of sagittal spinal deformity on anteversion of the acetabular component in total hip arthroplasty. *Bone Joint J*. 2015;97-B(8):1017-1023. doi: 10.1302/0301-620X.97B8.35700
12. Philippot R, Wegrzyn J, Farizon F, Fessy MH. Pelvic balance in sagittal and Lewinnek reference planes in the standing, supine and sitting positions. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2009;95(1):70-76. doi: 10.1016/j.otsr.2008.01.001
13. Esposito CI, Miller TT, Kim HJ, et al. Does Degenerative Lumbar Spine Disease Influence Femoroacetabular Flexion in Patients Undergoing Total Hip Arthroplasty? *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(8):1788-1797. doi: 10.1007/s11999-016-4787-2
14. Buckland AJ, Puvanesarajah V, Vigdorchik J, et al. Dislocation of a primary total hip arthroplasty is more common in patients with a lumbar spinal fusion. *Bone Joint J*. 2017;99-B(5):585-591. doi: 10.1302/0301-620X.99B5.BJJ-2016-0657.R1
15. Pierrepont J, Hawdon G, Miles BP, et al. Variation in functional pelvic tilt in patients undergoing total hip arthroplasty. *Bone Joint J*. 2017;99-B(2):184-191. doi: 10.1302/0301-620X.99B2.BJJ-2016-0098.R1
16. Eftekhary N, Shimmin A, Lazennec JY, et al. A systematic approach to the hip-spine relationship and its applications to total hip arthroplasty. *Bone Joint J*. 2019;101-B(7):808-816. doi: 10.1302/0301-620X.101B7.BJJ-2018-1188.R1
17. Legaye J, Duval-Beaupère G, Hecquet J, Marty C. Pelvic incidence: a fundamental pelvic parameter for three-dimensional regulation of spinal sagittal curves. *Eur Spine J*. 1998;7(2):99-103. doi: 10.1007/s005860050038
18. Пелеганчук А.В., Тургунов, Э.Н., Мушкачев Е.А. и др. Моделирование поведения оси вертлужной впадины и оси седалищных бугров при переходе из положения стоя в положение сидя. *Гений ортопедии*. 2023;29(4):410-418. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-410-418.
19. Зарипова Э.Р., Кокотчикова М.Г. *Дискретная математика. Часть III. Теория графов*. М.: Изд-во РУДН; 2013:179.
20. Капанджи А.И. *Нижняя конечность. Функциональная анатомия*. М.: Эксмо; 2020:352.

21. Philippot R, Wegrzyn J, Farizon F, Fessy MH. Pelvic balance in sagittal and Lewinnek reference planes in the standing, supine and sitting positions. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2009;95(1):70-76. doi: 10.1016/j.otsr.2008.01.00
22. Lazennec JY, Charlot N, Gorin M, et al. Hip-spine relationship: a radio-anatomical study for optimization in acetabular cup positioning. *Surg Radiol Anat.* 2004;26(2):136-144. doi: 10.1007/s00276-003-0195-x
23. Abdel MP, von Roth P, Jennings MT, et al. What Safe Zone? The Vast Majority of Dislocated THAs Are Within the Lewinnek Safe Zone for Acetabular Component Position. *Clin Orthop Relat Res.* 2016;474(2):386-391. doi: 10.1007/s11999-015-4432-5
24. Sharma AK, Vigdorchik JM. The Hip-Spine Relationship in Total Hip Arthroplasty: How to Execute the Plan. *J Arthroplasty.* 2021;36(7S):111-120. doi: 10.1016/j.arth.2021.01.008
25. Rivière C, Lazennec JY, Van Der Straeten C, et al. The influence of spine-hip relations on total hip replacement: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2017;103(4):559-568. doi: 10.1016/j.otsr.2017.02.014
26. Rivière C., Maillot C, Harman C, Cobb J. Kinematic alignment technique for total hip arthroplasty. *Seminars in Arthroplasty.* 2018;29(4):330-343. doi: 10.1053/j.sart.2019.05.008
27. Vigdorchik JM, Sharma AK, Buckland AJ, et al. A simple Hip-Spine Classification for total hip arthroplasty : validation and a large multicentre series. *Bone Joint J.* 2021;103-B(7 Supple B):17-24. doi: 10.1302/0301-620X.103B7.BJJ-2020-2448.R2
28. Batra S, Khare T, Kabra AP, Malhotra R. Hip-spine relationship in total hip arthroplasty - Simplifying the concepts. *J Clin Orthop Trauma.* 2022;29:101877. doi: 10.1016/j.jcot.2022.101877
29. Kanawade V, Dorr LD, Wan Z. Predictability of Acetabular Component Angular Change with Postural Shift from Standing to Sitting Position. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(12):978-986. doi: 10.2106/JBJS.M.00765
30. Stefl M, Lundergan W, Heckmann N, et al. Spinopelvic mobility and acetabular component position for total hip arthroplasty. *Bone Joint J.* 2017;99-B(1 Supple A):37-45. doi: 10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0415.R1
31. Wera GD, Ting NT, Moric M, et al. Classification and management of the unstable total hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2012;27(5):710-715. doi: 10.1016/j.arth.2011.09.010

Статья поступила 09.10.2023; одобрена после рецензирования 09.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 09.10.2023; approved after reviewing 09.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Виталий Викторович Павлов — доктор медицинских наук, руководитель отделения, pavlovdoc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>;

Евгений Андреевич Мушкачев — младший научный сотрудник, mushkachevi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0346-3898>;

Эминжон Нематович Тургунов — аспирант кафедры, travma83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9381-7460>;

Виталий Леонидович Лукинов — кандидат физико-математических наук, ведущий научный сотрудник, vitaliy.lukinov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>;

Алексей Владимирович Пелеганчук — кандидат медицинских наук, научный сотрудник, заведующий отделением, apeleganchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4588-428X>.

Information about the authors:

Vitaly V. Pavlov — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, pavlovdoc@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8997-7330>;

Evgeniy A. Mushkachev — junior researcher, Research Department of Neurovertebrology, mushkachevi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0346-3898>;

Eminjon N. Turgunov — postgraduate student, travma83@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9381-7460>;

Vitaly L. Lukinov — Candidate of Physical and Mathematical Sciences, lead researcher, vitaliy.lukinov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3411-508X>;

Aleksey V. Peleganchuk — Candidate of Medical Sciences, Researcher, Head of Department, apeleganchuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4588-428X>.

Вклад авторов:

Павлов В.В. — концептуализация, методология, редактирование, контроль, управление проектом.

Мушкачев Е.А. — формальный анализ, написание первоначального варианта, редактирование.

Тургунов Э.Н. — формальный анализ, написание первоначального варианта.

Лукинов В.Л. — методология, статистический анализ.

Пелеганчук А.В. — концептуализация, редактирование, контроль, управление проектом.

Научная статья

УДК 531.1/.3:612.766:616.71-007.157-053.2-07

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-372-383>



Особенности кинематики и кинетики двигательного стереотипа у детей с ахондроплазией: сравнительное кросс-секционное исследование

Т.И. Долганова[✉], Л.В. Смолькова, Д.В. Долганов, А.М. Аранович, Н.С. Гвоздев, Д.А. Попков

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Тамара Игоревна Долганова, rjik532007@rambler.ru

Аннотация

Введение. Изучение кинематических и кинетических параметров походки у детей с ахондроплазией позволит детальнее понять особенности их локомоции, определить стратегию планируемого лечения.

Цель работы — оценка особенностей локомоторной кинематики и кинетики у детей с ахондроплазией по сравнению со сверстниками без ортопедической патологии.

Материалы и методы. Проведена оценка локомоторного профиля методом видеоанализа походки. Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys7+ (8 камер) с технологией видеозахвата пассивных маркеров; синхронизированными с шестью динамометрическими платформами KISTLER (Швейцария). Анализ кинематики и кинетики проводили в программах QTM (Qualisys) и Visual3D (C-Motion) с автоматизированным расчетом значений показателей суммарной пиковой мощности работы суставов. Сформировано три группы для анализа походки: I — дети 6–7 лет с ахондроплазией (6 человек, 12 конечностей), II — дети 6–7 лет без ортопедической патологии (8 человек, 16 конечностей); III — схожие ростом дети 3–4 лет без ортопедической патологии (8 человек, 16 конечностей).

Результаты. У детей с ахондроплазией обнаружены статистически значимые нарушения в локомоторной кинетике и кинематике. Первые связаны с продольным дефицитом сегментов конечностей и сниженной скоростью ходьбы. Вторые с продольным дефицитом не связаны, но проявлялись во всех плоскостях, а именно увеличением максимального наклона таза вперед, сгибательной позицией в тазобедренном, коленном суставах и позицией тыльной флексии голеностопного сустава; увеличенным максимальным углом отведения бедра и варусной деформацией коленного сустава; увеличенным ротационным диапазоном движений таза.

Обсуждение. Поскольку характерный вид основного профиля походки начинает проявляться у детей к 4–5 годам и связан с формированием активности центральных и спинномозговых генераторов, индуцирующих самоорганизацию двигательных стереотипов, мы полагаем, что выявляемые в локомоторной кинематике отклонения являются вторичными патогенетическими проявлениями кинетики, обусловленной продольным дефицитом сегментов.

Заключение. Особенности локомоторной кинетики у детей с ахондроплазией обусловлены продольным дефицитом конечностей и связаны с низкой скоростью ходьбы. Значимые отклонения локомоторной кинематики не связаны с продольным дефицитом сегментов, но выявлены во всех плоскостях и касаются всей биомеханической цепи.

Ключевые слова: ахондроплазия, здоровые дети, анализ походки, локомоторная кинетика и кинематика, удлинение конечностей

Для цитирования: Долганова Т.И., Смолькова Л.В., Долганов Д.В., Аранович А.М., Гвоздев Н.С., Попков Д.А. Особенности кинематики и кинетики двигательного стереотипа у детей с ахондроплазией: сравнительное кросс-секционное исследование. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):372–383. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-372-383. EDN: HDXUWE.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-372-383>



Features of motor stereotype kinematics and kinetics in children with achondroplasia: a comparative cross-sectional study

T.I. Dolganova✉, L.V. Smolkova, D.V. Dolganov, A.M. Aranovich, N.S. Gvozdev, D.A. Popkov

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Tamara I. Dolganova, rjik532007@rambler.ru

Abstract

Introduction The study of the kinematic and kinetic parameters of gait in children with achondroplasia would allow a more detailed understanding of the features of their locomotion and determine the strategy of planned treatment.

Purpose To evaluate features of locomotor kinematics and kinetics in children with achondroplasia and compare with peers without orthopedic pathology.

Materials and methods The locomotor profile was assessed by video gait analysis. Kinematic data were recorded by Qualisys7+ optical cameras (8 cameras) with passive marker video capture technology synchronized with six dynamic platforms KISTLER (Switzerland). The analysis of kinematics and kinetics was carried out in the QTM (Qualisys) and Visual3D (C-Motion) programs with automated calculation of the values of indicators of the total peak power in the joints. Three groups were formed for gait analysis: 1) children 6–7 years old, achondroplasia (6 subjects, $n = 12$ limbs); 2) their peers, children without orthopedic pathology, 6–7 years old (8 subjects, $n = 16$ limbs); 3) children without orthopedic pathology 3–4 years old similar in height (8 subjects, $n = 16$ limbs).

Results In children with achondroplasia, statistically significant disorder in locomotor kinetics and kinematics were found. The former are associated with a longitudinal deficiency of limb segments and decreased walking speed. The latter are not associated with a longitudinal deficit, but manifested in all planes, namely: an increase in the maximum forward inclination of the pelvis, a flexion position in the hip and knee joints, and dorsal flexion of the ankle joint; increased maximum angle of hip abduction and varus deformity of the knee joint; increased rotational range of motion of the pelvis.

Discussion Since the characteristic features of the main gait profile begin to appear in children by the age of 4–5 years, and is associated with the formation of the activity of central and spinal generators that induce the self-organization of motor stereotypes, we believe that the deviations detected in the locomotor kinematics are secondary pathogenetic manifestations of the kinetics due to the longitudinal deficit in limb segments.

Conclusion Features of locomotor kinetics in children with achondroplasia are due to the longitudinal deficit of the limb length and are associated with low walking speed. Significant deviations of the locomotor kinematics were not associated with the longitudinal deficit of the segments, but were detected in all planes and are related to the entire biomechanical chain.

Keywords: achondroplasia, healthy children, gait analysis, locomotor kinetics and kinematics, limb lengthening

For citation: Dolganova T.I., Smolkova L.V., Dolganov D.V., Aranovich A.M., Gvozdev N.S., Popkov D.A. Features of motor stereotype kinematics and kinetics in children with achondroplasia: a comparative cross-sectional study. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):372–383. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-372-383

ВВЕДЕНИЕ

Ахондроплазия представляет собой скелетную дисплазию, генетическое заболевание с частотой встречаемости 3,7–4,6 на 100 тыс. новорожденных [1, 2]. Диспропорциональное сложение характеризуется, в том числе, нарушением коэффициента пропорциональности между ростом и массой тела: значительным избирательным отставанием от уровня здоровых сверстников роста длинных костей нижних конечностей и меньшим — в росте сократительной части мышц, при полной сохранности их контрактильных свойств [3, 4, 5].

Необходимо учитывать, что у детей до 5 лет анатомическая и функционально оптимальная длины конечностей, когда регистрируются максимальные силовые параметры мышц, не совпадают. Продольный рост мышц у детей раннего возраста может осуществляться независимо от роста костей, в то время как у подростков — в значительной мере под влиянием тракции кости [6].

Среди других особенностей походки отмечают избыточное отведение бедер в сочетании со сгибательной установкой в тазобедренных суставах, гипермобильность коленных суставов во фронтальной плоскости с формированием варусной деформации коленного сустава за счет большеберцовой кости [7] и его рекурвационную деформацию [8, 9].

Вышеперечисленные особенности в сочетании с широким тазом, варусной и торсионной деформациями голеней, грудопоясничным кифозом, поясничным лордозом, сниженной мышечной силой в совокупности ведет к задержке двигательного развития и нарушению функции ходьбы [2, 9, 10, 11, 12]. Следствием биомеханических нарушений неизбежно являются повышенные энергозатраты при ходьбе: увеличение потребления кислорода и интенсификация метаболизма при двигательных тестах [13]. В литературе кинетический анализ походки у детей с ахондроплазией, включая суставные моменты, рассматривают без сравнения с контрольной группой [10, 14].

Количество исследований, изучающих кинематические и кинетические особенности походки у детей с ахондроплазией, ограничено и признано недостаточным [8, 15]. Неопределенность добавляет констатация слабой корреляции между рентгенологическими и кинематическими параметрами, описывающими угловые деформации. Стандартом оценки походки является трехмерный компьютерный анализ походки (3DGA). Комбинация кинетических и кинематических параметров общей модели походки рекомендуется в качестве экспертного уровня для объективного документирования выявляемых изменений [16, 17].

Изучение кинематических и кинетических параметров походки у детей с ахондроплазией позволит детальнее понять локомоцию при таком диспропорциональном состоянии, особенно в сравнении со сверстниками (по возрасту) и детьми с максимально приближенными дефинитивными размерами сегментов нижней конечности без скелетной дисплазии, а также контролировать изменения параметров в процессе роста ребенка на фоне проведения патогенетического фармакологического лечения [10, 18, 13].

Цель работы — оценка особенностей локомоторной кинематики и кинетики у детей с ахондроплазией по сравнению со сверстниками без ортопедической патологии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Оценка локомоторного профиля методом видеонализа походки (CGA) проведена в стационарных условиях у 6 детей (12 конечностей) с ахондроплазией. Критериями включения были подтвержденный диагноз ахондроплазии, возраст 6–7 лет, отсутствие ранее проводимого патогенетического фармакологического или ортопедического хирургического лечения. В группы сравнения включены 16 детей без ортопедической патологии. Здоровые дети подбирались для обследования по критерию схожего возраста (6–7 лет) и максимально приближенно по критерию «рост стоя» (группа детей 3–4 лет), учитывая, что обследование детей более младшего возраста для исследования параметров походки технически затруднено. Обследуемым проводили компьютерный анализ параметров ходьбы в лаборатории анализа движений Центра Илизарова (*Iizarov Gait Analysis Laboratory*). Обследуемые ходили самостоятельно, босиком, на 7-метровой дорожке с привычной для них скоростью.

Выделено три группы обследуемых:

группа I — дети 6–7 лет с ахондроплазией (6 человек, 12 конечностей),

группа II — дети 6–7 лет без ортопедической патологии (8 человек, 16 конечностей).

группа III — максимально приближенные по критерию «рост стоя» дети без ортопедической патологии в возрасте 3–4 лет (8 человек, 16 конечностей).

Кинематические данные регистрировали оптическими камерами Qualisys 7+ (8 камер компании Qualisys) с технологией видеозахвата пассивных маркеров, синхронизированными с шестью дина-

мометрическими платформами KISTLER (Швейцария). При установке маркеров использовали модель IOR. Анализ кинематики и кинетики проводили в программах QTM (Qualisys) и Visual3D (C-Motion) с автоматизированным расчетом значений [19]. Рассчитывали показатели суммарной (генерация + релаксация) пиковой мощности работы суставов [20]; суммарную общую пиковую мощность — как сумму абсолютных величин генерации и релаксации; значения полезной пиковой мощности — как разность абсолютных величин генерации и релаксации на графиках кинетики [21]. Общую механическую эффективность определяли как отношение положительной (полезной) пиковой мощности к общей [22].

Для статистической обработки данных применяли программу AtteStat 12.0.5. [23] Учитывая количество наблюдений в группах, для обработки результатов использовали непараметрическую статистику с принятием уровня значимости $p \leq 0,05$. Количественные характеристики выборочных совокупностей представлены в таблице в виде медианы с уровнем распределения процентилей 25 ÷ 75 % и числа наблюдений (n), равного числу конечностей. Статистическую значимость различий определяли с использованием непарного критерия Вилкоксона.

На проведение исследований получено разрешение комитета по этике НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова (протокол от 21.10.2021 № 2(70)). Исследования проводили в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266. Родители детей, участвовавших в исследовании, присутствовали при его проведении, подтверждали информированное согласие на его проведение и публикацию результатов исследований без идентификации личности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В таблице 1 представлены антропометрические данные детей всех трех групп. Рост пациентов с ахондроплазией статистически достоверно отличался не только от своих сверстников (на 8,8 σ), но и от детей 3–4 лет (на 2,3 σ). Вес детей и длина нижних конечностей достоверно отличались только с группой детей-сверстников, с группой детей 3–4 лет не имела достоверных различий.

Таблица 1

Антропометрические данные обследованных детей

Показатели	Группа I ($n = 6$)	Группа II ($n = 8$)	Группа III ($n = 8$)
Рост стоя, см	97,5 (90÷98,0) $P^2 = 9,19E-6$, $P^3 = 0,00169$	120 (117 ÷ 122)	102 (102 ÷ 103)
Вес, кг	17,5 (16,1÷19,0) $P^2 = 0,0347$	23,0 (19,6 ÷ 25,8)	15,4 (14,9÷17,4)
Длина нижних конечностей, см	42,0 (38,0÷44,0) $P^2 = 1,41E-05$	54,5 (52,0÷56,0)	44,0 (42,4÷45,0)

Примечание: P^2 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой II; P^3 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой III.

В таблице 2 указаны пространственно-временные параметры походки.

Как видно из представленных данных, достоверно снижены длина периода шага и скорость ходьбы в группе детей с ахондроплазией только по сравнению со второй группой (сверстники 6–7 лет), что, очевидно, связано со значительно меньшей длиной нижних конечностей.

Параметры кинематики движений представлены в таблице 3.

Таблица 2

Пространственно-временные показатели походки

Показатели	Группа I ($n = 6$)	Группа II ($n = 8$)	Группа III ($n = 8$)
Скорость ходьбы, м/сек	0,67 (0,65÷0,68) $P^2 = 0,012$	1,04 (0,97÷1,05)	0,78 (0,72÷0,82)
Длина периода шага, м	0,57 (0,53÷0,73) $P^2 = 0,037$	0,97 (0,85÷1,02)	0,74 (0,69÷0,79)
Длительность опорного периода, %	62,4 (61,5 ÷ 63,5)	61,9 (61,4 ÷ 62,3)	62,6 (61,7 ÷ 63,8)
Длительность не опорного периода, %	37,4 (36,3 ÷ 38,3)	38,0 (37,7 ÷ 38,5)	37,4 (36,3 ÷ 38,3)
Длительность двуопорного периода цикла шага, %	25,3 (22,5 ÷ 28,5)	22,9 (22,5 ÷ 24,6)	25,3 (22,5 ÷ 27,9)
Циклов шагов в минуту	70,6 (61,7÷72,4)	64,5 (63,3÷65,4)	65,1 (62,1÷66,8)

Примечание: P^2 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой II.

Таблица 3

Кинематические показатели

Показатели	Группа I (n = 12)	Группа II (n = 16)	Группа III (n = 16)
Обобщенный индекс походки (GPS, gait profile score)	12,3 (11,0÷13,9) $P^2 = 0,00367$, $P^3 = 0,011$	8,2 (8,0 ÷ 8,4)	9,7 (9,0 ÷ 10,3)
Установка стопы в начале опорного периода, °	6,6 (3,4÷10,2) $P^2 = 0,00098$, $P^3 = 0,00011$	-0,3 (-2,6÷1,9)	-2,6 (-3,4÷0,5)
Угол максимальной тыльной флексии стопы в опорную фазу, °	16,7 (15,2÷18,2) $P^2 = 0,00015$, $P^3 = 9,27E-06$	11,6 (10,2÷14,3)	10,6 (8,5÷12,1)
Позиция стопы в не опорную фазу, °	12,5 (7,8 ÷ 14,5) $P^2 = 0,00759$, $P^3 = 0,00090$	5,7 (2,8 ÷ 6,9)	4,7 (1,8 ÷ 6,6)
Амплитуда подошвенного сгибания, °	20,1 (16,2÷24,1) $P^2 = 0,0009$, $P^3 = 0,02434$	28,8 (24,6÷32,6) $P^{2-3} = 0,0167$	24,8 (21,8÷25,6)
Супинация стопы в опорную фазу, °	6,1 (1,3÷7,7) $P^2 = 0,0229$	0,7 (-1,8÷2,5)	1,45 (0,45÷4,3)
Угол ориентации стопы относительно вектора движения (max значения внутренней ротации), °	5,8 (1,6÷9,2)	8,2 (4,7 ÷ 13,1)	9,9 (8,0 ÷ 12,6)
Угол сгибания колена в начале опорного периода, °	6,7 (0,5÷17,2)	3,4 (1,4 ÷ 7,6)	3,7 (0,7 ÷ 5,8)
Угол пикового разгибания коленного сустава в опорную фазу, °	10,7 (8,5÷26,7)	5,7 (1,7 ÷ 8,4)	5,3 (2,3 ÷ 9,4)
Угол максимального сгибания в неопорную фазу, °	72,6 (70,3÷77,7) $P^2 = 0,00187$, $P^3 = 4,8E-05$	64,6 (61,6÷67,9)	62,8 (60,6÷64,2)
% цикла шага максимального сгибания коленного сустава в неопорную фазу	73,5 (72,0÷76,3)	73,5 (72,7÷74,3)	75,0 (73,0÷75,3)
Varus (+) / valgus (-) коленного сустава (max значения), °	5,8 (0,0÷11,5) $P^2 = 0,0388$, $P^3 = 0,00872$	-0,15 (-2,9÷1,2)	-2,0 (-5,0÷2,0)
Угол сгибания бедра в начале опорного периода, °	39,9 (33,5÷41,9) $P^2 = 0,0114$, $P^3 = 0,00173$	29,6 (24,7÷35,0)	27,5 (24,8÷29,6)
Максимальный угол разгибания бедра в опорную фазу, °	-0,7 (-6,1÷6,6) $P^2 = 0,00236$, $P^3 = 0,000321$	-11,7 (-15,2÷-7,7)	-13,6 (-16,6÷-7,3)
Угол максимального отведения бедра, °	10,3 (8,9÷14,9) $P^2 = 0,00813$, $P^3 = 0,000763$	4,7 (2,6÷7,8)	6,2 (3,5÷7,3)
Амплитуда движения тазобедренного сустава, °	40,3 (39,1÷47,4)	45,3 (43,4÷48,9)	43,1 (41,3÷44,2)
Ротация бедра (max значения внутренней ротации), °	8,2 (3,3 ÷ 18,4)	14,6 (7,6 ÷ 16,6)	13,1 (0,1 ÷ 13,9)
Угол максимального наклона таза кпереди, °	17,1 (14,8÷18,9) $P^2 = 0,000829$, $P^3 = 5,92E-05$	8,4 (5,3÷12,4)	8,9 (6,4÷10,8)
Амплитуда ротационных движений таза при ходьбе, °	27,2 (18,1÷33,3) $P^2 = 0,000529$, $P^3 = 4,4E-05$	14,2 (12,8÷18,2)	13,1 (12,7÷14,5)

Примечание: P^2 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой II; P^3 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой III.

В группах здоровых детей по возрасту достоверны различия только по параметру «амплитуда подошвенного сгибания», который имеет корреляционную связь со скоростью ходьбы ($r = 0,412$, $n = 32$, $p < 0,05$). В отношении кинематических параметров у детей с ахондроплазией (табл. 3, рис. 1) можно отметить достоверное увеличение интегрального показателя индекса оценки профиля походки (GPS), который предложен как количественный параметр идентификации типичных особенностей характера походки.

Отметим установку стопы в позицию тыльной флексии. Присутствует значимая супинация стопы в опорную фазу, но значимые ротационные установки стопы относительно вектора движений отсутствуют. Определена варусная деформация коленного сустава, связанная с отклонением биомеханической оси нижней конечности, типичной для ахондроплазии. У здоровых детей определен физиологический вальгус коленного сустава: для детей 3–4 лет зарегистрированы максимальные отклонения коленного сустава на вальгус до 5,0°, у детей 5–6 лет — до 2,9°.

Зарегистрированы сгибательная позиция бедра в начале опорного периода цикла шага, уменьшение угла разгибания бедра, что конкордантно с увеличением сгибания в коленном суставе в неопорную фазу. Достоверно увеличение наклона таза кпереди и увеличение его ротационных движений.

Суммарный показатель оценки ходьбы в группе пациентов с ахондроплазией также в большей степени показывает девиацию от нормы.

Joint Angle Comparison - unspecified

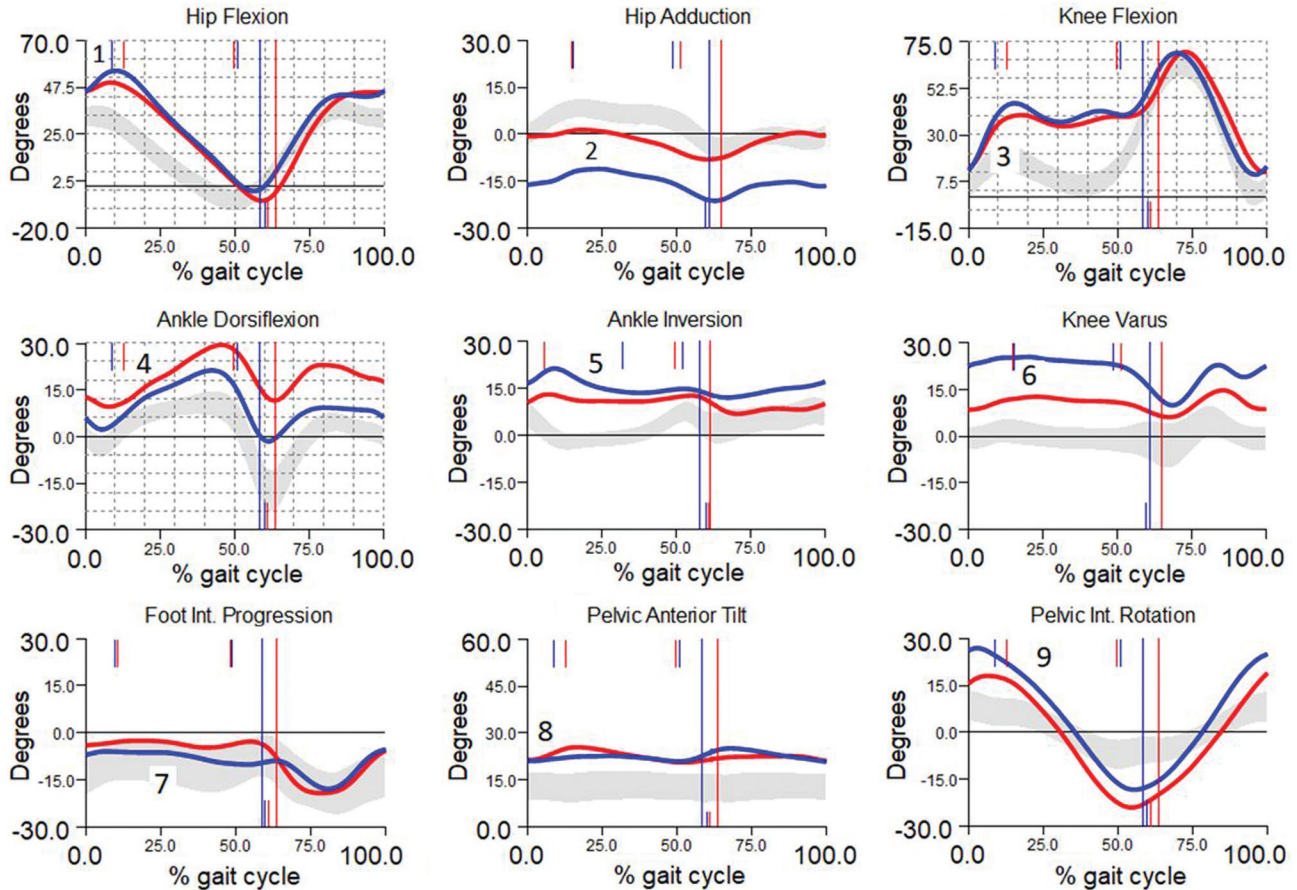


Рис. 1. Пример кинематических графиков, показывающих сгибательную (1) и отведенную установку бедра (2), сгибательную установку коленного сустава (3), преимущественное нахождение стопы в положении тыльной флексии (4), супинацию стопы в опорную фазу (5), varus-деформацию коленного сустава (6), сохранение нормальных ротационных установок сегментов относительно вектора движения (7), увеличение наклона таза кпереди (8) и его ротационных движений (9)

В обследованной группе пациентов рекурвационная установка в коленном суставе, которая сочеталась с разгибательной позицией бедра, выявлена только у одного пациента (рис. 2). При нормальном положении таза и сохраненной в полном объеме амплитудой движения в голеностопном суставе параметры кинетики отражали выраженное снижение силовых параметров сгибателей и разгибателей бедра и голени.

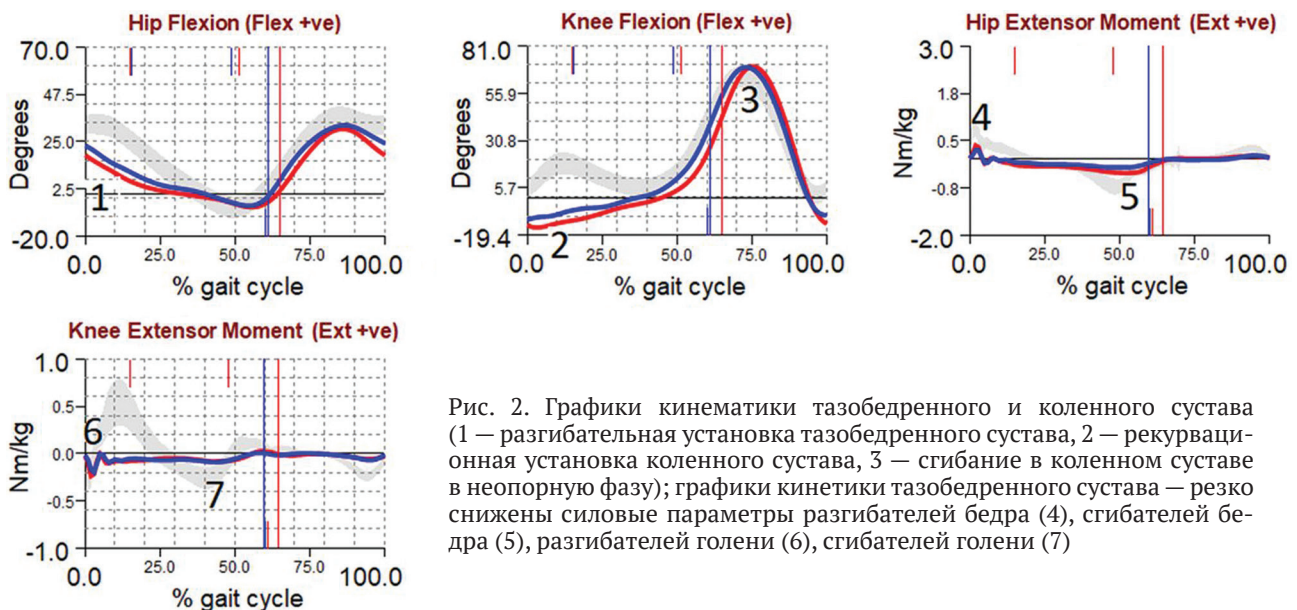


Рис. 2. Графики кинематики тазобедренного и коленного сустава (1 — разгибательная установка тазобедренного сустава, 2 — рекурвационная установка коленного сустава, 3 — сгибание в коленном суставе в неопорную фазу); графики кинетики тазобедренного сустава — резко снижены силовые параметры разгибателей бедра (4), сгибателей бедра (5), разгибателей голени (6), сгибателей голени (7)

В таблицах 4 и 5 представлены кинетические параметры ходьбы в группах обследованных.

В группах здоровых детей с возрастом зарегистрировано достоверное увеличение силовых параметров мышц, участвующих в двигательном стереотипе, при увеличении скорости ходьбы (сгибателей и разгибателей бедра, приводящих бедро) и при формировании опорного толчка.

Функциональные возможности мышц разгибателей и сгибателей бедра и разгибателей голени у детей с ахондроплазией имели достоверное отличие только относительно группы сверстников (где механический рычаг больше). Схожая длина сегментов нижних конечностей (с детьми возраста 3–4 лет и без ортопедических проблем) не сопровождалась достоверными отличиями в силовых параметрах этих групп мышц. Но показатели групп мышц, обеспечивающих сгибание голени и подошвенное сгибание, также достоверно снижены и относительно здоровых детей 3–4 лет, что отражает влияние уже сниженной скорости ходьбы у пациентов. Сниженные силовые параметры группы приводящих мышц бедра являются критерием декомпенсированной формы варусной деформации биомеханической оси нижней конечности.

Таблица 4

Кинетические параметры суставов нижних конечностей (относительный момент силы, нормализованный по весу; N·m/kg)

Показатели	Группа I (n = 12)	Группа II (n = 16)	Группа III (n = 16)
Разгибание бедра	0,36 (0,33÷0,53) $P^2 = 0,00574$	0,62 (0,55÷0,89) $P^{2-3} = 0,00290$	0,49 (0,38÷0,57)
Сгибание бедра	-0,25 (-0,34÷-0,21) $P^2 = 0,00218$	-0,48 (-0,56÷-0,31) $P^{2-3} = 0,01668$	-0,32 (-0,38÷-0,28)
Приведение бедра	0,32 (0,23÷0,37) $P^2 = 1,94E-05$, $P^3 = 7,2E-05$	0,62 (0,57÷0,66) $P^{2-3} = 0,02615$	0,53 (0,45÷0,57)
Разгибание голени	0,24 (0,09÷0,31) $P^2 = 0,03465$	0,34 (0,25÷0,48)	0,31 (0,21÷0,36)
Сгибание голени	-0,11 (-0,13÷-0,04) $P^2 = 0,01789$, $P^3 = 0,005327$	-0,18 (-0,26÷-0,12)	-0,18 (-0,24÷-0,11)
Разгибание голени в опорный толчок	0,06 (0,03÷0,11) $P^2 = 0,041$	0,13 (0,09÷0,14) $P^{2-3} = 0,000111$	0,05 (0,03÷0,07)
Тыльное сгибание	-0,09 (-0,10÷-0,08)	-0,14 (-0,15÷-0,09)	-0,11 (-0,13÷-0,09)
Подошвенное сгибание (take-off force)	0,58 (0,53÷0,79) $P^2 = 7,2E-05$, $P^3 = 0,003993$	1,1 (1,05÷1,21) $P^{2-3} = 2,6E-06$	0,86 (0,83÷0,91)

Примечание: P^2 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой II; P^{2-3} — уровень значимости при сравнении параметра группы II с группой III.

Таблица 5

Показатели суммарной (генерация + релаксация) пиковой мощности работы суставов, нормализованной по весу (W/kg)

Показатели	Группа I	Группа II	Группа III
Тазобедренный сустав	1,12 (0,86÷1,62)	1,27 (1,05÷1,46)	1,1 (0,94÷1,22)
Коленный сустав	1,24 (0,83÷1,81)	1,65 (1,46÷2,15)	1,48 (1,30÷1,69)
Голенистоопный сустав, опорный толчок (push-off)	2,05 (1,41÷2,17) $P^2 = 0,001253$	3,0 (2,62÷4,0) $P^{2-3} = 0,000205$	2,03 (1,85÷2,27)
Суммарная пиковая мощность работы всех суставов конечности	4,58 (3,31÷6,25) $P^2 = 0,03075$	6,13 (5,38÷7,06)	4,8 (4,05÷5,09)
Полезная пиковая мощность работы всех суставов конечности	0,63 (0,24÷1,01) $P^2 = 0,000763$	1,66 (1,39÷2,73) $P^{2-3} = 0,000974$	0,88 (0,62÷1,27)
Эффективность работы суставов, %	58,7 (53,9 ÷ 61,5) $P^2 = 0,001476$	63,7 (61,8 ÷ 67,2)	61,0 (58,0 ÷ 63,4)

Примечание: P^2 — уровень значимости при сравнении параметра группы ахондроплазии с группой II; P^{2-3} — уровень значимости при сравнении параметра группы II с группой III.

У пациентов с ахондроплазией относительно здоровых детей второй группы достоверно снижены показатели нормализованной по весу (W/kg) пиковой мощности опорного толчка, суммарной и полезной пиковой мощности работы суставов, но достоверно не отличаются от параметров здоровых детей 3–4 лет, где практически одинакова длина рычага (длина сегмента), формирующего опорный толчок.

ОБСУЖДЕНИЕ

Нарушения энхондрального остеогенеза при ахондроплазии, преимущественно в ростковых пластинках, ведет к выраженным изменениям скелета, характеризующимся, в первую очередь, диспропорциональным низким ростом [2, 3, 12, 18]. Эти аномалии роста отражаются, в частности, на измененной функции ходьбы, сопровождающейся меньшей эффективностью и повышенными энергозатратами [13, 15, 24].

Относительные к весу моменты силы мышц сгибателей и разгибателей стопы у пациентов ахондроплазией снижены на 15–30 %, сгибателей и разгибателей голени — на 40–60 % по сравнению с теми же показателями здоровых сверстников [25]. При данной патологии, при укороченном сегменте нижней конечности, замедленна возрастная дифференцировка мышц сгибателей и разгибателей: до 12 лет максимальная сила мышц-сгибателей больше максимальной силы мышц-разгибателей на 30–50 %, т.е. расчетный показатель индекса мышц-антагонистов соответствует значениям детей в возрасте 4–5 лет при приблизительно равной им длине сегмента [26].

По сравнению со взрослыми, дети демонстрируют более низкие параметры кинетики, скорости и мощности работы суставов даже после корректировки размерных различий, зависящих от возраста, за счет более низкого уровня максимальной произвольной мышечной активации, который связан с относительной неспособностью ими задействовать или использовать свои «быстросокращающиеся» двигательные волокна, тип II [27]. Возрастное увеличение силовых параметров мышц в группах здоровых детей согласуется с данными кинетики локомоторных стереотипов у здоровых детей в различных скоростных диапазонах передвижения, где определена достоверная положительная корреляционная связь между скоростью ходьбы и общей суммарной ($r = 0,907$; $n = 104$) и полезной пиковой мощностями ($r = 0,475$; $n = 104$) суставных мышц [22].

Временные параметры структуры шага определяют скоростью ходьбы, и относительная величина длительности опорного периода и двухопорного периода уменьшается при увеличении скорости ходьбы [28]. Несмотря на меньшую скорость ходьбы больных с ахондроплазией, временные параметры структуры шага (относительная длительность опорного, неопорного и двухопорного периодов цикла шага) достоверно не отличаются в группах обследованных. Полученные результаты согласуются с данными литературы: преобладание осевых отклонений при крайне недостаточной длине конечностей обуславливает особенности походки, характеризующиеся укорочением длины шага, низкой скоростью ходьбы [8, 10] и увеличенным ритмом при отсутствии различий в относительной скорости ходьбы с учетом длины конечностей [14].

Оптимальная стратегия улучшения состояния детей с ахондроплазией требует и изучения паттерна походки, особенностей кинематических и кинетических показателей как с точки зрения планирования лечения, так и для проведения объективного многофакторного контроля эффективности терапии [9, 10, 12].

В литературе можно найти ограниченное количество исследований походки людей с ахондроплазией с помощью инструментального анализа [8, 10, 24, 29, 30]. Часть работ выполнена для изучения локомоторной функции у взрослых или только после проведения оперативного лечения [10, 13, 30, 31]. Выявлен ряд специфических для ахондроплазии особенностей ходьбы, на которые указывают различные авторы. Кинематические особенности в сагиттальной плоскости при ходьбе характеризуются преимущественно доминирующей сгибательной позицией в тазобедренных, коленных и голеностопных суставах (тыльная флексия) [8, 14], что может являться компенсаторной установкой в связи с передним наклоном таза. Избыточный наклон таза кпереди может быть обусловлен слабостью разгибателей бедра и мышц брюшного пресса [32]. Структурные изменения в поясничном отделе позвоночника (лордоз в сочетании со стенозом) [33, 34, 35] могут также способствовать развороту таза, что ведет к компенсаторным установкам нижележащих сегментов. Наше исследование также выявило достоверное ограничение разгибания в тазобедренном суставе у детей с ахондроплазией, уменьшение подошвенной флексии в сочетании с достоверно большей тыльной флексией в опорную фазу цикла шага. Впервые выявленной особенностью является более выраженное сгибание коленного сустава в неопорную фазу в сравнении с контрольными группами, что может быть объяснено сгибательной установкой в тазобедренном суставе и ведет к увеличению пассивного сгибания в коленном суставе в неопорную фазу цикла шага.

По данным литературы, у пациентов с ахондроплазией регистрируют рекурвацию коленного сустава [14], к чему предрасполагает специфичная анатомия проксимального отдела большеберцовой кости (меньший, чем в норме, наклон суставной поверхности) [11]. В нашем исследовании компьютерный анализ походки у пяти пациентов не выявил рекурвационную установку в коленном суставе в опорную фазу. Вероятно, что достаточный контроль движений компенсирует данное анатомическое нарушение. У одного пациента (16 % случаев) определена рекурвационная установка в коленном суставе, при этом кинетика отражала выраженное снижение силовых параметров сгибателей и разгибателей бедра и голени (рис. 2).

У пациентов с ахондроплазией выявлено снижение величины кинетических показателей (как моменты сил, так и генерируемая мощность) в сагиттальной плоскости в сравнении со здоровыми сверстниками, что, очевидно, обусловлено меньшей длиной механического рычага сегментов. Мы обнаружили, что при сравнении с детьми со схожей длиной сегментов (но меньшего возраста) различия отсутствовали. Проводя сравнение с детьми 3–4 лет необходимо учитывать, что в этом возрасте общие параметры локомоторного паттерна до конца еще не сформированы [36, 37, 38]. Характерный вид основ-

ного профиля походки начинает проявляться у детей примерно к 4–5 годам, что может быть связано с формированием активности центральных и спинномозговых генераторов, индуцирующих самоорганизацию двигательных стереотипов (англ.: spinal central pattern generators — CPG). В работах других авторов указано на соответствие кинетических изменений в сагиттальной плоскости сгибательным установкам в суставах у пациентов с ахондроплазией [8, 14], но сравнение показателей со здоровыми детьми со схожей длиной сегментов не проводилось.

Известно, что силовые параметры мышц и пиковая мощность работы суставов у пациентов ахондроплазией определяют длиной рычага (длиной сегмента конечности) при сохранной их физиологической зрелости [39, 40]. Снижение показателей мощности работы суставов также связано с меньшей скоростью ходьбы, т.к. определена достоверная положительная корреляционная взаимосвязь мощностных параметров локомоции со скоростью ходьбы [22].

Мы полагаем, что отсутствие различий в параметрах генерируемой мощности и моменте силы в сравнении с детьми меньшего возраста, имеющими схожую длину сегментов нижних конечностей, обосновывает стратегию увеличения продольных размеров длинных трубчатых костей (фармакологически и/или хирургически) именно с точки зрения снижения энергоемкости походки при ахондроплазии и, соответственно, увеличения двигательных возможностей.

Выявленные изменения кинематики в горизонтальной плоскости не столь выражены, как в сагиттальной плоскости. Обращает на себя внимание достоверное увеличение амплитуды ротации таза. Мы рассматриваем данную особенность как компенсаторную, направленную на увеличение длины шага. Это отмечают и другие исследователи [8, 31]. В работах D. Kierman et al. [8] и E.W. Broström et al. [14] описывают избыточную наружную ротацию бедра, которая не обнаружена у наших пациентов. Во фронтальной плоскости у детей с ахондроплазией наблюдали увеличенное отведение бедра. Анатомически тазовые органы у детей ахондроплазией отличаются более широкой и горизонтальной вертлужной впадиной [9]. Сгибательная позиция бедра также может способствовать увеличению отведения бедра и варусной деформации коленного сустава. Увеличение отведения бедра в сочетании с его сгибательной позицией также влияет на кинематику во фронтальной плоскости с уменьшением вектора силы приведения бедра во время ходьбы.

С точки зрения D. Kierman et al. [8], внутриторсионная установка голени компенсирует наружный разворот бедра, и ориентация стопы, в итоге, не отклоняется значимо от вектора движения пациента. В нашем исследовании значимых девиаций стопы также не обнаружено. Очевидно, что ротационные движения и взаимно компенсирующие торсионные деформации бедра и голени (при их присутствии) при ахондроплазии существенно не влияют на походку и не являются первостепенными патологическими элементами.

Изменения во фронтальной плоскости обусловлены варусной деформацией оси нижней конечности и нестабильностью коленного сустава. Это обуславливает амплитуду движений при приведении голени, возникновение компенсаторного вальгизирующего вектора момента силы, который можно измерить с помощью 3D-видеокомпьютерного анализа [41], и по его величине делать вывод о компенсированной или декомпенсированной нестабильности коленного сустава. По мере развития и роста, ноги у детей меняют свою форму, начиная с О-образной, проходя через период Х-образной, формируя физиологический вальгус коленного сустава, который мы и регистрируем в группах здоровых детей. В таком случае биомеханическая ось нижней конечности проходит через середины тазобедренного и коленного суставов, близко к наружному краю блока таранной кости, вследствие чего суставы нагружаются равномерно [42]. Наше исследование полностью подтверждает значимость варусной девиации биомеханической оси для кинематики и кинетики движений. Отклонение обычно двустороннее и симметричное, находится в основном на уровне большеберцовой кости, имеет сложную трехмерную деформацию, которую связывают с относительным превышением длины малоберцовой кости [43].

Другим характерным признаком ахондроплазии является фронтальная слабость коленного сустава за счет изменения проксимальных точек крепления коллатеральных связок.

Кроме того, выявлена супинация стопы, достоверно отличающаяся от параметров сверстников или здоровых детей со схожей длиной конечностей. Мы полагаем, что избыточная инверсия носит компенсаторно-приспособительный характер. Пространственно-временные характеристики походки у детей с ахондроплазией мы интерпретируем либо как следствие недостаточной длины сегментов (уменьшение величины шага, увеличение цикла шагов в минуту), либо как неустойчивость походки (увеличение относительной длительности двуопорной фазы).

Очевидно, что стратегией коррекции недостатков компонентов походки является увеличение длины сегментов нижних конечностей с восстановлением пропорций и устранением угловых деформаций. Это приведет как к улучшению показателя длины шага, так и снижению энергетических трат при ходьбе.

Компьютерный (англ.: 3D-instrumented gait analysis) анализ походки является ценным и необходимым методом доказательной медицины в контроле эффективности проводимого хирургического и/или патогенетического фармакологического лечения (восоритид).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Нарушения кинематических показателей ходьбы у детей с ахондроплазией касаются всей биомеханической цепи. Их выявляют в трех плоскостях: в сагиттальной — увеличение максимального наклона таза вперед, сгибательная позиция в тазобедренном, коленном суставах и позиция тыльной флексии голеностопного сустава; во фронтальной — увеличенный максимальный угол отведения бедра и varus-деформация коленного сустава; в горизонтальной — увеличенный ротационный диапазон движений таза.

Отклонения кинетических параметров определяется меньшим рычагом (длина сегмента) и меньшей скоростью ходьбы. Схожая длина сегментов нижних конечностей (с детьми возраста 3–4 лет без ортопедических проблем) не сопровождается достоверными отличиями в силовых параметрах разгибателей бедра и голени. Кинетика группы мышц-сгибателей голени и стопы определяется скоростными параметрами ходьбы.

Изменения в горизонтальной плоскости носят компенсаторный характер и при нормальной ориентации оси стопы относительно вектора движения не являются патологическими.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Финансирование. Работа поддержана программой МЗ РФ в рамках государственного задания ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» для выполнения НИР на 2021–2023 гг. «Разработка телескопического интрамедуллярного стержня для реконструктивной хирургии конечностей при заболеваниях, сопровождающихся сниженными прочностными характеристиками костей у детей: дисхондроплазия, фосфат-диабет, фиброзная дисплазия, врожденный ложный сустав голени, несовершенный остеогенез»

Этическая экспертиза. Исследование выполнено в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации (пересмотренной в октябре 2013 года), одобрено комитетом по этике (протокол № 2(70) от 21.10.2021).

Информированное согласие. От всех пациентов получено добровольное информированное согласие на публикацию результатов исследования без раскрытия личности.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Coi A, Santoro M, Garne E, et al. Epidemiology of achondroplasia: A population-based study in Europe. *Am J Med Genet A*. 2019;179(9):1791–1798. doi: 10.1002/ajmg.a.61289
2. Foreman PK, van Kessel F, van Hoorn R, et al. Birth prevalence of achondroplasia: A systematic literature review and meta-analysis. *Am J Med Genet A*. 2020;182(10):2297–2316. doi: 10.1002/ajmg.a.61787
3. Ireland PJ, Donaghey S, McGill J, et al. Development in children with achondroplasia: a prospective clinical cohort study. *Dev Med Child Neurol*. 2012;54(6):532–7. doi: 10.1111/j.1469-8749.2012.04234.x
4. Мирзамуродов Х.Х.У. Удлинение конечностей при ахондроплазии. *Journal of Innovations in Social Sciences*. 2022;2(7):21–27.
5. Менщикова Т.И., Аранович А.М. Оценка резервных возможностей передней группы мышц голени у больных ахондроплазией в процессе удлинения (ультразвуковое исследование). *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2015;22(3):13–19.
6. Харрисон Д., Уайнер Д., Теннер Д. и др. *Биология человека*. М.: Мир; 1979:396–401.
7. Ulusaloglu AC, Asma A, Silva LC, et al. Growth Modulation by Tension Band Plate in Achondroplasia With Varus Knee Deformity: Comparison of Gait Analysis Measurements. *J Pediatr Orthop*. 2023;43(3):168–173. doi: 10.1097/BPO.0000000000002342
8. Kiernan D. Lower limb biomechanics during gait in children with Achondroplasia. *J Biomech*. 2021;119:110313. doi: 10.1016/j.jbiomech.2021.110313
9. Pauli RM. Achondroplasia: a comprehensive clinical review. *Orphanet J Rare Dis*. 2019;14(1):1. doi: 10.1186/s13023-018-0972-6
10. Inan M, Thacker M, Church C, et al. Dynamic lower extremity alignment in children with achondroplasia. *J Pediatr Orthop*. 2006;26(4):526–9. doi: 10.1097/01.bpo.0000217712.42115.e6
11. Brooks JT, Bernholt DL, Tran KV, Ain MC. The Tibial Slope in Patients With Achondroplasia: Its Characterization and Possible Role in Genu Recurvatum Development. *J Pediatr Orthop*. 2016;36(4):349–54. doi: 10.1097/BPO.0000000000000458
12. Baujat G, Legeai-Mallet L, Finidori G, et al. Achondroplasia. *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2008;22(1):3–18. doi: 10.1016/j.berh.2007.12.008
13. Sims DT, Burden A, Payton C, et al. A quantitative description of self-selected walking in adults with Achondroplasia using the gait profile score. *Gait Posture*. 2019;68:150–154. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.019
14. Broström EW, Antonissen L, von Heideken J, et al. Gait in children with achondroplasia – a cross-sectional study on joint kinematics and kinetics. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):397. doi: 10.1186/s12891-022-05343-4
15. Sims DT, Burden A, Payton C, et al. A spatio-temporal and kinematic description of self-selected walking in adults with Achondroplasia. *Gait Posture*. 2020;80:391–396. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.06.030

16. Hebda-Boon A, Tan XL, Tillmann R, et al. The impact of instrumented gait analysis on decision-making in the interprofessional management of cerebral palsy: A scoping review. *Eur J Paediatr Neurol.* 2023;42:60-70. doi: 10.1016/j.ejpn.2022.11.007
17. Чибиров Г.М., Долганова Т.И., Долганов Д.В., Попков Д.А. Анализ причин патологических паттернов кинематического локомоторного профиля по данным компьютерного анализа походки у детей со спастическими формами ДЦП. *Гений ортопедии.* 2019;25(4):493-500. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-493-500
18. Попков А.В., Шевцов В.И. *Ахондроплазия.* М.: Медицина; 2001:192-195.
19. Аксенов А.Ю., Клишкова Т.А. *Программа формирования отчета биомеханики ходьбы человека.* Пат. РФ № 2020665238. 24.11.2020. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 06.09.2023.
20. Umberger BR, Martin PE. Mechanical power and efficiency of level walking with different stride rates. *J Exp Biol.* 2007;210(Pt 18):3255-65. doi: 10.1242/jeb.000950
21. Zelik KE, Honert EC. Ankle and foot power in gait analysis: Implications for science, technology and clinical assessment. *J Biomech.* 2018;75:1-12. doi: 10.1016/j.jbiomech.2018.04.017
22. Долганова Т.И., Попков Д.А., Долганов Д.В., Чибиров Г.М. Показатели кинетики локомоторных стереотипов у здоровых детей в различных скоростных диапазонах передвижения. *Гений ортопедии.* 2022;28(3):417-424. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-417-424
23. Гайдышев И.П. *Моделирование стохастических и детерминированных систем: Руководство пользователя программы AtteStat.* Курган; 2015:104-105.
24. Egginton R, Newman C, Walsh M et al. Kinematic characteristics of Achondroplasia. *Gait Posture.* 2006;24(Suppl. 2):S249-S250. doi: 10.1016/j.gaitpost.2006.11.170
25. Менщикова Т.И., Долганова Т.И., Аранович А.М. Влияние силы мышц бедра и голени на опорные реакции стоп у больных ахондроплазией после коррекции роста. *Российский журнал биомеханики.* 2014;18(2):248-258.
26. Витензон А.С. *Закономерности нормальной и патологической ходьбы человека.* Москва: Зеркало-М; 1998:74-93.
27. Dotan R, Mitchell C, Cohen R, et al. Child-adult differences in the kinetics of torque development. *J Sports Sci.* 2013;31(9):945-53. doi: 10.1080/02640414.2012.757343
28. Бернштейн Н. А. *Избранные труды по биомеханике и кибернетике.* 2-ое издание. Москва: ТВТ Дивизион; 2019:175-177.
29. Rethlefsen S, Tolo VT. Gait analysis before and after tibial osteotomy in achondroplasia. *Gait Posture.* 1998;7(2):174-175. doi: 10.1016/S0966-6362(98)90260-0
30. Van der Meulen J, Dickens W, Burton M, Fernandes J. Gait characteristics of achondroplasia following lower limb-lengthening. *Gait & Posture.* 2008;28(Suppl. 2):S36-S37. [https://doi.org/10.1016/S0966-6362\(08\)70052-3](https://doi.org/10.1016/S0966-6362(08)70052-3)
31. Stefanou M, Pasparakis D, Darras N, Papagelopoulos P. Gait analysis of achondroplastic patients who have undergone lower limb lengthening using the ilizarov method: a five-to 19-year follow-up study. *Orthop Procs.* 2017;99-B(SUPP_1):11-11. doi:10.1302/1358-992X.99BSUPP_1.EORS2016-011
32. Wolf SI, Mikut R, Kranzl A, Dreher T. Which functional impairments are the main contributors to pelvic anterior tilt during gait in individuals with cerebral palsy? *Gait Posture.* 2014;39(1):359-64. doi: 10.1016/j.gaitpost.2013.08.014
33. Trotter TL, Hall JG; American Academy of Pediatrics Committee on Genetics. Health supervision for children with achondroplasia. *Pediatrics.* 2005;116(3):771-83. doi: 10.1542/peds.2005-1440
34. Прудникова О.Г., Аранович А.М. Клинико-рентгенологические аспекты сагиттального баланса позвоночника у детей с ахондроплазией. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2018;6(4):6-12. doi: 10.17816/PTORS646-12
35. Прудникова О.Г., Аранович А.М., Муштаева Ю.А., Губин А.В. Биомеханические аспекты сагиттального баланса позвоночника у пациентов с ахондроплазией при удлинении конечностей методом Илизарова. *Хирургия позвоночника.* 2018;15(4):7-14. doi: 10.14531/2018.4.7-14
36. Долганова Т.И., Смолькова Л.В., Долганов Д.В. Биомеханические характеристики локомоторной активности у детей 3-6 лет без двигательных нарушений. *Вестник уральской медицинской академической науки.* 2022;19(5):502-513. doi: 10.22138/2500-0918-2022-19-5-502-513
37. Meyns P, Van de Walle P, Desloovere K, et al. Age-related differences in interlimb coordination during typical gait: An observational study. *Gait Posture.* 2020;81:109-115. doi: 10.1016/j.gaitpost.2020.07.013
38. Mani H, Miyagishima S, Kozuka N, et al. Development of postural control during single-leg standing in children aged 3-10 years. *Gait Posture.* 2019;68:174-180. doi: 10.1016/j.gaitpost.2018.11.024
39. Щуров В.А., Менщикова Т.И. Особенности продольного роста голени у больных с ахондроплазией. *Физиология человека.* 1999;25(2):114-118.
40. Менщикова Т.И., Аранович А.М. Удлинение голени у больных ахондроплазией 6-9 лет как первый этап коррекции роста. *Гений ортопедии.* 2021;27(3):366-371. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-366-371
41. Byrnes SK, Holder J, Stief F, et al. Frontal plane knee moment in clinical gait analysis: A systematic review on the effect of kinematic gait changes. *Gait Posture.* 2022;98:39-48. doi: 10.1016/j.gaitpost.2022.07.258
42. Николенко В.Н., Фомичева О.А., Жмурко Р.С. и др. Индивидуально-типологические особенности морфогеометрии проксимального отдела бедренной кости. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2010;6(1):36-39.
43. Lee ST, Song HR, Mahajan R, et al. Development of genu varum in achondroplasia: relation to fibular overgrowth. *J Bone Joint Surg Br.* 2007;89(1):57-61. doi: 10.1302/0301-620X.89B1.18223

Статья поступила 19.06.2023; одобрена после рецензирования 05.09.2023; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 19.06.2023; approved after reviewing 05.09.2023; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Тамара Игоревна Долганова — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Лидия Владимировна Смолькова — аспирант, slv@odb45.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9665-0427>;

Дмитрий Владимирович Долганов — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, paradigm-dv@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8708-1303>;

Анна Майоровна Аранович — доктор медицинских наук, профессор, заведующая отделением, старший научный сотрудник, aranovich_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7806-7083>;

Никита Сергеевич Гвоздев — врач травматолог-ортопед, nikitozgvozdev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, профессор РАН, Член-корр. Французской Академии медицинских наук, руководитель клиники, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Information about the authors:

Tamara I. Dolganova — Doctor of Medical Sciences, leading researcher, rjik532007@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0117-3451>;

Lidiia V. Smolkova — postgraduate, slv@odb45.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9665-0427>;

Dmitry V. Dolganov — Candidate of Biological Sciences, senior researcher, paradigm-dv@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8708-1303>;

Anna M. Aranovich — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, senior researcher, aranovich_anna@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7806-7083>;

Nikita S. Gvozdev — traumatologist-orthopedist, nikitozgvozdev@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

Dmitry A. Popkov — Doctor of Medical Sciences, Professor of RAS, Corresponding member of the French Academy of Medical Sciences, Head of the Clinic, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

Вклад авторов

Долганова Тамара Игоревна — концептуализация, методология, создание метаданных, рецензирование.

Смолькова Лидия Владимировна — исследование, создание метаданных.

Долганов Дмитрий Владимирович — исследование, формальный анализ, визуализация.

Аранович Анна Майоровна — исследование.

Гвоздев Никита Сергеевич — исследование.

Попков Дмитрий Арнольдович — контроль, написание первоначального варианта, рецензирование, редактирование.

Научная статья

УДК 617.586-00-089:612.7:303.62

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-384-393>



Апробация русскоязычных опросников FADI и FAAM для определения функции стопы до и после хирургического лечения

А.А. Акулаев, А.А. Иванов, Т.И. Ионова, Т.П. Никитина, К.А. Тищенко, А.А. Повалий✉

Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова
Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Александрович Повалий, povandrey16@yandex.ru

Аннотация

Введение. Для учета мнения пациента при оценке состояния стопы и/или голеностопного сустава при разных патологиях международное ортопедическое сообщество рекомендует использовать специально разработанные опросники, которые заполняют сами пациенты.

Цель работы — провести валидацию русскоязычных версий опросников FADI и FAAM и апробировать их у пациентов ортопедического профиля до и после хирургического лечения патологии передних отделов стопы.

Материалы и методы. В исследование включены 100 взрослых пациентов с патологией передних отделов стопы при наличии показаний для операции (средний возраст — $52 \pm 12,1$ года, 97 % — женщины), из общего числа пациентов 26 % — спортсмены. Все пациенты заполняли опросники FADI и FAAM до и через 2 мес. после операции, а также опросник SF-36 и шкалу LEFS — до операции.

Результаты. Значение α – Кронбаха для шкалы повседневной активности обоих опросников — 0,91; шкалы спортивной активности — 0,94. Воспроизводимость опросников показана на основании высоких значений ICC ($\geq 0,992$) и отсутствия изменений (ES $< 0,01$) у пациентов в стабильном состоянии. Удовлетворительная конструктивная валидность подтверждена значимыми корреляциями между шкалами повседневной и спортивной активности опросников, критериальная валидность — между углом тыльного сгибания в ПФС1 и шкалами повседневной ($p < 0,001$) и спортивной активности ($p < 0,05$) опросников. Конвергентная валидность FADI и FAAM подтверждена на основании корреляций показателей по шкалам со шкалами SF-36 и LEFS. У пациентов с нарушениями в объеме движений средней/тяжелой степени повседневная активность по FADI и FAAM хуже, чем при отсутствии нарушений / лёгких нарушениях. После операции зарегистрировано существенное улучшение по шкалам опросников у пациентов, не занимающихся спортом ($p < 0,001$). У спортсменов после операции значительно улучшилась спортивная активность ($p < 0,05$).

Обсуждение. Ограничением исследования является выборка, состоящая преимущественно из пациентов с одним видом ортопедической патологии (вальгусная деформация стопы), с большой долей пациентов женского пола. Кроме того, все пациенты проходили лечение в одном ЛПУ. В дальнейшем целесообразно апробировать русские версии опросников FADI и FAAM у пациентов с другими патологиями стопы, а также провести многоцентровые исследования с использованием данных опросников.

Заключение. По результатам апробации опросников FADI и FAAM в российской популяции пациентов установлено, что они чувствительны к изменениям в состоянии стопы / голеностопного сустава у пациентов, которым показано хирургическое лечение патологии стопы. Продемонстрированы надежность, валидность и информативность применения опросников FADI и FAAM у пациентов с патологией стопы, в том числе у спортсменов.

Ключевые слова: патология стопы, функциональные нарушения, хирургическое лечение, опросники, FADI, FAAM, валидация

Для цитирования: Акулаев А.А., Иванов А.А., Ионова Т.И., Никитина Т.П., Тищенко К.А., Повалий А.А. Апробация русскоязычных опросников FADI и FAAM для определения функции стопы до и после хирургического лечения. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):384-393. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-384-393. EDN: IPDOIY.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-384-393>

Russian versions of FADI and FAAM for preoperative and postoperative assessment of the foot function

A.A. Akulaev, A.A. Ivanov, T.I. Ionova, T.P. Nikitina, K.A. Tishchenkov, A.A. Povaliy✉

Saint Petersburg State University Hospital, Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Andrey A. Povaliy, povandrey16@yandex.ru

Abstract

Introduction Self-administered questionnaire recommended by international orthopaedic community is a practical instrument for use in pathological conditions related to the foot and ankle.

The objective was to validate the Russian-language versions of the FADI and FAAM questionnaires to be filled out by orthopaedic patients with forefoot disorders before and after surgical treatment.

Material and methods The study included 100 adult patients with forefoot disorders to be surgically treated. The average age of the patients was 52 ± 12.1 years with 97 % being females and 26 % being athletes. The patients completed the FADI and FAAM questionnaires preoperatively and at 2 months after surgery and they were requested to fill out the SF-36 questionnaire and the LEFS scale preoperatively.

Results The Cronbach's α value was 0.91 for activities of daily living and 0.94 for sports measured with both questionnaires. The reproducibility of the questionnaires was demonstrated by high ICC values (≥ 0.992) and no changes ($ES < 0.01$) in stable patients. Satisfactory construct validity was confirmed by significant correlations in activities of daily living and sports activities; criterion validity was confirmed by the dorsiflexion angle in the MCP1 and the daily ($p < 0.001$) and sports activities ($p < 0.05$). Convergent validity of the FADI and FAAM was identified with correlations measured with SF-36 and LEFS. Patients with moderate/severe impairment in range of motion had worse functional status scored with the FADI and FAAM as compared with those who had no/mild impairment. A significant improvement was seen postoperatively in non-athletes ($p < 0.001$). Sports activity significantly improved postoperatively in athletes ($p < 0.05$).

Discussion A limitation of the study includes the sample consisting mostly of patients with one type of orthopaedic pathology (valgus foot). Another limitation is that the majority of patients were females, and the patients were treated in the same health care facility. We can conclude that in the future it would be advisable to test the Russian versions of the FADI and FAAM questionnaires in patients with other foot pathologies and to conduct multicenter studies using these questionnaires.

Conclusion The FADI and FAAM scores measured in the Russian population showed greater sensitivity to changes in the foot/ankle joint in individuals who had indications for surgical treatment for a foot condition.

Keywords: foot pathology, functional disorders, surgical treatment, questionnaires, FADI, FAAM, validation

For citation: Akulaev AA, Ivanov AA, Ionova TI, Nikitina TP, Tishchenkov KA, Povaliy AA. Russian versions of FADI and FAAM for preoperative and postoperative assessment of the foot function. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):384-393. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-384-393

ВВЕДЕНИЕ

При определении результатов хирургического лечения пациентов ортопедического профиля, наряду с клиническими данными, важным является учет мнения самого пациента в отношении влияния патологии опорно-двигательного аппарата на его ежедневную активность и качество жизни [1, 2]. Положение о целесообразности проведения пациентом самооценки своего состояния при определении эффекта лечения включено в международные рекомендации по ведению пациентов с нарушениями опорно-двигательного аппарата [3]. Нарушения функции стопы и голеностопного сустава (лодыжки) и связанные с ними ограничения могут быть оценены пациентом с помощью специально разработанных опросников [4]. Имеются опросники, которые рекомендованы международным ортопедическим сообществом для оценки состояния стопы и/или голеностопного сустава при разных патологиях, в том числе, при проведении хирургических вмешательств, для применения в клинических исследованиях и клинической практике [5–7]. К таким инструментам относятся Индекс нарушения функции стопы и голеностопного сустава (*англ.*: Foot and Ankle Disability Index, FADI) и Опросник функционального состояния стопы и голеностопного сустава (*англ.*: Foot and Ankle Ability Measure, FAAM) [8, 9]. Оба опросника характеризуются хорошими психометрическими свойствами и широко используются за рубежом в исследовательских и практических целях для определения состояния пациентов и оценки эффективности лечения. Важным преимуществом этих инструментов является то, что они учитывают аспекты, необходимые для занятий спортом, и могут быть применены у спортсменов. Ранее разработаны русские версии опросников FAAM и FADI [10]. Отметим, что, в соответствии с международными рекомендациями [11, 12], при разработке новой языковой версии опросника для возможности ее использования в условиях новой языковой среды необходимо проведение процедуры валидации для оценки психометрических свойств инструмента, а также ее апробация в популяции пациентов с конкретной патологией. Апробация русских версий опросников FAAM и FADI у пациентов с патологией стопы, которым показано хирургическое лечение, позволит создать доказательную основу их применения для определения эффективности оперативного вмешательства в ортопедии.

Цель работы — провести валидацию русскоязычных версий опросников FADI и FAAM и апробировать их у пациентов ортопедического профиля до и после хирургического лечения патологии передних отделов стопы.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование проведено на базе травматологического отделения № 2 Клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ (протокол исследования одобрен Комитетом по биомедицинской этике, выписка из протокола от 07.07.2022 № 07/22). В исследование включены пациенты в возрасте ≥ 18 лет с патологией стопы и/или голеностопного сустава, которые имели показания для хирургического лечения. Пациенты с когнитивными нарушениями, которые могли препятствовать адекватному заполнению опросников, в исследование не включены. Перед началом исследования все пациенты подписали информированное согласие. До операции все пациенты заполняли опросники FADI и FAAM, а также общий опросник качества жизни SF-36 и шкалу функциональной оценки нижней конечности (*англ.*: Lower Extremity Functional Scale, LEFS). Часть пациентов дополнительно заполнили FADI и FAAM перед операцией дважды с интервалом в один день для оценки воспроизводимости опросников. Через два месяца после операции все пациенты заполнили опросники FADI и FAAM.

Опросник FADI используют для оценки функции стопы и голеностопного сустава (лодыжки) и ограничений, связанных с ортопедическими заболеваниями [11]. Он состоит из двух частей: основная часть содержит 26 пунктов, распределенных на две шкалы, — повседневной активности (22 пункта) и боли (4 пункта). Вторая часть опросника включает 8 пунктов, объединенных в шкалу спортивной активности (FADI-Sport). Ответы на каждый вопрос оценивают по шкале Ликерта (от 0 до 4 баллов). Максимальный балл по шкале повседневной активности — 104. Максимальный балл по шкале спортивной активности — 32. Также шкала спортивной активности включает отдельные вопросы о текущем уровне функционального состояния во время занятий спортом (100 — состояние до возникновения проблем со стопой и голеностопным суставом, 0 — отсутствие возможности выполнять обычные ежедневные действия) и об уровне функционального состояния в настоящее время (предполагает 4 варианта ответа — нормальный, почти нормальный, сниженный, значительно сниженный уровень).

Опросник FAAM разработан на основе опросника FADI. Он относится к область-специальным, т.е. специфичным к определенной части тела (*region-specific*) инструментам для комплексной оценки функционирования стопы и голеностопного сустава у пациентов с широким спектром их нарушений [12–15]. Опросник включает две шкалы: повседневная активность (21 пункт, совпадающий с пунктами опросника FADI) и спортивная активность (8 пунктов, совпадающих с пунктами опросника FADI). В нем отсутствуют пять вопросов, включенные в шкалу повседневной активности опросника FADI — один вопрос о функции стопы / голеностопного сустава во время сна и четыре вопроса о боли. Также пациент оценивает текущий уровень функционального состояния при выполнении обычных ежедневных действий по шкале от 0 до 100 баллов.

Опросник RAND SF-36 состоит из 36 вопросов. Результаты представлены в виде 8 шкал: физическое функционирование (ФФ), ролевое физическое функционирование (РФФ), боль (Б), общее здоровье (ОЗ), жизнеспособность (Ж), социальное функционирование (СФ), ролевое эмоциональное функционирование (РЭФ), психическое здоровье (ПЗ). Значения каждой из восьми шкал выражают в баллах от 0 до 100 — чем выше балл, тем лучше качество жизни [16].

Шкала LEFS состоит из 20 утверждений, которые оценивают в баллах от 4 (нет трудностей) до 0 (выраженные трудности или невозможность выполнения). Для анализа проводят суммирование баллов — итоговый показатель может быть в диапазоне от 0 (минимальное число баллов) до 80 (максимальное число баллов) [17].

Для оценки психометрических свойств русских версий FADI и FAAM анализировали их надежность, валидность и чувствительность к изменениям. Надежность опросников определяли с помощью оценки их внутреннего постоянства путем вычисления коэффициента α – Кронбаха, а также на основании их воспроизводимости при использовании метода «тест–ретест». Для оценки конструктивной валидности определяли корреляции между значениями баллов по шкалам повседневной и спортивной активности опросников FADI и FAAM. При определении критериальной валидности оценивали корреляции показателей по шкалам FADI и FAAM с величиной угла тыльного сгибания (ТС) в 1 плюснефаланговом суставе (ПФС1). Анализ дискриминантной валидности проводили с помощью метода «известных групп» на основании сравнения показателей по шкалам FADI и FAAM в группах пациентов с отсутствием нарушений в объеме движений, легкой степенью нарушений и с нарушениями в объеме движений средней или тяжелой степени согласно величине угла ТС в ПФС1. Конвергентную валидность оценивали на основании изучения корреляций показателей по шкалам FADI и FAAM с показателями по опросникам SF-36 и LEFS. При анализе чувствительности к изменениям определяли величины эффекта (*англ.*: Effect size, ES) изменений по шкалам опросников до и через два месяца после операции.

В рамках апробации русских версий FADI и FAAM проводили анализ изменений показателей по шкалам опросников после хирургического лечения по сравнению с предоперационными величинами в группе спортсменов и пациентов, не занимающихся профессиональным спортом. Также на основании оценки понятности и легкости заполнения опросников пациентами, анализа качества их заполнения определяли применимость русских версий FADI и FAAM в фокусной популяции пациентов.

В исследование включены 100 пациентов ортопедического профиля с патологией передних отделов стопы. В таблице 1 представлена общая характеристика выборки. Большинство пациентов составили женщины (97 %). Средний возраст — 52 года ($20 \div 73$). У подавляющего большинства (98 %) основной диагноз — Hallux valgus. Патология стопы правой конечности имела у 47 %, левой — у 53 %.

Среднее значение (стандартное отклонение) угла ТС в ПФС1 до операции составило ($38,9 \pm 19,9$)°, диапазон $0 \div 70^\circ$. По степени нарушения объема движений в ПФС1 пациенты распределились следующим образом: нет нарушений — 43 % пациентов, легкая степень нарушений — 17 %, средняя и тяжелая степени нарушений — 13 % и 27 % соответственно. Средний показатель функции стопы до операции по LEFS составил ($60,8 \pm 16,7$) балла.

Профессиональные спортсмены составили четверть (26 %) выборки. Представлены следующие виды спорта: бег ($n = 5$), велосипедный спорт ($n = 5$), лыжи ($n = 4$), танцы ($n = 4$), плавание ($n = 4$), настольный теннис ($n = 2$), легкая атлетика ($n = 2$), конный спорт ($n = 1$), футбол ($n = 1$).

Таблица 1

Характеристика пациентов

Параметр		Значение
Пол, %	Мужчины	3
	Женщины	97
Возраст	Среднее, стандартное отклонение	$52 \pm 12,1$
	Медиана (межквартильный интервал)	55 (42,8; 61,3)
	Диапазон	20–73
Семейное положение, %	Женат (замужем)	71
	Холост (не замужем)	8
	Разведен(а)	6
	Вдовец (вдова)	15
Образование, %	Высшее	56
	Среднее специальное	26
	Среднее	12
	Неоконченное среднее	6
Занятость, %	Работает	70
	Учится	1
	Не работает	29
Занятия спортом, %	Нет	74
	Да	26
Инвалидность, %	Нет	98
	Есть, из них:	2
	2 группа	1
	3 группа	1
Сопутствующая патология, %	Нет	15
	Есть	85
Основной диагноз, %	Hallux valgus	98
	Hallux rigidus	2
Сторона поражения, %	Правая	47
	Левая	53

Статистический анализ. Количественные данные представлены средним значением и стандартным отклонением, $M \pm SD$. Качественные данные описывали абсолютными и относительными частотами встречаемости, n (%). Характер распределения данных определяли с помощью критерия Шапиро – Уилка. При сравнении двух несвязанных групп использовали критерий сравнения для двух выборок — t-критерий Стьюдента или его непараметрический аналог — критерий Манна – Уитни. При сравнении двух связанных групп использовали t-критерий Стьюдента или парный непараметрический критерий знаковых рангов Вилкоксона. Для оценки связи между показателями на двух точках заполнения опросников в рамках метода «тест-ретест» использовали коэффициент внутриклассовой корреляции (ICC). Для оценки связи между непрерывными переменными использовали корреляции r Спирмена. Силу корреляционной связи рассматривали по величине r : $0,1 < r < 0,39$ — слабая связь; $0,4 \leq r < 0,69$ — умеренная связь; $r \geq 0,7$ — сильная связь [18]. Для оценки внутреннего постоянства опросника вычислялся коэффициент α – Кронбаха. Для изучения изменений показателей во времени определяли величину эффекта (ES). При $ES = 0,2-0,5$ величину эффекта рассматривали как небольшую, при $ES = 0,5-0,8$ — как среднюю и при $ES > 0,8$ — как большую [19]. Все тесты двусторонние, различия между группами считали статистически значимыми при уровне $p < 0,05$. Статистический анализ проведен с использованием программного обеспечения SPSS 23.0.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Психометрические свойства русских версий FADI и FAAM

Надежность

Значение коэффициента α – Кронбаха для шкалы повседневной активности опросников FADI и FAAM было одинаковым и составило 0,91; для шкалы спортивной активности — 0,94. При оценке воспроизводимости показано отсутствие изменений показателя повседневной активности (FADI: $(79,2 \pm 16,6)$ против $(79,3 \pm 16,7)$; $ES = 0,008$; FAAM: $(83,9 \pm 14,4)$ против $(84,1 \pm 14,0)$; $ES = 0,008$), а также спортивной активности $(68,8 \pm 24,5)$ против $(68,8 \pm 24,0)$; $ES < 0,001$ при повторном заполнении обоих опросников пациентами в стабильном состоянии. Коэффициент внутриклассовой корреляции ICC для показателя повседневной активности опросника FADI составил 0,999 (95 % ДИ: 0,997–0,999; $p < 0,001$), для показателя повседневной активности опросника FAAM — 0,992 (95 % ДИ: 0,980–0,997; $p < 0,001$), для показателя спортивной активности — 0,999 (95 % ДИ: 0,998–1,000; $p < 0,001$) при первом и повторном заполнении опросников FADI и FAAM.

В целом, оба опросника характеризуются хорошим внутренним постоянством и воспроизводимостью, что свидетельствует о приемлемой надежности их русских версий.

Валидность

Коэффициент корреляции r Спирмена между показателями шкалы повседневной активности и шкалы спортивной активности по опроснику FADI составил 0,470 (95 % ДИ 0,301–0,610, $p < 0,001$), по опроснику FAAM — 0,482 (95 % ДИ 0,315–0,620, $p < 0,001$). Эти данные свидетельствуют об удовлетворительной конструктивной валидности обоих опросников.

Установлены статистически значимые положительные корреляции показателей повседневной активности по опросникам FADI и FAAM, показателя спортивной активности с величиной угла ТС в ПФС1. Коэффициент корреляции r Спирмена между показателем повседневной активности по FADI и величиной угла ТС в ПФС1 составил 0,388 (95 % ДИ 0,208–0,543, $p < 0,001$), показателем повседневной активности по FAAM и величиной угла ТС в ПФС1 — 0,403 (95 % ДИ 0,224–0,555, $p < 0,001$), показателем спортивной активности и величиной угла ТС в ПФС1 — 0,227 (95 % ДИ 0,032–0,406, $p = 0,023$).

В таблице 2 представлены коэффициенты корреляции r Спирмена между показателями повседневной активности по FADI и FAAM, показателем спортивной активности со шкалами SF-36 и суммарным баллом по опроснику LEFS.

Таблица 2

Корреляции между шкалами опросников FADI и FAAM, шкалами опросника SF-36 и LEFS

Шкалы	Суммарный балл LEFS	ФФ	РФФ	Б	ОЗ	Ж	СФ	РЭФ	ПЗ
Повседневная активность по FADI	0,531**	0,532**	0,430**	0,471**	0,393**	0,460**	0,414**	0,274*	0,316**
Повседневная активность по FAAM	0,581**	0,557**	0,463**	0,492**	0,432**	0,334**	0,406**	0,234*	0,226*
Спортивная активность	0,441**	0,437**	0,369**	0,399**	0,193	0,227*	0,291**	0,214*	0,174

Примечание: * — коэффициенты корреляции статистически значимы при $p < 0,05$; ** — коэффициенты корреляции статистически значимы при $p \leq 0,001$. Шкалы опросника SF-36: ФФ — физическое функционирование; РФФ — ролевое физическое функционирование; Б — боль; ОЗ — общее здоровье; Ж — жизнеспособность; СФ — социальное функционирование; РЭФ — ролевое эмоциональное функционирование; ПЗ — психическое здоровье.

Получены статистически значимые корреляции умеренной или слабой силы между шкалами обоих опросников и суммарным баллом LEFS, а также шкалами SF-36.

В целом, полученные результаты свидетельствуют о приемлемой критериальной и конвергентной валидности русских версий опросников FADI и FAAM.

Методом «известных групп» продемонстрированы статистически значимые различия показателей шкал повседневной активности и спортивной активности по FADI и FAAM в группе пациентов с отсутствием нарушений и лёгкими нарушениями в объеме движений в ПФС1 по сравнению с группой пациентов, имеющих нарушения в объеме движений в ПФС1 средней и тяжелой степени (рис. 1).

В группе пациентов с нарушениями в объеме движений средней или тяжелой степени показатели повседневной активности ниже (хуже состояние стопы), чем в группе с отсутствием нарушений или лёгкими нарушениями в объеме движений (FADI: $(72,9 \pm 14,5)$ против $(82,1 \pm 10,2)$, $p < 0,001$; FAAM: $(73,2 \pm 14,9)$ против $(82,2 \pm 10,9)$, $p = 0,001$).

По шкале спортивной активности статистических различий между группами не выявлено. Полученные результаты свидетельствуют о хорошей дискриминантной валидности шкалы повседневной активности русских версий FADI и FAAM.

Чувствительность

Анализировали изменения по шкалам повседневной активности и спортивной активности опросников FADI и FAAM через 2 мес. после операции по сравнению с показателями до операции (табл. 3). После операции имело место значимое улучшение по шкалам обоих опросников ($p < 0,001$). Для шкалы повседневной активности по FADI и FAAM изменения соответствовали умеренной величине эффекта ES (0,403 и 0,443), для шкалы спортивной активности — большой величине эффекта (0,781).

Таблица 3

Средние значения по шкалам повседневной активности и спортивной активности опросников FADI и FAAM при их заполнении до и после операции

Шкалы	До операции		Через 2 месяца после операции		p	ES
	сред.	ст. откл.	сред.	ст. откл.		
Повседневная активность по FADI	78,44	12,86	83,63	3,63	$< 0,001$	0,403
Повседневная активность по FAAM	78,60	13,32	84,50	4,63	$< 0,001$	0,443
Спортивная активность	63,69	22,83	81,53	7,30	$< 0,001$	0,781

Таким образом, русские версии FADI и FAAM высокочувствительны к изменениям в состоянии стопы у пациентов после операции.

Апробация русских версий FADI и FAAM у пациентов ортопедического профиля до и после хирургического лечения патологии передних отделов стопы

Апробация опросников FADI и FAAM включала анализ изменений по шкалам повседневной и спортивной активности, а также по уровню функционального состояния стопы при выполнении обычных ежедневных действий и уровню функционального состояния стопы при занятиях спортом у пациентов после операции по сравнению с предоперационными показателями. Анализ проведен во всей выборке и отдельно у спортсменов и группе пациентов, не занимающихся спортом (рис. 2). Как видно из рисунка, значимые улучшения через 2 мес. после операции отмечены по всем шкалам обоих опросников и дополнительным показателям во всей выборке и в группе пациентов, не являющихся спортсменами. В группе спортсменов продемонстрировано улучшение по большинству показателей, но статистически значимые изменения установлены только для шкалы спортивной активности и показателей функционального состояния стопы при выполнении ежедневных действия и во время занятий спортом (рис. 2).

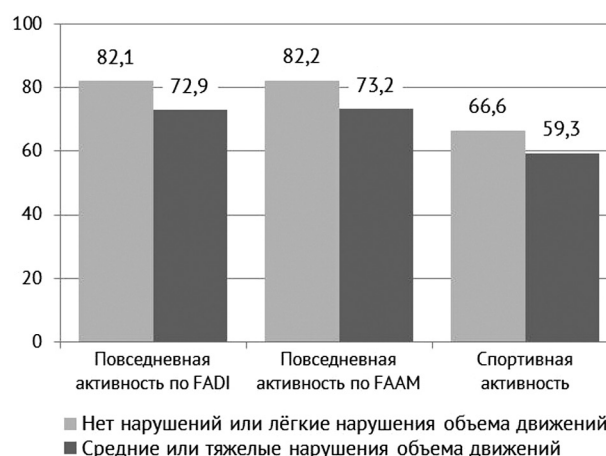


Рис. 1. Средние показатели шкал повседневной и спортивной активности по опросникам FADI и FAAM в группах пациентов с разной степенью нарушений в объеме движений на основе угла ТС в ПФС1

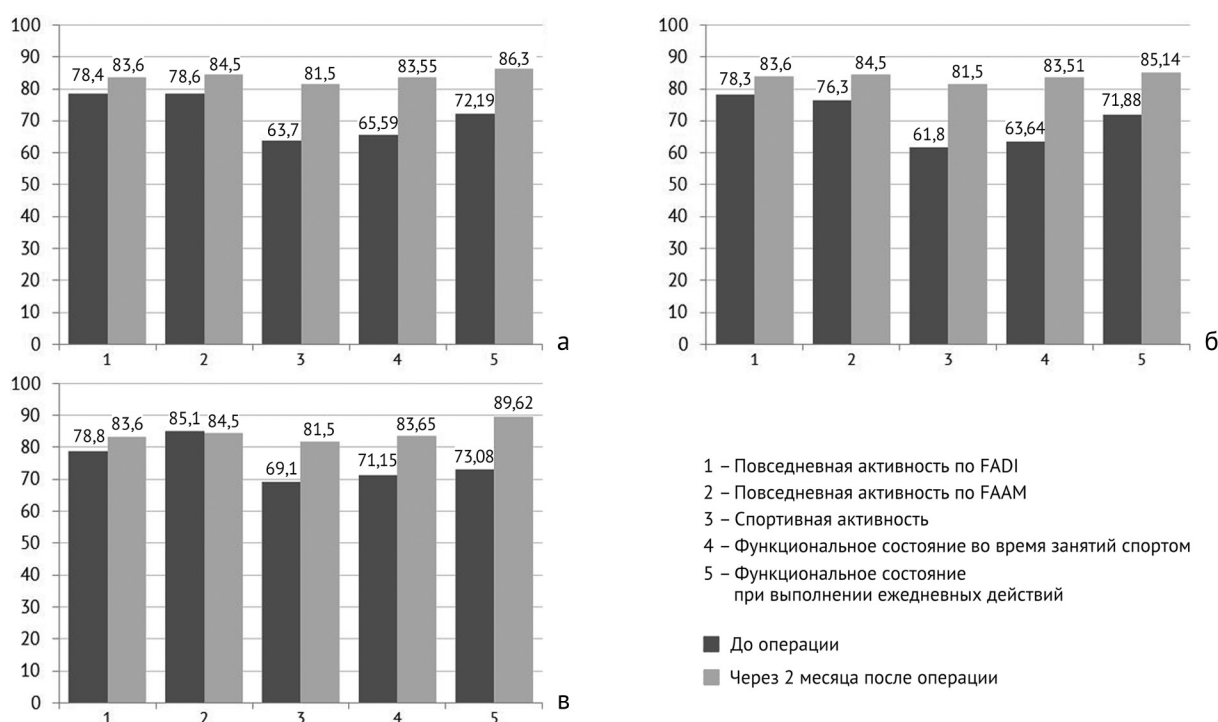


Рис. 2. Средние показатели повседневной активности согласно FADI и FAAM, средние показатели спортивной активности, средний уровень функционального состояния стопы при выполнении обычных ежедневных действий и средний уровень функционального состояния стопы при физической активности до операции и через 2 месяца после операции в общей выборке (а), в группе пациентов, не занимающихся спортом, (б) и в группе спортсменов (в)

Также при проведении апробации на основании данных о заполняемости опросников изучали их пригодность для применения в фокусной популяции пациентов. Из числа пациентов, заполнявших опросники, все опросники заполнены без пропусков (0 % пропущенных данных). У незначительного числа пациентов отмечены минимальные (0 баллов) и максимальные значения (100 баллов) по шкалам, т.е. «эффект пола и потолка» не выражен. На массиве данных, полученных при заполнении опросников до операции, доля ответов с максимальными значениями по спортивной шкале составила 3 %, по шкале повседневной активности FAAM и FADI — 1 % и 0 % соответственно. Минимальных значений по шкалам повседневной и спортивной активности не было ни у одного пациента. Полученные результаты указывают на высокое качество данных и являются подтверждением того, все вопросы являются понятными для пациентов, не вызывают у них дискомфорта при ответе и не представляют трудностей при выборе варианта ответа. В среднем, на заполнение опросника FADI требовалось 8 мин., на заполнение FAAM — 12 мин.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время опросники, которые заполняют сами пациенты, широко применяют для комплексной оценки нарушений функции стопы и голеностопного сустава (лодыжки) и связанных с ними ограничений у пациентов ортопедического профиля [7]. Показана их информативность и полезность при определении эффективности хирургического лечения и реабилитации [2, 3]. Наиболее распространенными инструментами, которые рекомендованы международным ортопедическим сообществом для оценки состояния стопы и/или голеностопного сустава, в том числе при проведении хирургического лечения, являются опросники FADI и FAAM [12]. Эти опросники широко применяют в научных и практических целях за рубежом [8, 20]. Ранее нами были разработаны их русские версии [6]. Однако отметим, что использование новой языковой версии опросника возможно, если проведена проверка ее психометрических свойств, и инструмент апробирован в фокусной популяции пациентов [21–23]. В данном исследовании проведен анализ психометрических свойств русских версий опросников FADI и FAAM и выполнена их апробация в отечественной выборке пациентов, которым показано хирургическое лечение патологии переднего отдела стопы. Валидация проведена в соответствии с современными международными рекомендациями [13, 14]. Нами были изучены разные аспекты надежности и валидности опросников FADI и FAAM. Показано, что оба опросника обладают хорошим внутренним постоянством и воспроизводимостью. Получены высокие значения коэффициента α – Кронбаха для опросников FADI и FAAM — для шкалы повседневной активности его значение было одинаковым и составило 0,91; для шкалы спортивной активности — 0,92. Эти результаты сходны с таковыми при валидации этих опросников, выполненных в других странах [24–26, 27]. Также получены высокие значения коэффициентов внутриклассовой корреляции ICC

(0,999 для шкалы повседневной активности опросника FADI, 0,992 для шкалы повседневной активности опросника FAAM и 0,999 для шкалы спортивной активности) при заполнении опросников дважды пациентами в стабильном состоянии, что характеризует их воспроизводимость. Полученные нами данные по воспроизводимости FADI и FAAM не уступают результатам других исследований [26, 28, 29].

Что касается валидности русских версий опросников FADI и FAAM, нами выполнен расширенный анализ и изучены следующие ее виды — критериальная, конвергентная и дискриминантная. На основании значений коэффициента корреляции r Спирмена между показателями шкалы повседневной активности и шкалы спортивной активности показана удовлетворительная конструктивная валидность обоих опросников. При оценке критериальной валидности использован корреляционный анализ между шкалами опросников FADI и FAAM с величиной угла ТС в ПФС1, а также в рамках оценки конвергентной валидности выполнен корреляционный анализ между шкалами опросников FADI и FAAM, шкалами SF-36 и суммарным баллом по опроснику LEFS. Полученные значимые корреляции свидетельствуют о приемлемых критериальной и конвергентной валидностях русских версий опросников FADI и FAAM. Также установлено наличие статистически значимых различий показателей шкал повседневной активности и спортивной активности по FADI и FAAM в группе пациентов с отсутствием нарушений или лёгкими нарушениями в объеме движений в ПФС1 по сравнению с группой пациентов, имеющих нарушения в объеме движений в ПФС1 средней или тяжелой степени. Эти результаты указывают на хорошую дискриминантную валидность опросников. В целом, полученные данные отражают имеющиеся результаты о валидности опросников FADI и FAAM [25, 26, 28, 30, 31]. Особо отметим, что в других исследованиях определяли не все оцениваемые в нашем исследовании виды валидности. Это указывает на то, что полученные нами результаты о достоверности русских версий опросников FADI и FAAM обладают хорошей доказательной базой.

Также мы определили чувствительность русских версий опросников FADI и FAAM с помощью оценки величины эффекта ES изменений по шкалам опросников после хирургического лечения стопы. После операции имели место значимые положительные изменения по шкалам обоих опросников: для шкалы повседневной активности по FADI и FAAM — умеренная величина эффекта ES (0,403 и 0,443), для шкалы спортивной активности — большая величина эффекта (0,781). Полученные значения ES сходны с аналогичными показателями, полученными в других исследованиях [32]. При этом в нашем исследовании срок заполнения опросника после операции был короче и составил два месяца, а в других работах — шесть месяцев. Таким образом, русские версии опросников FADI и FAAM являются чувствительными к изменениям состояния стопы после хирургического лечения и могут быть рекомендованы для применения в рамках оценки эффекта лечения с точки зрения пациента. При этом отметим, что не во всех валидационных исследованиях оценивали чувствительность опросников FADI и FAAM. По современным рекомендациям по оценке психометрических свойств вновь разработанной языковой версии опросника [14] проверка ее чувствительности к изменениям является необходимым компонентом процедуры валидации. Особый интерес представляет апробация инструмента в фокусной популяции пациентов. Нами выполнена апробация русских версий опросников FADI и FAAM у пациентов с патологией стопы, которым показано оперативное лечение. Анализировали показатели по опросникам до и через два месяца после операции. Причем анализ проводили как во всей выборке, так и в группе спортсменов и в группе пациентов, не занимающихся спортом. Значимые улучшения после операции имели место у пациентов, не занимающихся спортом, по всем шкалам опросников FADI и FAAM, а также по уровню функционального состояния стопы при выполнении обычных ежедневных действий и уровню функционального состояния стопы при занятиях спортивной активностью. Для спортсменов показано значимое улучшение по шкале спортивной активности, а также по уровню функционального состояния стопы при выполнении обычных ежедневных действий и уровню функционального состояния стопы во время занятий спортом. Дополнительно продемонстрированы хорошая заполняемость опросников и практически отсутствие крайних значений по шкалам («эффект пола и потолка»), что свидетельствует об их пригодности и информативности для мониторинга состояния стопы у пациентов ортопедического профиля в процессе лечения. К преимуществам нашего исследования следует отнести, во-первых, то, что анализ психометрических свойств русских версий опросников FADI и FAAM выполнен комплексно с применением разных методов. Во-вторых, проведена их апробация в отечественной популяции пациентов, прошедших оперативное лечение патологии стопы. И наконец, опросники апробированы, как в группе пациентов, не занимающихся спортивной деятельностью, так и в группе спортсменов. Наличие в опросниках FADI и FAAM шкалы спортивной активности выгодно отличает их от других инструментов, ориентированных на оценку состояния стопы и голеностопного сустава (лодыжки) и связанных с ними ограничений [15, 32–34]. В этой связи их апробация именно среди спортсменов представляется крайне ценной. Исследование имеет ряд ограничений. Главным ограничением является то, что выборку составили преимущественно пациенты с одним видом ортопедической патологии — вальгусной деформацией стопы (hallux valgus). Другим ограничением исследования является то, что большинство пациентов составили женщины. Еще одно ограничение — все пациенты проходили лечение в одном ЛПУ. В заключение отметим, что в дальнейшем целесообразно апробировать русские версии опросников FADI и FAAM у пациентов с другими патологиями стопы, а также провести многоцентровые исследования с использованием данных опросников.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Русские версии опросников FADI и FAAM являются надежными и валидными инструментами для оценки состояния стопы / голеностопного сустава у пациентов ортопедического профиля.

При апробации опросников FADI и FAAM в российской популяции пациентов установлено, что они чувствительны к изменениям в состоянии стопы / голеностопного сустава у пациентов, которым показано хирургическое лечение патологии стопы. Зарегистрированы значимые улучшения по шкалам обоих опросников у пациентов с патологией переднего отдела стопы после операции.

Продемонстрированы информативность применения опросников FADI и FAAM у спортсменов и их чувствительность к изменениям в состоянии стопы / голеностопного сустава после операции у пациентов этой категории.

Результаты апробации опросников FADI и FAAM свидетельствуют о том, что инструменты удобны и понятны для пациентов, являются информативными для мониторинга состояния стопы / голеностопного сустава и могут быть рекомендованы для применения в отечественных клинических исследованиях и клинической практике.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Этическая экспертиза. Исследование рассмотрено и одобрено локальным этическим комитетом. Протокол № 07/22 от 07.07.2022 года заседания Комитета по биомедицинской этике Клиники высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова (поликлиника, стационар) СПбГУ.

Информированное согласие. Все пациенты подписали форму информированного согласия на участие в исследовании.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wilson I, Bohm E, Lübbeke A, et al. Orthopaedic registries with patient-reported outcome measures. *EFORT Open Rev.* 2019;4(6):357-367. doi: 10.1302/2058-5241.4.180080
2. MOTION Group. Patient-Reported Outcomes in Orthopaedics. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(5):436-442. doi: 10.2106/JBJS.17.00608
3. Docter S, Fathalla Z, Lukacs MJ, et al. Interpreting Patient-Reported Outcome Measures in Orthopaedic Surgery: A Systematic Review. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(2):185-190. doi: 10.2106/JBJS.20.00474
4. van der Willik EM, Terwee CB, Bos WJW, et al. Patient-reported outcome measures (PROMs): making sense of individual PROM scores and changes in PROM scores over time. *Nephrology (Carlton).* 2021;26(5):391-399. doi: 10.1111/nep.13843
5. Rolfson O, Bohm E, Franklin P, et al. Patient-Reported Outcome Measures Working Group of the International Society of Arthroplasty Registries. Patient-reported outcome measures in arthroplasty registries Report of the Patient-Reported Outcome Measures Working Group of the International Society of Arthroplasty Registries Part II. Recommendations for selection, administration, and analysis. *Acta Orthop.* 2016;87 Suppl 1(Suppl 1):9-23. doi: 10.1080/17453674.2016.1181816
6. Акулаев А.А., Иванов А.А., Ионова Т.И. и др. Языковая и культурная адаптация опросников FADI, FAAM и SEFAS для оценки состояния стопы и голеностопного сустава и их апробация в отечественной популяции пациентов. *Гений ортопедии.* 2023;29(3):253-264. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-3-253-264
7. Whittaker GA, Munteanu SE, Roddy E, Menz HB. Measures of Foot Pain, Foot Function, and General Foot Health. *Arthritis Care Res (Hoboken).* 2020;72 Suppl 10:294-320. doi: 10.1002/acr.24208
8. Martin RL, Irrgang JJ. A survey of self-reported outcome instruments for the foot and ankle. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2007;37(2):72-84. doi: 10.2519/jospt.2007.2403
9. Gagnier JJ, Mullins M, Huang H, et al. A Systematic Review of Measurement Properties of Patient-Reported Outcome Measures Used in Patients Undergoing Total Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2017;32(5):1688-1697.e7. doi: 10.1016/j.arth.2016.12.052
10. Hijji FY, Schneider AD, Pyper M, Laughlin RT. The Popularity of Outcome Measures Used in the Foot and Ankle Literature. *Foot Ankle Spec.* 2020;13(1):58-68. doi: 10.1177/1938640019826680
11. Martin RL, Burdett RG, Irrgang JJ. Development of the Foot and Ankle Disability Index (FADI). *J Orthop Sports Phys Ther.* 1999;29(1):A32-A33.
12. Martin RL, Irrgang JJ, Burdett RG, et al. Evidence of validity for the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM). *Foot Ankle Int.* 2005;26(11):968-983. doi: 10.1177/107110070502601113
13. Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, et al. The COSMIN study reached international consensus on taxonomy, terminology, and definitions of measurement properties for health-related patient-reported outcomes. *J Clin Epidemiol.* 2010;63(7):737-745. doi: 10.1016/j.jclinepi.2010.02.006
14. Mokkink LB, Terwee CB, Patrick DL, et al. The COSMIN checklist for assessing the methodological quality of studies on measurement properties of health status measurement instruments: an international Delphi study. *Qual Life Res.* 2010;19(4):539-549. doi: 10.1007/s11136-010-9606-8
15. Hale SA, Hertel J. Reliability and Sensitivity of the Foot and Ankle Disability Index in Subjects With Chronic Ankle Instability. *J Athl Train.* 2005;40(1):35-40.
16. Hays RD, Sherbourne CD, Mazel RM. *User's Manual for the Medical Outcomes Study (MOS) Core Measures of Health-related Quality of Life.* USA: Rand Corporation Publ.; 1995:157.
17. Binkley JM, Stratford PW, Lott SA, Riddle DL. The Lower Extremity Functional Scale (LEFS): scale development, measurement properties, and clinical application. North American Orthopaedic Rehabilitation Research Network. *Phys Ther.* 1999;79(4):371-383.
18. Schober P, Boer C, Schwarte LA. Correlation Coefficients: Appropriate Use and Interpretation. *Anesth Analg.* 2018;126(5):1763-1768. doi: 10.1213/ANE.0000000000002864
19. Lakens D. Calculating and reporting effect sizes to facilitate cumulative science: a practical primer for t-tests and ANOVAs. *Front Psychol.* 2013;4:863. doi: 10.3389/fpsyg.2013.00863
20. Goulart Neto AM, Maffulli N, Migliorini F, et al. Validation of Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) and the Foot and Ankle Outcome Score (FAOS) in individuals with chronic ankle instability: a cross-sectional observational study. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):38. doi: 10.1186/s13018-022-02925-9

21. Ионова Т. Принципы языковой и культурной адаптации опросников оценки качества жизни. *Вестник Межнационального центра исследования качества жизни*. 2018;(31-32):12-17.
22. Wild D, Grove A, Martin M, et al. Principles of Good Practice for the Translation and Cultural Adaptation Process for Patient-Reported Outcomes (PRO) Measures: report of the ISPOR Task Force for Translation and Cultural Adaptation. *Value Health*. 2005;8(2):94-104. doi: 10.1111/j.1524-4733.2005.04054.x
23. Terwee CB, Prinsen CAC, Chiarotto A, et al. COSMIN methodology for evaluating the content validity of patient-reported outcome measures: a Delphi study. *Qual Life Res*. 2018;27(5):1159-1170. doi: 10.1007/s11136-018-1829-0
24. Rehman MR, Umer M, Riaz MU, et al. Translating And Validating of The Foot & Ankle Disability Index (FADI) Questionnaire In Urdu. *Pakistan BioMed J*. 2022;5(2):55-58. doi: 10.54393/pbmj.v5i2.243
25. Eun IS, Oh YS, Kim J, Jang W. Reliability and Validity of the Korean Version of Foot and Ankle Disability Index. *J Foot Ankle Surg*. 2024;63(1):33-35. doi: 10.1053/j.jfas.2023.08.007
26. Kulunkoglu BA, Celik D. Reliability and Validity of the Turkish Version of Foot and Ankle Ability Measure for Patients With Chronic Ankle Disability. *J Foot Ankle Surg*. 2019;58(1):38-41. doi: 10.1053/j.jfas.2018.07.007
27. Saarinen AJ, Uimonen MM, Suominen EN, et al. Structural and Construct Validity of the Foot and Ankle Ability Measure (FAAM) With an Emphasis on Pain and Functionality After Foot Surgery: A Multicenter Study. *J Foot Ankle Surg*. 2022;61(4):872-878. doi: 10.1053/j.jfas.2021.12.011
28. Leigh M, Rava E, Vaiuso D, et al. Translation, cross-cultural adaptation, reliability, and validation of the Italian version of the Foot and Ankle Disability Index (FADI). *Acta Biomed*. 2020;91(4-S):160-166. doi: 10.23750/abm.v91i4-S.9544
29. Cervera-Garvi P, Ortega-Avila AB, Morales-Asencio JM, et al. Cross-cultural adaptation and validation of Spanish version of the Foot and Ankle Ability Measures (FAAM-Sp). *J Foot Ankle Res*. 2017;10:39. doi: 10.1186/s13047-017-0221-6
30. Uematsu D, Suzuki H, Sasaki S, et al. Evidence of validity for the Japanese version of the foot and ankle ability measure. *J Athl Train*. 2015;50(1):65-70. doi: 10.4085/1062-6050-49.3.42
31. González-Sánchez M, Li GZ, Ruiz Muñoz M, Cuesta-Vargas AI. Foot and ankle ability measure to measure functional limitations in patients with foot and ankle disorders: a Chinese cross-cultural adaptation and validation. *Disabil Rehabil*. 2017;39(21):2182-2189. doi: 10.1080/09638288.2016.1219772
32. Eechaute C, Vaes P, Van Aerschoot L, et al. The clinimetric qualities of patient-assessed instruments for measuring chronic ankle instability: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:6. doi: 10.1186/1471-2474-8-6
33. Kim H, Chung E, Lee BH. A Comparison of the Foot and Ankle Condition between Elite Athletes and Non-athletes. *J Phys Ther Sci*. 2013;25(10):1269-72. doi: 10.1589/jpts.25.1269
34. Garcia CR, Martin RL, Drouin JM. Validity of the Foot and Ankle Ability Measure in athletes with chronic ankle instability. *J Athl Train*. 2008;43(2):179-83. doi: 10.4085/1062-6050-43.2.179

Статья поступила 17.11.2023; одобрена после рецензирования 15.01.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 17.11.2023; approved after reviewing 15.01.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Антон Андреевич Акулаев — заведующий отделением, врач травматолог-ортопед, antonakulaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0502-8120>;

Александр Александрович Иванов — студент 5-го курса, 3447014@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8227-5424>;

Татьяна Ивановна Ионова — доктор биологических наук, профессор, руководитель отдела мониторинга качества жизни, tation16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9431-5286>;

Татьяна Павловна Никитина — кандидат медицинских наук, врач-методист, tnikitina_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8279-8129>;

Константин Александрович Тищенко — врач травматолог-ортопед, drmutabor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3756-7281>;

Андрей Александрович Повалий — врач травматолог-ортопед, povandrey16@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1389-6489>.

Information about the authors:

Anton A. Akulaev — Head of Department, traumatologist-orthopedist, antonakulaev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0502-8120>;

Alexander A. Ivanov — 5th year student, 3447014@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8227-5424>;

Tatiana I. Ionova — Doctor of Biological Sciences, Professor, Head of Quality of Life Monitoring Unit, tation16@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-9431-5286>;

Tatiana P. Nikitina — M.D., PhD, Public health specialist of the Quality of Life Monitoring Unit, tnikitina_74@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8279-8129>;

Konstantin A. Tishchenkov — orthopedic traumatologist, drmutabor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3756-7281>;

Andrey A. Povaliy — orthopedic traumatologist, povandrey16@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1389-6489>.

Вклад авторов:

Акулаев А.А. — концептуализация, руководство планированием исследования, включая наставничество, редактирование рукописи.

Иванов А.А. — сбор данных, ведение базы данных.

Ионова Т.И. — методология, анализ данных, рецензирование и редактирование рукописи.

Никитина Т.П. — анализ данных, подготовка и написание первоначального проекта рукописи, визуализация/презентация данных.

Тищенко К.А. — сбор данных, ведение базы данных.

Повалий А.А. — координация ведения базы данных, координация и управление исследованием, редактирование рукописи.

Научная статья

УДК 616.718.19-001-031.13:616.728.18-001.48-089.227.84

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-394-405>

Опыт ранней малоинвазивной фиксации разрыва лонного сочленения системой транспедикулярных винтов у пострадавших с сочетанной травмой таза (пилотное исследование)

А.В. Петров^{1✉}, И.В. Кажанов^{1,2,3}, В.И. Бадалов², С.И. Микитюк^{1,2}, Р.А. Преснов¹, В.А. Мануковский¹, Я.В. Гаврищук¹, Е.А. Колчанов¹

¹ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе, Санкт-Петербург, Россия

² Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

³ Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Артем Викторович Петров, seducator@yandex.ru

Аннотация

Введение. Выбор оптимального способа стабильной малоинвазивной внутренней фиксации разрывов лонного сочленения у пострадавших с сочетанной травмой таза остается спорным и недостаточно изученным вопросом травматологии.

Цель работы — определить возможность применения малоинвазивной фиксации лонного сочленения системой транспедикулярных винтов у пострадавших с сочетанной нестабильной травмой таза в остром периоде травматической болезни.

Материалы и методы. Проведен анализ результатов лечения 12 пострадавших с сочетанной нестабильной травмой таза и разрывом лонного сочленения, пролеченных в НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (Санкт-Петербург) с 2017 по 2023 г. Всем пострадавшим в остром периоде травматической болезни выполнена окончательная малоинвазивная фиксация лонного сочленения системой транспедикулярных винтов.

Результаты. При общей оценке результатов лечения у 12 пострадавших каких-либо осложнений, технических ошибок при установке транспедикулярных винтов не обнаружено. При контрольной спиральной компьютерной томографии таза у всех пострадавших фиксация лонного сочленения расценена как стабильная, положение металлоконструкций у всех было правильным. Один пострадавший из анализируемой группы скончался в клинике от массивной тромбоэмболии легочной артерии. Оценка отдаленных результатов проведена у 11 пострадавших в сроки 6 месяцев — 3 года после получения травмы: у 10-ти из них выявлены отличные и хорошие результаты, у одного — удовлетворительный результат.

Обсуждение. Использование наkostных пластин для фиксации разрывов лонного сочленения приводит к нарушению его физиологической подвижности, а активизация пациента в послеоперационном периоде может вызвать перелом импланта. Оригинальные динамические пластины, проволоочный серкляж позволяют избежать этого осложнения, однако все эти методики предполагают значительную операционную травму и кровопотерю, а также риск нагноения послеоперационной раны. Малоинвазивные способы фиксации при помощи канюлированных винтов, систем типа Endobutton, Tight Rope позволяют уменьшить интраоперационную травму и риск осложнений (кровопотеря, нагноение), однако процедура их установки является достаточно сложной и длительной, а для большей стабильности часто требуется внешняя фиксация тазового кольца. Предлагаемая малоинвазивная фиксация лонного сочленения системой транспедикулярных винтов лишена многих недостатков и обладает достаточной стабильностью.

Заключение. Методика малоинвазивной фиксации лонного сочленения системой транспедикулярных винтов отвечает современным требованиям лечения пострадавших с политравмой и нестабильным повреждением тазового кольца и может успешно применяться в остром периоде травматической болезни.

Ключевые слова: сочетанная травма, разрыв лонного сочленения, минимально инвазивный остеосинтез, транспедикулярные винты, фиксация лонного сочленения

Для цитирования: Петров А.В., Кажанов И.В., Бадалов В.И. и др. Опыт ранней малоинвазивной фиксации разрыва лонного сочленения системой транспедикулярных винтов у пострадавших с сочетанной травмой таза (пилотное исследование). *Гений ортопедии*. 2024;30(3):394-405. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-394-405. EDN: KHDQMW.

© Петров А.В., Кажанов И.В., Бадалов В.И., Микитюк С.И., Преснов Р.А., Мануковский В.А., Гаврищук Я.В., Колчанов Е.А., 2024

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-394-405>

Experience in early minimally invasive fixation of pubic symphysis disruption with a system of transpedicular screws in patients with combined pelvic trauma (pilot study)

A.V. Petrov¹✉, I.V. Kazhanov^{1,2,3}, V.I. Badalov², S.I. Mikityuk^{1,2}, R.A. Presnov¹, V.A. Manukovsky¹, Ya.V. Gavrishuk¹, E.A. Kolchanov¹

¹ Dzhanelidze Saint Petersburg Research Institute of Emergency Medicine, Saint Petersburg, Russian Federation

² Kirov Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Pavlov First St. Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Artem V. Petrov, seductor@yandex.ru

Abstract

Introduction Challenges of treating the injuries of pubic symphysis in patients with combined pelvic injury require developing new techniques for stable minimally invasive osteosynthesis in the acute period of trauma.

Purpose of the work was to assess the application of low invasive fixation of the pubic symphysis with a system of transpedicular screws in the patients with combined unstable pelvic injuries in the acute period of the traumatic disease.

Materials and methods The results of treatment of 12 patients with polytrauma with unstable pelvic injury with rupture of the pubic symphysis who were treated at Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, in the period from 2017 to 2023, were analyzed. All the patients underwent final minimally invasive fixation of the pubic symphysis with a system of transpedicular screws in the early period of the traumatic disease.

Results The overall assessment of the results in 12 patients found no complications or technical errors during the installation of transpedicular screws. Control CT scans of the pelvis showed that osteosynthesis was stable in all patients, and the position of metal was correct in all. One patient from the study group died in the clinic from massive pulmonary embolism. The long-term results in 11 patients in the period from 6 months to 3 years after trauma were evaluated as excellent and good anatomical and functional results in 10 patients, one case had fair outcome.

Discussion The use of bone plates to fix ruptures of the symphysis pubis leads to disruption of its physiological mobility, and the patient's activity in the postoperative period can cause an implant fracture. Original dynamic plates and wire cerclage help avoid this complication; however, all these techniques involve significant surgical trauma and blood loss, as well as the risk of postoperative wound suppuration. Minimally invasive methods of fixation using cannulated screws, systems such as Endobutton, Tight Rope can reduce intraoperative trauma and the risk of complications (blood loss, suppuration); however, the procedure for their installation is quite complex and lengthy, and for greater stability, external fixation of the pelvic ring is often required. The proposed minimally invasive fixation of the pubic symphysis with a system of transpedicular screws avoids a lot of shortcomings and is sufficiently stable.

Conclusion The method of minimally invasive fixation of the pubic symphysis with a system of transpedicular screws meets current requirements in the treatment of patients with polytrauma and unstable pelvic injury, and it may be successfully used in the acute period of trauma.

Keywords: rupture symphysis pubis, combined injury, minimally invasive osteosynthesis, pedicle screws, osteosynthesis of the pubic articulation

For citation: Petrov AV, Kazhanov IV, Badalov VI, et al. Experience in early minimally invasive fixation of pubic symphysis disruption with a system of transpedicular screws in patients with combined pelvic trauma (pilot study). *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):394-405. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-394-405

ВВЕДЕНИЕ

Разрыв лонного сочленения, как компонент нестабильного повреждения тазового кольца, встречается у 13–15 % пострадавших с сочетанной травмой. В структуре повреждений переднего полукольца таза изолированный разрыв симфиза встречается в 8,9 % наблюдений, в сочетании с переломом лонных и седалищных костей — в 7,1 % случаев. Разрыв лонного сочленения обычно связан с высокоэнергетическим механизмом повреждения [1, 2, 3].

Применение аппарата внешней фиксации (АВФ) для временной стабилизации таза в раннем периоде травмы стал «золотым стандартом» хирургии повреждений, а окончательную фиксацию тазового кольца, в том числе лонного сочленения, чаще всего выполняют после стабилизации состояния пострадавшего [4, 5].

Консервативное лечение травматических разрывов лонного симфиза часто малоэффективно и приводит к значительному количеству неудовлетворительных результатов (20–25 %), которые связаны с неустраненным смещением в сочленении, неполноценной фиксацией, сопутствующими разрывами крестцово-подвздошного сочленения и различными переломами крестца, посттравматической деформацией тазового кольца [1, 2].

Общепризнанным оптимальным способом восстановления анатомии тазового кольца является остеосинтез погружными конструкциями. Системы для внутренней фиксации лонного сочленения варьируют от винтов с серкляжами до пластин различного дизайна [6, 7, 8]. Традиционные способы накостного остеосинтеза костей таза обычно травматичны, поэтому их не всегда можно применять при тяжелом состоянии пострадавшего. По этой причине для фиксации лонного сочленения продолжают разрабатывать различные малоинвазивные способы [9, 10, 11].

Современная тактика лечения нестабильных повреждений таза при сочетанной травме базируется на концепции Orthopedic damage control и входит в алгоритм лечения тяжелых травм — ATLS (англ. Advanced Trauma Life Support) [12]. Это подразумевает выполнение мероприятий по устранению жизнеугрожающих последствий травм, временную стабилизацию таза АВФ, профилактику развития инфекционных осложнений. Затем проводится стабилизация общего состояния, профилактика и лечение осложнений. Далее в период относительной или полной компенсации жизненных функций организма осуществляют окончательный остеосинтез переломов костей таза [2, 13, 14].

На данный момент проблема выбора оптимального способа внутренней фиксации при разрывах лонного сочленения стоит остро, так как много вопросов по этой тематике остается недостаточно изученными и спорными. Очевидно, что имеется необходимость продолжить исследования по разработке и совершенствованию оптимальных способов внутренней фиксации при нестабильных повреждениях таза с разрывом лонного сочленения в остром периоде травмы, основывающихся на принципах малоинвазивного остеосинтеза.

Цель работы — определить возможность применения малоинвазивной фиксации лонного сочленения системой транспедикулярных винтов у пострадавших с сочетанной нестабильной травмой таза в остром периоде травматической болезни.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен анализ результатов лечения 12 пострадавших с сочетанной травмой таза, у которых нестабильное повреждение тазового кольца сопровождалось разрывом лонного сочленения, госпитализированных в НИИ скорой помощи им. И.И. Джанелидзе (травмоцентр первого уровня, Санкт-Петербург) с 2017 по 2023 г.

При осмотре во время поступления пострадавших специалисты противошоковой бригады устанавливали механизм и обстоятельства получения травмы, проводили инструментальную диагностику, оценивали тяжесть состояния и травмы.

Структура нестабильных повреждений тазового кольца по классификации M.E. Muller AO-OTA/ASIF [15] следующая: A2 — 1 (8,4 %), B1 — 3 (25,0 %), B2 — 2 (16,5 %), B3 — 1 (8,4 %), C1 — 5 (41,6 %) (табл. 1).

Всем пострадавшим выполнена малоинвазивная фиксация лонного сочленения транспедикулярной системой в остром периоде травматической болезни.

Пострадавших мужского пола было 7 (58,4 %), женского — 5 (41,6 %). Обстоятельства травмы: падение с высоты — в 5 наблюдениях (41,6 %), дорожно-транспортное происшествие: автотравма — в 3 (25,0 %), мототравма — в 1 (8,4 %), сдавление грузом — в 3 (25,0 %). Средний возраст пострадавших составил $37,6 \pm 10,9$ года.

Критерии включения в исследуемую группу: трудоспособный возраст (от 18 до 65 лет), нетяжелая черепно-мозговая травма (по шкале AIS ≤ 4 балла), морфология повреждения тазового кольца, позволявшая применить малоинвазивную внутреннюю фиксацию лонного симфиза системой транспедикулярных винтов: изолированно (разрыв симфиза с расхождением более 2,5 см или с захождением) или в комбинации с канюлированными винтами (сочетание разрыва симфиза с переломами горизонтальной ветви лонной кости в области Nakatani II–III).

У пациентов с сочетанной травмой в остром периоде травматической болезни для принятия тактических решений использовали разработанную нашим коллективом авторскую тактику дифференцированной специализированной высокотехнологичной хирургической помощи при травмах таза, позволяющую учитывать критерии риска развития летального исхода у пострадавших и детально разграничивать пациентов по прогнозу развития неблагоприятного исхода. Таким образом, выстраивали оптимальную последовательность лечебно-диагностических мероприятий. Устанавливали тяжесть повреждения в баллах по шкалам ISS и ВПХ-П (МТ), учитывали возраст пациентов (как критерий коморбидности), проводили оценку тяжести черепно-мозговой травмы по шкале комы Глазго [16], оценивали вариант механизма повреждения таза с учетом классификации J. Young, A. Burgess [17]. С помощью разработанной логит-модели прогнозировали в бинарной системе вероятность неблагоприятного или благоприятного исхода [18]. При этом средние значения тяжести повреждения составили $(23,2 \pm 12,4)$ балла по ISS и $(7,9 \pm 4,6)$ балла по ВПХ-П (МТ) (табл. 1).

Таблица 1

Данные пострадавших с разрывом лонного сочленения, включенных в исследование

№	Возраст	Пол	Причины травм	Характер повреждения таза (механизм повреждения таза)	АО/ОТА	ISS	ВПХ-П	Сопутствующие повреждения
1	57	м	Автотравма (пассажир)	Полный разрыв КПС (тип APC III)	C1.2.	41	17,8	Сотрясение головного мозга. Множественные двусторонние переломы ребер. Ушиб легких. Внебрюшинный разрыв мочевого пузыря
2	47	ж	Автотравма (водитель)	Перелом лонной с переходом на переднюю колонну вертлужной впадины (низкий перелом), седалищной кости, перелом крестца (Denis 1) (тип LCI)	B2.1.	34	8,1	Ушиб головного мозга средней степени тяжести. Множественные переломы ребер. Ушиб легких. Ушиб сердца. Гемопневмоторакс. Разрыв селезенки 3 ст. Закрытый перелом левой плечевой кости
3	55	м	Сдавление	Частичный разрыв КПС (тип APC II)	B1.1.	13	3,1	Сотрясение головного мозга
4	34	м	Кататравма	Перелом лонной и обеих седалищных костей, Перелом крестца (Denis 2) (тип VS)	C1.3.	27	9,8	Сотрясение головного мозга. Ушиб легких. Компрессионный перелом тела Th12, L2 позвонков 2 ст. Открытый перелом пяточной кости. Обширное повреждение мягких тканей таза по типу Морель – Лавалле
5	28	м	Кататравма	Перелом крестца (Denis 2) (тип VS)	C1.3.	17	8,9	Сотрясение головного мозга. Ушиб легких
6	32	ж	Кататравма	Перелом крестца (Denis 2) (тип VS)	C1.3.	14	7,3	Сотрясение головного мозга
7	19	ж	Мототравма (водитель)	Перелом лонной кости, частичный разрыв КПС (тип APC II)	B1.1.	10	3,3	Сотрясение головного мозга
8	32	ж	Сдавление	Частичный разрыв КПС (тип APC II)	B3.1.	10	3,2	Сотрясение головного мозга. Разрыв влагалища 2 ст.
9	44	м	Автотравма (пассажир)	Частичный разрыв КПС. Перелом обеих лонных и седалищных костей по типу «бабочки» (тип APC II)	B1.1.	9	6,2	Сотрясение головного мозга. Разрыв промежности. Рвано-ушибленная рана мошонки
10	46	ж	Кататравма	Частичный разрыв лонного сочленения. Перелом обеих лонных и седалищных костей по типу «бабочки» (тип LCI)	A2.3.	13	3,5	Ушиб головного мозга средней степени тяжести. Перелом стенок орбиты
11	32	м	Сдавление	Перелом лонной и обеих седалищных костей. Перелом крестца (Denis 2) (тип LCI)	B2.1.	9	6,2	Сотрясение головного мозга. Разрыв заднего отдела уретры
12	30	м	Кататравма	Перелом лонной и седалищной костей. Перелом крестца (Denis 1) (тип VS)	C1.3.	36	16,3	Ушиб головного мозга средней степени тяжести. Множественные переломы ребер. Ушиб легких. Гемопневмоторакс. Закрытый перелом проксимального отдела бедренной кости. Разрыв заднего отдела уретры

Оценка тяжести черепно-мозговой травмы по шкале комы Глазго — $(14,1 \pm 1,3)$ балла. При поступлении у семи (58,4 %) пострадавших выявлены жизнеугрожающие последствия травм, потребовавшие выполнения неотложных оперативных вмешательств: продолжающееся внутрибрюшное кровотечение — у одного, напряженный пневмоторакс — у одного, продолжающееся наружное крово-

течение — у двух пациентов. В этой группе у пяти (41,6 %) пострадавших обнаружено продолжающееся внутритазовое кровотечение, поэтому для достижения окончательного хирургического гемостаза в двух наблюдениях применили ангиографию с эмболизацией и в одном — внебрюшинную тампонаду таза, а у всех пациентов данной группы применяли противошоковые крестцово-подвздошные винты. Жизнеугрожающие последствия травмы устраняли в противошоковой операционной в ближайшее время после поступления в травмоцентр.

Множественная травма таза диагностирована у шести пострадавших (50 %): разрыв заднего отдела уретры имелся у двух (16,5 %), внебрюшинный разрыв мочевого пузыря, разрыв влагалища, обширное повреждение мягких тканей таза по типу Морель – Лавалле, разрыв промежности — по одному клиническому наблюдению.

Всем пострадавшим в противошоковом отделении травмоцентра выполняли спиральную компьютерную томографию (СКТ) пяти зон тела (голова, грудь, позвоночник, живот и таз) согласно программе «Политравма» на компьютерном томографе Toshiba Aquilion PRIME 128 (Япония). При оценке томограмм таза уточняли морфологию повреждения тазового кольца. При подозрении на повреждение внутренних органов и сосудов СКТ дополняли контрастной поддержкой.

Окончательный малоинвазивный погружной остеосинтез поврежденных структур нестабильного тазового кольца пяти пострадавшим осуществляли в остром периоде травматической болезни сразу при поступлении, а двум — после предварительной внеочаговой стабилизации таза в период относительной стабилизации состояния пострадавшего (спустя 48–72 часов после травмы).

Для фиксации лонного сочленения применяли систему, состоящую из двух блокирующихся транспедикулярных винтов, введенных в вертикальные ветви лонных костей сверху вниз и соединенных между собой металлической штангой. Оценку стояния костных структур и металлоконструкций осуществляли при помощи полипозиционной рентгеноскопии на С-дуге General Electric OEC 9900 Elit (США). После проведения непрямой репозиции на ортопедическом столе с устранением всех вариантов смещений в нестабильном тазовом кольце изначально фиксировали переднее полукольцо погружными металлоконструкциями либо АВФ, а потом проводили остеосинтез поврежденных задних структур таза.

Малоинвазивную фиксацию лонного сочленения системой транспедикулярных винтов выполняли по разработанной методике с минимальной травматизацией тканей: металлоконструкции устанавливали через маленькие разрезы, с надкостницей контактировали только головки транспедикулярных винтов, остальные элементы находились эпипериостально. Таким образом, снижался контакт имплантатов с надкостницей, что позволяло минимально нарушать кровоснабжение кости [19].

Ближайшие результаты лечения оценивали по шкале ВАШ (визуально-аналоговая шкала болевого синдрома), позволяющей объективно оценить степень удовлетворенности пострадавших (основанной на диапазоне от 0 до 10, где 0 указывает на максимальную неудовлетворенность, а 10 — на полную удовлетворенность), учитывали сроки постельного режима.

Всем пострадавшим после внутреннего остеосинтеза таза выполняли контрольное исследование для оценки стояния металлоконструкций и восстановления анатомии тазового кольца. Для оценки отдаленных результатов 11 пациентов наблюдали в следующие сроки: через 6 нед., 3 мес., 6 мес. и 12 мес. после операции и в дальнейшем ежегодно до трех лет. Функциональные результаты лечения определяли по шкале S.A. Majeed, включая такие критерии как боль, возможность сидеть и ходить, способность к половому акту и выполнению трудовой деятельности (работы) [20].

Функциональные возможности и качество жизни у 11 пострадавших определялись при помощи неспецифического опросника SF-36, отражающего общее благополучие и степень удовлетворенности, т.е. те стороны жизнедеятельности пострадавшего, которые влияют на состояние здоровья [21]. Опросник SF-36 состоит из 36 вопросов, сгруппированных в восемь шкал. Из них формируют два параметра: психологический и физический компоненты здоровья.

Базу данных пострадавших создавали в программе Microsoft Office Excel 2010. Для анализа данных использовали методы описательной статистики. Учитывая, что в статье не сравнивали группы, то непрерывные данные с нормальным распределением были выражены как среднее значение $\pm$ стандартное отклонение. Статистический анализ данных проводили с помощью программы BioStat 2009 (Analyst Soft Inc., США).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Большинству пострадавших с благоприятным исходом, определенным с помощью разработанной прогностической логит-модели, в первые часы после получения травмы выполнили внутреннюю фиксацию поврежденного таза. Пострадавшей с разрывом влагалища проведено его ушивание, двум пациентам с разрывом заднего отдела уретры выполнены цистотомия, туннелизация уретры по Альбарану – Вишневскому и дренирование паравезикальной клетчатки по Буяльскому – Мак-Уортеру.

Во всех случаях разрыв лонного сочленения синтезировали системой транспедикулярных винтов по предложенной методике. Для лечения повреждений задних структур таза дополнительно применяли крестцово-подвздошные канюлированные винты. В трех наблюдениях разрыву симфиза сопутствовали односторонние или двусторонние переломы ветвей лонной кости, для остеосинтеза которых использовали канюлированные винты, установленные по антеградной методике. Оперативное пособие заканчивали фиксацией лонного сочленения предложенной транспедикулярной системой. Трём пострадавшим с повреждением тазового кольца по типу С1.3 для надёжной фиксации повреждённых задних структур в дополнение к проведенной фиксации крестцово-подвздошными канюлированными винтами устанавливали одностороннюю пояснично-тазовую систему на основе транспедикулярных винтов по минимально инвазивной методике.

Двум пострадавшим с неблагоприятным прогностическим исходом в противошоковой операционной производили временную фиксацию таза АВФ с устранением диастаза в лонном сочленении и фиксацию задних структур крестцово-подвздошными канюлированными винтами (комбинированный остеосинтез). Одному пострадавшему для остановки продолжающегося внутрибрюшного кровотечения выполнили лапаротомию и спленэктомию, одному — внебрюшинную тампонаду таза. Через двое суток одному пострадавшему (после удаления тампонов из полости таза) проведено окончательное ушивание внебрюшинного разрыва мочевого пузыря с наложением цистостомы и дренированием паравезикальной клетчатки. В период относительной стабилизации состояния (в срок от 1 до 3 сут.) у этих пострадавших проведена исчерпывающая стабилизация повреждённых структур таза: демонтаж АВФ, внутренний антеградный остеосинтез перелома горизонтальной ветви лонной кости канюлированным винтом и фиксация лонного сочленения малоинвазивной транспедикулярной системой.

Фиксация лонного сочленения малоинвазивным способом с помощью транспедикулярной системы сопровождалась небольшой интраоперационной кровопотерей, при этом снижались риски развития инфекционных осложнений. Хирургический доступ при данной методике позволил сохранить герметичность предпузырного пространства, что способствовало сохранению биологической тампонады и снижению риска возникновения внутритазового кровотечения. У одного пострадавшего через 5 сут. после операции отмечено развитие массивной тромбоэмболии легочной артерии, что явилось причиной летального исхода. Также наблюдали висцеральные осложнения, связанные с сочетанной травмой, представленные пневмонией у трех пострадавших, из них вплоть до развития сепсиса — в одном наблюдении. Местных осложнений в виде пролежней над головками транспедикулярных винтов или нагноения послеоперационных ран при использовании данной методики фиксации лонного сочленения в исследованной группе не наблюдали. Средний срок постельного режима составил от 3 до 12 сут. после травмы в зависимости от характера повреждений и тяжести состояния.

На контрольной СКТ таза ни у одного из пострадавших не было обнаружено ятрогенных осложнений, технических ошибок погружного остеосинтеза или мальпозиции транспедикулярных винтов в зоне лонного сочленения. Средний срок лечения в стационаре составил $(31,3 \pm 13,9)$ сут. Средний уровень болевого синдрома по шкале ВАШ — $(3,4 \pm 1,2)$ балла. У одного пострадавшего после выписки произошла миграция винта через переднюю кортикальную пластинку лонной кости (постоянно нарушал лечебный режим). Это потребовало удалить систему через 1,5 мес. после ее установки.

При оценке отдаленных результатов лечения у 11 пострадавших количественная оценка функционального состояния таза по шкале S.A. Majeed составила $(87,8 \pm 12,2)$ балла (min — 61, max — 100). У 10 пострадавших получен отличный или хороший результат, у одного — удовлетворительный результат лечения. Удовлетворительный результат проявился в виде вторичного смещения отломков в заднем полукольце и частичного нарушения функции тазовых органов (табл. 2).

Согласно итоговой оценке неспецифического опросника SF-36 для оценки качества жизни у пяти пострадавших получены хорошие результаты по избранным шкалам (чем выше значение показателя от 0 до 100, тем лучше оценка по избранной шкале), в первую очередь, отражающим физический компонент здоровья (табл. 3).

Таблица 2
Результаты по функциональной шкале S.A. Majeed (1989)

Параметры шкалы S.A. Majeed:	Средний балл, $M \pm m$	
Средний балл	$87,8 \pm 12,2$	
Боль (30 баллов)	$26,8 \pm 4,0$	
Работа (20 баллов)	$17,1 \pm 3,6$	
Способность сидеть (10 баллов)	$8,5 \pm 1,6$	
Половая функция (4 балла)	$3,5 \pm 0,5$	
Способность стоять (12 баллов)	$11,2 \pm 1,8$	
Походка (12 баллов)	$9,5 \pm 2,7$	
Ходьба (12 баллов)	$11,1 \pm 1,4$	
Клиническая оценка полученных баллов:	абс.	%
Отличная	7	63,6
Хорошая	3	27,3
Удовлетворительная	1	9,1
Неудовлетворительная	0	

Результаты шкал опросника SF-36, $n = 11$

Показатели качества жизни по шкалам опросника	Средний балл, $M \pm t$
Составляющие шкалы физического компонента здоровья	
Физическое функционирование, баллы	$67,7 \pm 31,3$
Ролевая деятельность, баллы	$65,9 \pm 28,0$
Телесная боль, баллы	$69,1 \pm 24,5$
Общее здоровье, баллы	$69,4 \pm 16,8$
Составляющие шкалы психического компонента здоровья	
Жизнеспособность, баллы	$69,5 \pm 18,2$
Социальное состояние, баллы	$44,5 \pm 10,2$
Эмоционально-ролевое функционирование, баллы	$82,0 \pm 27,1$
Психическое здоровье, баллы	$73,7 \pm 17,6$
Физический компонент здоровья, баллы	$44,5 \pm 9,2$
Психический компонент здоровья, баллы	$48,5 \pm 7,9$

Полученные результаты указывают на эффективность выбранной тактики лечения, правильный выбор имплантов и их комбинации для окончательной стабильной погружной фиксации.

Клинический пример

Пациент Г., 54 года, поступил в травмоцентр через 1 ч. после травмы (сдавление таза тяжелым грузом). Диагностирована сочетанная травма с ротационно-нестабильным повреждением тазового кольца: разрывы лонного и правого крестцово-подвздошного сочленений (BI по Tile). Острая кровопотеря. Шок I ст. В противошоковом отделении — общее состояние средней степени тяжести, АД 125 и 85 мм рт. ст., пульс ритмичный, частота сердечных сокращений 75 уд/мин. Сознание по шкале комы Глазго — 15 баллов. Тяжесть повреждения по шкале ISS — 13 баллов. При осмотре определены клинические признаки нестабильного повреждения таза и немедленно выполнена временная фиксация тазовым поясом (T-POD, США). На СКТ таза выявлены разрыв лонного сочленения с диастазом 2,5 см, частичный разрыв правого крестцово-подвздошного сочленения (рис. 1).

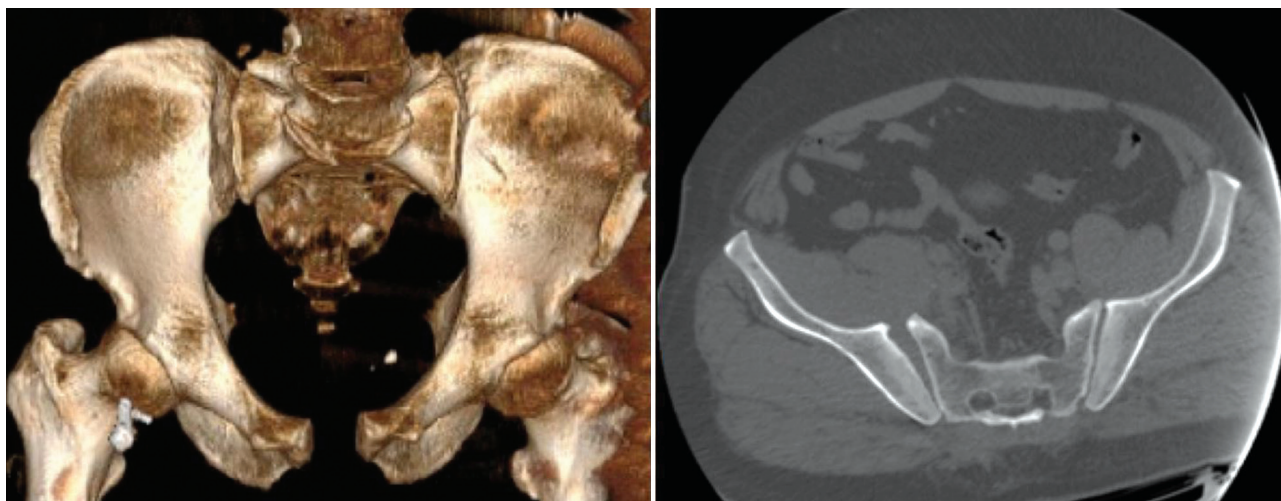


Рис. 1. СКТ таза пациента Г. при поступлении

При поступлении выполнено устранение диастаза в лонном сочленении и его фиксация транспедикулярной системой по описанной малоинвазивной методике. Правое крестцово-подвздошное сочленение фиксировано крестцово-подвздошным канюлированным винтом (рис. 2).

Пациент активизирован в койке с третьих суток после операции. Рекомендована ходьба с костылями с дозированной нагрузкой на правую нижнюю конечность. Произведена выписка на амбулаторное лечение через 20 дней. Металлоконструкции таза удалены полностью через 6 мес. после выписки. Через 18 мес. пациент повторно осмотрен, выявлены хорошие результаты лечения: оценка по шкале S.A. Majeed — 98 баллов; оценка по шкале SF-36: физическое функционирование — 95, ролевая деятельность — 100, телесная боль — 100, общее здоровье — 85, общий физический компонент здоровья (PH) — 57,4 балла.

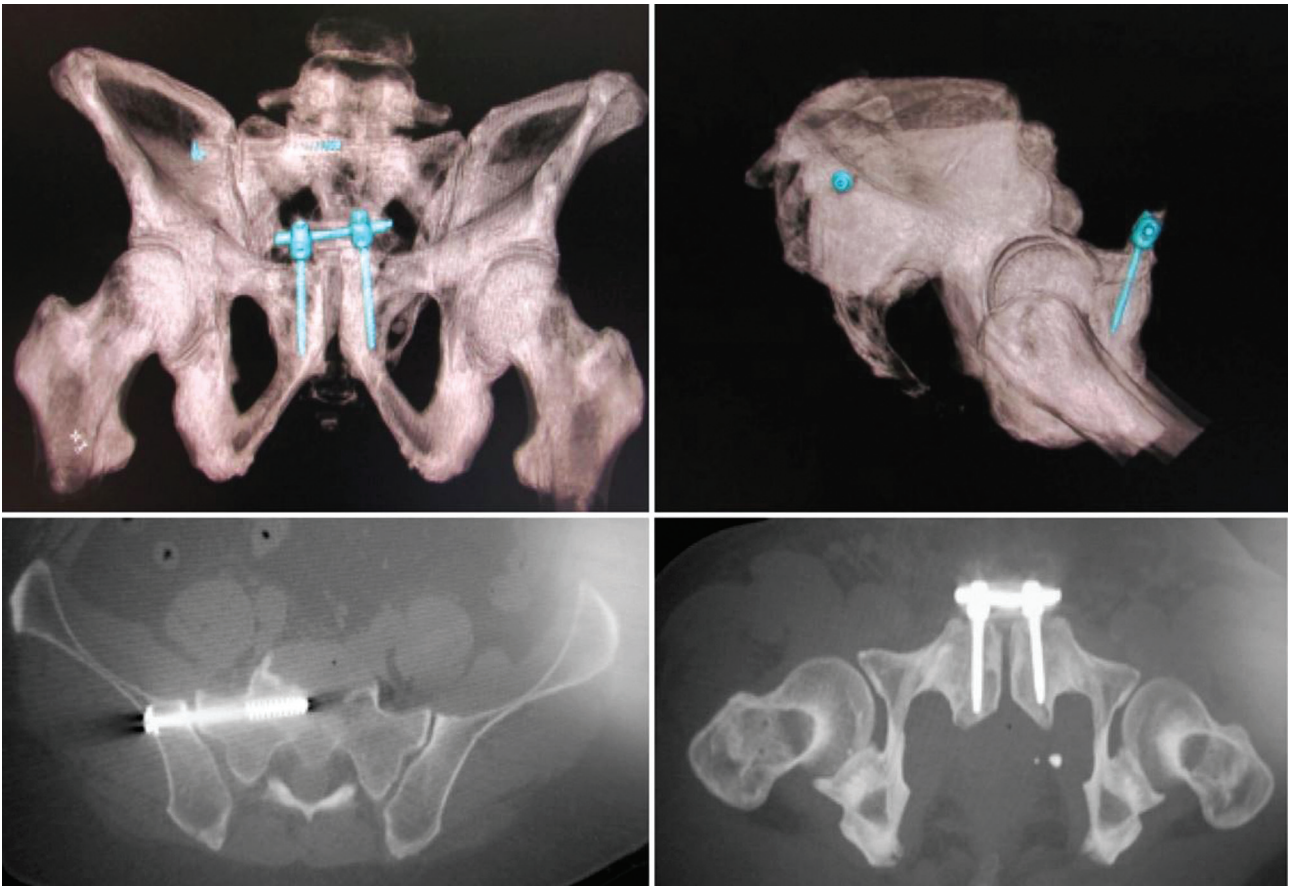


Рис. 2. СКТ таза пациента Г. после операции

ОБСУЖДЕНИЕ

Восстановление витальных функций организма и лечение осложнений может занимать достаточно длительный промежуток времени после получения политравмы (до 3–4 нед. и более). Оперативные вмешательства в области таза, проводимые в такие сроки, являются травматичными, сопровождаются большой кровопотерей и высоким риском ятрогенных повреждений [6, 22].

Для фиксации лонного сочленения были предложены различные способы оперативного лечения. Аппарат внешней фиксации, используемый в остром периоде травмы, применим и как способ окончательной стабилизации поврежденного лонного сочленения. Операция малотравматична, занимает относительно немного времени, позволяет в ранние сроки активизировать пациента. Преимуществом такой фиксации лонного сочленения является ранняя активизация пострадавших и относительно хорошая переносимость. Применение АВФ показано до четырех недель после травмы и при наличии воспалительных изменений в области лонного симфиза и неорганизовавшейся гематомы. Однако известны и недостатки АВФ: необходимость постоянного ухода за ранами в области стояния элементов АВФ, повышенный риск нагноения тканей вокруг стержневых ран, расшатывание и миграция чрескостных элементов, неспособность АВФ удерживать репозицию задних структур таза, что может приводить к раннему вторичному смещению отломков [2, 4].

Самая распространенная методика, представляемая как «золотой стандарт», — это открытая наkostная фиксация лонного сочленения пластинами. Некоторые авторы относят ее к малотравматичным вмешательствам и считают возможной фиксацию лонного сочленения пластиной одновременно с лапаротомией или тампонадой таза при оказании неотложной помощи [14, 23]. Для этого чаще используются пластины DCP, LC-DCP или специальные реконструктивные пластины. Установку пластин осуществляют сверху и/или спереди относительно лонного симфиза. При этом способе фиксации удастся достичь абсолютной (статической) стабильности лонного симфиза, что может провоцировать в послеоперационном периоде усталостный перелом пластины (> 23–30 % клинических наблюдений), так как нарушается физиологическая подвижность в сочленении после активизации пациента, а расшатывание и последующая поломка имплантата приводят к формированию повторного диастаза в лонном сочленении, стойкому болевому синдрому и выраженному нарушению статодинамической функции [24, 25].

Д.А. Ананьин описывает применение оригинальной динамической тазовой пластины, устанавливаемой на лонное сочленение, которая, по его мнению, воссоздает физиологическую микроподвижность в сочленении и обеспечивает динамическую, но стабильную фиксацию тазового кольца [26].

Во всех этих методах операционные доступы предполагают рассечение прямых мышц живота, что увеличивает риск повреждения мочевого пузыря и магистральных сосудов [14, 22]. Применение одной пластины по верхнему краю симфиза при ротационно-нестабильных повреждениях таза оказывается достаточным для стабилизации тазового кольца. При вертикально-нестабильных повреждениях таза применяют две пластины по верхней и передней поверхности симфиза с одномоментной установкой двух подвздошно-крестцовых винтов на стороне полного разрыва крестцово-подвздошного сочленения [27]. P. Simonian показывает одинаково высокую эффективность стабилизации таза как при установке пластины сверху симфиза на двух и четырех винтах толщиной 4,5 мм и 3,5 мм, так и при установке двух пластин на шести винтах. Также биомеханические стендовые исследования этого автора показывают, что самой прочной конструкцией для стабилизации разрыва лонного сочленения является двухплоскостная фиксация лонного сочленения передней и верхней пластинами или специально разработанной бипланарной пластиной «box plate» [28].

L. Chen оценил технику фиксации симфиза, которая включала использование методики Endobutton. После среднего 23-месячного наблюдения (диапазон от 18 до 26 месяцев) 15 пациентов достигли отличных результатов по шкале S.A. Majeed с отсутствием миграции имплантатов [10].

Недавно предложен инновационный способ щадящей хирургии разрывов лонного сочленения с применением новых типов фиксаторов Tight Rope для динамической чрескожной стабилизации с достаточно успешными результатами. Сам фиксатор состоит из двух металлических пуговиц (круглой и продолговатой), соединенных непрерывной самозатягивающейся петлей из волокнистой нити, позволяющей проводить затягивание вручную, без завязывания узлом, и интраоперационно регулировать степень кортикальной фиксации. Этот динамический имплантат при хирургическом лечении разрывов лонного сочленения обеспечивает полужесткую и прочную фиксацию, допускающую незначительные физиологические движения, что уменьшает нагрузку на сам фиксатор, при этом является успешным альтернативным способом лечения травматического диастаза лобкового сочленения II типа, приводя к аналогичным с чрескожной фиксацией канюлированными винтами результатам. Дополнительная внешняя фиксация тазового кольца обеспечивает большую стабильность на раннем послеоперационном этапе. Лучшим показанием к применению фиксаторов Tight Rope считаются повреждения таза по типу APC-II (типа B1 или B2 в соответствии с принятой классификацией M. Tile). Авторы утверждают, что преимуществами четырехточечной системы фиксации являются малоинвазивная техника установки, меньшая интраоперационная кровопотеря, минимальный риск осложнений и быстрое выздоровление [9]. Надежная динамическая накостная фиксация уменьшает нагрузку на лобковый симфиз во время заживления его связок и микродвижения, что снижает риск отказа имплантата. В удалении имплантата нет необходимости. Недостатками являются сложная процедура и относительно более длительное время операции. Противопоказаниями к использованию способа являются открытые травмы таза, комбинированные переломы вертлужной впадины, переломы костей переднего полукольца таза в сочетании с разрывами лонного сочленения и медицинские противопоказания. Последующие клинический опыт и биомеханические исследования, касающиеся данного способа фиксации динамическим имплантатом, могут облегчить его использование в более сложных клинических случаях, таких как травмы таза по типу APC-III, когда требуется одновременно проводить и стабилизацию поврежденных задних структур тазового кольца.

Имеются данные о чрескожной фиксации лонного сочленения канюлированными винтами. Можно говорить о нескольких вариантах введения канюлированных винтов, когда винты располагаются параллельно друг другу (горизонтально или косо) и когда перекрещиваются между собой. К.Н. Yu при исследовании клинических и биомеханических исходов сравнивал эту оперативную технику с фиксацией лонного сочленения пластиной. Автор отметил существенно более короткое время операции (26 против 69 мин.) и меньшую интраоперационную кровопотерю (10 против 172 мл) в группе, где проводили фиксацию винтами. В ходе среднего 29-месячного наблюдения (диапазон от 18 до 54 месяцев) при измерении диастаза лонного симфиза в каждой группе он обнаружил аналогичное расстояние между группами фиксации винтами и пластинами (4,8 против 4,5 мм) [27]. Аналогичным образом L. Chen провел ретроспективное сравнительное исследование результатов лечения пострадавших, которым выполнял фиксацию лонного симфиза канюлированными винтами или пластинами. Он обнаружил существенно меньшую кровопотерю в группе фиксации винтами (18 против 157 мл). Однако по результатам наблюдения в течение 21 мес. (диапазон от 18 до 26) отмечена небольшая разница в частоте таких осложнений как ревизионная операция (2 против 6), инфекции (2 против 8) или неправильное сращение симфиза (8 против 14) [29]. В биомеханическом исследовании P. Cano-Luis сделан вывод о достаточно хорошей жесткости при фиксации разрыва лонного сочленения двумя канюлированными

винтами [30]. Авторы этих исследований пришли к выводу, что чрескожная фиксация может достичь аналогичных результатов с фиксацией пластиной при сокращении времени операции и кровопотери. Таким образом, малоинвазивная фиксация лонного сочленения канюлированными винтами позволяет уменьшить риск интраоперационных осложнений, но достоверно не улучшает результаты лечения по сравнению с фиксацией пластинами.

Известны способы фиксации лонного сочленения с применением металлических гибких имплантов с термометаллической памятью из NiTi (никелид титана). Авторы указывают, что их применение позволяет достичь хорошей фиксации и одновременно микроподвижности в области лонного сочленения [31]. Также известен способ фиксации разрывов лонного симфиза наборами П-образных скоб [11]. Однако этот способ требует травматичного доступа и сохраняет риск повреждения мочевого пузыря. Предложенные металлоконструкции не изготавливаются в промышленных масштабах.

Остеосинтез лонного сочленения различными видами серкляжей из проволоки в современных условиях применяется редко ввиду травматичных доступов и нестабильной фиксации, он имеет, скорее, историческое значение. Однако, согласно биомеханическому исследованию, проведенному E. Varga с применением проволочного серкляжа, фиксированного на два спонгиозных винта, оптимальный диаметр которых составляет 6,5 мм с полной нарезкой, введенных в ветви лонных костей парасимфизально, можно достигнуть фиксации, которая, являясь функционально стабильной, предотвращает синостозирование лонного симфиза [32].

Что касается оперативных доступов для фиксации лонного сочленения, то стоит упомянуть классический доступ по Пфанненштилю, который применяют чаще всего, и повздошно-паховый доступ в модификации Стоппа, считающийся менее травматичным [14, 34]. В качестве одного из малотравматичных и достаточно известных доступов к лонному сочленению предложен вертикальный срединный доступ, который позволяет хорошо обнажить лонное сочленение с сочленяющимися костями, что обеспечивает достаточные условия для наложения пластины или установки транспедикулярных винтов [34]. При этом не происходит пересечение апоневроза прямых мышц живота, и существует меньший риск повреждения сосудов. Вертикальный срединный доступ следует рассмотреть как альтернативу классическим доступам для использования малоинвазивной методики фиксации транспедикулярными винтами.

Все вышеуказанные способы фиксации лонного сочленения предполагают классические открытые оперативные доступы к лонному симфизу с присущими им недостатками [6, 22, 35]. Не так давно был описан вариант фиксации лонного сочленения с эндоскопической поддержкой [36].

На данный момент проведенное научное исследование представлено небольшим числом клинических наблюдений, что не позволяет провести полноценный статистический анализ эффективности апробированного способа малоинвазивной фиксации разрывов лонного сочленения, т.к. в полной мере не отражена достоверность конечных результатов. Для получения более полных клинических данных требуется дальнейшее изучение с большим объемом выборки и более длительным периодом наблюдения, проведение сравнительного анализа использования других способов фиксации лонного сочленения, также необходимы биомеханические исследования этой методики.

Однако успешность применения рассматриваемого способа в нашей клинической практике при различных травмах тазового кольца, в том числе и у пострадавших с вертикально-нестабильными повреждениями, множественной травмой таза (открытая травма с разрывом промежности, обширными повреждениями мягких тканей по типу Морель – Лавалле, разрывы тазовых органов), позволяет рекомендовать его изучение в рамках хирургии повреждений тазового кольца и переломов вертлужной впадины как междисциплинарной патологии на стыке различных специальностей. Будущие исследования должны быть сосредоточены на долгосрочных результатах и эффективности новых инновационных методов фиксации разрывов лонного сочленения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предложенная минимально инвазивная фиксация лонного сочленения транспедикулярной системой соответствует принципам современного малоинвазивного остеосинтеза таза и с учетом малотравматичности может быть применена в остром периоде травматической болезни, обеспечивая при этом возможность ранней реабилитации.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

Этическая экспертиза. Исследование было освобождено от необходимости оценки этическим комитетом.

Информированное согласие. Пострадавший, чьи данные взяты для клинического примера, изложил письменное согласие на опубликование его случая.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Дятлов М.М. *Неотложная и срочная помощь при тяжелых травмах таза: Руководство для врачей*. Гомель: ИММС НАН Беларуси; 2003:293.
2. Гуманенко Е.К. *Военно-полевая хирургия: национальное руководство*. М. ГЭОТАР-Медиа, 2009:136-155.
3. Антониади Ю.В. *Оперативное лечение повреждений таза с разрывом лонного сочленения (экспериментально-клиническое исследование): автореф. дис. ... канд. мед. наук*. Курган; 2002:23. Доступно по: <https://medical-diss.com/docreader/290118/a/#?page=1>. Ссылка активна на 08.02.2024.
4. Рзаев РС. *Лечение повреждений таза с нарушением целостности его кольца у пострадавших с шокогенной травмой: автореф. дис. ... канд. мед. наук*. Санкт-Петербург; 2010:30. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/lechenie-povrezhdenii-taza-s-narusheniem-tselostnosti-ego-koltsa-u-postradavshikh-s-shokogen>. Ссылка активна на 08.02.2024.
5. Hildebrand F, Giannoudis P, Krettek C, Pape HC. Damage control: extremities. *Injury*. 2004;35(7):678-689. doi: 10.1016/j.injury.2004.03.004
6. Pierce TP, Issa K, Callaghan JJ, Wright C. Traumatic Diastasis of the Pubic Symphysis-A Review of Fixation Method Outcomes. *Surg Technol Int*. 2016;29:265-269.
7. Жиленко В.Ю., Свешников П.Г., Есин Д.Ю. и др. Опыт восстановления целостности тазового кольца у пациента с сочетанной травмой. *Современные проблемы науки и образования*. 2017;(5). Доступно по: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=27112>. Ссылка активна на 08.02.2024.
8. Круглыхин И.В. *Минимально-инвазивный остеосинтез фрагментов тазового кольца у пациентов с политравмой: автореф. дис. ... канд. мед. наук*. Новосибирск; 2019:23. Доступно по: [https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key\[\]=100038757&version=100](https://vak.minobrnauki.gov.ru/az/server/php/filer_new.php?table=att_case&fld=autoref&key[]=100038757&version=100). Ссылка активна на 08.02.2024.
9. Feng Y, Hong J, Guo X, et al. Percutaneous fixation of traumatic pubic symphysis diastasis using a TightRope and external fixator versus using a cannulated screw. *J Orthop Surg Res*. 2016;11(1):62. doi: 10.1186/s13018-016-0397-7
10. Chen L, Ouyang Y, Huang G, et al. Endobutton technique for dynamic fixation of traumatic symphysis pubis disruption. *Acta Orthop Belg*. 2013;79(1):54-59.
11. Лазарев А.Ф., Костенко Ю.С. *Способ фиксации при разрывах лонного сочленения*. Патент РФ на изобретение № 2352278. 20.04.2009. Бюл. № 11. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 08.02.2024.
12. *Advanced trauma life support: student course manual*. Am. Coll. of Surgeons, com. on trauma. Chicago: 2018:82-101.
13. Wright RD Jr. Indications for Open Reduction Internal Fixation of Anterior Pelvic Ring Disruptions. *J Orthop Trauma*. 2018;32 Suppl 6:S18-S23. doi: 10.1097/BOT.0000000000001252
14. Marecek GS, Sclaro JA. Anterior Pelvic Ring: Introduction to Evaluation and Management. *J Orthop Trauma*. 2018;32(Suppl 9):S1-S3. doi: 10.1097/BOT.0000000000001249
15. Tile M. Acute Pelvic Fractures: I. Causation and Classification. *J Am Acad Orthop Surg*. 1996;4(3):143-151. doi: 10.5435/00124635-199605000-00004
16. Пирадов М.А., Супонева Н.А., Рябинкина Ю.В. и др. Шкала комы Глазго (Glasgow Coma Scale, GCS): лингвокультурная адаптация русскоязычной версии. *Журнал им. Н.В. Склифосовского Неотложная медицинская помощь*. 2021;10(1):91-99. doi: 10.23934/2223-9022-2021-10-1-91-99
17. Burgess A. Invited commentary: Young-Burgess classification of pelvic ring fractures: does it predict mortality, transfusion requirements, and non-orthopaedic injuries? *J Orthop Trauma*. 2010;24(10):609. doi: 10.1097/01.bot.0000389016.21888.f4
18. Кажанов И.В. *Диагностика и хирургическое лечение сочетанных повреждений таза в условиях травматологического центра первого уровня: автореф. дис. ... докт. мед. наук*. Санкт-Петербург; 2022:42. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/diagnostika-i-khirurgicheskoe-lechenie-sochetannykh-povrezhdenii-taza-v-usloviyakh-travmatol>. Ссылка активна на 08.02.2024.
19. Кажанов И.В., Мануковский В.А., Дулаев А.К. и др. *Способ фиксации разрывов лонного сочленения*. Патент РФ на изобретение № 2686045. 23.04.2019. Бюл. № 12. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 08.02.2024.
20. Majeed SA. Grading the outcome of pelvic fractures. *J Bone Joint Surg Br*. 1989;71(2):304-306. doi: 10.1302/0301-620X.71B2.2925751
21. Ware JE Jr, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care*. 1992;30(6):473-483.
22. Гудушаури Я.Г. *Оперативное лечение осложненных переломов костей таза: автореф. дис. ... докт. мед. наук*. Москва; 2016:35. Доступно по: <http://www.dslib.net/travmatologia/operativnoe-lechenie-oslozhnennykh-perelomov-kostej-taza.html>. Ссылка активна на 08.02.2024.
23. Stahel PF, Moore EE, Burlew CC, et al. Preperitoneal Pelvic Packing Is Not Associated With an Increased Risk of Surgical Site Infections After Internal Anterior Pelvic Ring Fixation. *J Orthop Trauma*. 2019;33(12):601-607. doi: 10.1097/BOT.0000000000001583
24. Herren C, Dienstknecht T, Siewe J, et al. Operative treatment of symphysis pubis rupture. *Unfallchirurg*. 2016;119(5):447-449. (In German) doi: 10.1007/s00113-016-0165-5
25. Putnis SE, Pearce R, Wali UJ, et al. Open reduction and internal fixation of a traumatic diastasis of the pubic symphysis: one-year radiological and functional outcomes. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(1):78-84. doi: 10.1302/0301-620X.93B1.23941
26. Ананьин ДА, Сергеев СВ, Минасов БШ. Реконструкция лонного сочленения при переломах таза типа В. *Медицинский вестник Башкортостана*. 2015;10(5):19-23.
27. Yu KH, Hong JJ, Guo XS, Zhou DS. Comparison of reconstruction plate screw fixation and percutaneous cannulated screw fixation in treatment of Tile B1 type pubic symphysis diastasis: a finite element analysis and 10-year clinical experience. *J Orthop Surg Res*. 2015;10:151. doi: 10.1186/s13018-015-0272-y
28. Simonian PT, Schwappach JR, Routt ML Jr, et al. Evaluation of new plate designs for symphysis pubis internal fixation. *J Trauma*. 1996;41(3):498-502. doi: 10.1097/00005373-199609000-00019

29. Chen L, Zhang G, Song D, et al. A comparison of percutaneous reduction and screw fixation versus open reduction and plate fixation of traumatic symphysis pubis diastasis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(2):265-270. doi: 10.1007/s00402-011-1414-2
30. Cano-Luis P, Giráldez-Sánchez MA, Martínez-Reina J, et al. Biomechanical analysis of a new minimally invasive system for osteosynthesis of pubis symphysis disruption. *Injury.* 2012;43 Suppl 2:S20- S207. doi: 10.1016/S0020-1383(13)70175-X
31. Корнев В.П. *Остеосинтез лонного сочленения скобами с термомеханической памятью (экспериментальное и клиническое исследование): автореф. дис. ... канд. мед. наук.* Кемерово;1997:23. Доступно по: <https://medical-diss.com/medicina/osteosintez-lonnogo-sochleneniya-skobami-s-termomehanicheskoy-pamyatyu>. Ссылка активна на 08.02.2024.
32. Varga E, Hearn T, Powell J, Tile M. Effects of method of internal fixation of symphyseal disruptions on stability of the pelvic ring. *Injury.* 1995;26(2):75-80. doi: 10.1016/0020-1383(95)92180-i
33. Giannoudis PV, Chalidis BE, Roberts CS. Internal fixation of traumatic diastasis of pubic symphysis: is plate removal essential? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2008;128(3):325-331. doi: 10.1007/s00402-007-0429-1
34. Adams MR, Scolaro JA, Routt ML Jr. The pubic midline exposure for symphyseal open reduction and plate fixation. *J Orthop Traumatol.* 2014;15(3):195-199. doi: 10.1007/s10195-014-0296-9
35. Sagi HC, Papp S. Comparative radiographic and clinical outcome of two-hole and multi-hole symphyseal plating. *J Orthop Trauma.* 2008;22(6):373-378. doi: 10.1097/BOT.0b013e31817e49ee
36. Rubel IF, Seligson D, Mudd L, Willinghurst C. Endoscopy for anterior pelvis fixation. *J Orthop Trauma.* 2002;16(7):507-514. doi: 10.1097/00005131-200208000-00010

Статья поступила 16.11.2023; одобрена после рецензирования 07.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 16.11.2023; approved after reviewing 07.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Артем Викторович Петров — врач травматолог-ортопед, seductor@yandex.ru;

Игорь Владимирович Кажанов — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, доцент, carta400@rambler.ru;

Вадим Измайлович Бадалов — доктор медицинских наук, профессор, начальник кафедры, vadim_badalov@mail.ru;

Сергей Иванович Микитюк — кандидат медицинских наук, старший преподаватель, начальник отделения, smikityuk@yandex.ru;

Роман Артурович Преснов — врач травматолог-ортопед, gingel_presnov@list.ru;

Вадим Анатольевич Мануковский — доктор медицинских наук, профессор, директор, sekr@emergency.spb.ru;

Ярослав Васильевич Гавришук — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, gavyaros@mail.ru;

Евгений Александрович Колчанов — заведующий отделением, dr_kolchanov@mail.ru.

Information about the authors:

Artem V. Petrov — traumatologist-orthopedist, seductor@yandex.ru;

Igor V. Kazhanov — Doctor of Medical Sciences, leading researcher, Associate Professor, carta400@rambler.ru;

Vadim I. Badalov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, vadim_badalov@mail.ru;

Sergey I. Mikityuk — Candidate of Medical Sciences, senior lecturer, head of the department, smikityuk@yandex.ru;

Roman A. Presnov — traumatologist-orthopedist, gingel_presnov@list.ru;

Vadim A. Manukovsky — Doctor of Medical Sciences, Professor, Director, sekr@emergency.spb.ru;

Yaroslav V. Gavrishuk — Candidate of Medical Sciences, head of the department, gavyaros@mail.ru;

Evgeniy A. Kolchanov — head of the surgical department, dr_kolchanov@mail.ru.

Вклад авторов

Петров А.В. — методология, исследование, обработка данных, написание – первоначальный вариант, написание – рецензирование и редактирование, визуализация.

Кажанов И.В. — методология, валидация, формальный анализ, исследование, обработка данных, контроль, управление проектом.

Бадалов В.И. — концептуализация, контроль.

Микитюк С.И. — методология, исследование, написание-рецензирование и редактирование, контроль.

Мануковский В.А. — концептуализация, контроль.

Преснов Р.А., Гавришук Я.В., Колчанов Е.А. — проведение исследования.

Научная статья

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-406-416>

УДК [616.718.41-002.4-08:602.68]-092.9



Влияние моноклонального блокатора IL-6 на течение асептического некроза головки бедренной кости в эксперименте (пилотное исследование)

Н.А. Шабалдин^{1✉}, А.В. Синицкая², Л.Н. Игишева^{1,2}, Л.А. Богданов², А.В. Шабалдин^{1,2}

¹ Кемеровский государственный медицинский университет, Кемерово, Россия

² Научно-исследовательский институт комплексных проблем сердечно-сосудистых заболеваний, Кемерово, Россия

Автор, ответственный за переписку: Никита Андреевич Шабалдин, shabaldin.nk@yandex.ru

Аннотация

Введение. Патогенетическое обоснование лечения асептического некроза головки бедренной кости в настоящее время отсутствует. Одним из наиболее перспективных направлений возможной таргетной терапии является применение генно-инженерных препаратов, в том числе моноклональных блокаторов провоспалительных цитокинов, направленных на ингибирование воспаления и опосредованное этим снижение активности остеодеструкции.

Цель работы — оценить предварительные результаты применения моноклонального блокатора IL-6 при течении асептического некроза головки бедренной кости в эксперименте.

Материалы и методы. Хирургическая индукция асептического некроза головки бедренной кости выполнена 18 самцам крыс линии Вистар. Животные разделены на две группы по 9 особей: первая группа не получала лечения, вторая получала терапию моноклональным блокатором рецептора IL-6, начиная со второй недели эксперимента, по одной инъекции один раз в две недели. Все животные выведены из эксперимента на 4, 6 и 8 неделях после индукции асептического некроза, по три крысы из каждой группы. Суммарная РНК выделена из головки бедренной кости со стороны асептического некроза и условно-здоровой стороны в качестве контроля. Проведено исследование экспрессии генов регуляторных белков остеогенеза методом кПЦР. Для изучения особенностей остеодеструктивных процессов всем животным проведено гистологическое исследование препаратов головок бедренных костей.

Результаты. Гистологические препараты головок бедренных костей животных второй группы характеризовались менее выраженными остеодеструктивными, хондродеструктивными процессами по сравнению с животными, не получавшими терапию. мРНК-профиль крыс второй группы отобразил усиление экспрессии генов, кодирующих белки, участвующих в остеорепарации на всех этапах эксперимента. При этом активность генов, кодирующих белки провоспалительных цитокинов, регуляторных молекул остеокластогенеза, была снижена относительно первой группы.

Обсуждение. Полученные данные свидетельствуют о важной роли воспаления в регуляции остеодеструкции. Ингибирование биологического действия IL-6 способствовало угнетению экспрессии генов остеокластогенеза, усилению активности генов метаболизма костной ткани и обуславливало снижение интенсивности остеодеструкции и активацию остеорепарации.

Заключение. Предварительные результаты применения моноклонального блокатора провоспалительного цитокина IL-6 свидетельствуют об ингибировании остеодеструктивных, усилении остеорепаративных процессов за счет коррекции экспрессии генов костного метаболизма при развитии асептического некроза головки бедренной кости у крыс в модельном эксперименте.

Ключевые слова: асептический некроз, генно-инженерные препараты, остеодеструкция, моноклональный блокатор IL-6, остеобластогенез, остеокластогенез, остеоиндукция, противовоспалительная терапия

Для цитирования: Шабалдин Н.А., Синицкая А.В., Игишева Л.Н., Богданов Л.А., Шабалдин А.В. Влияние моноклонального блокатора IL-6 на течение асептического некроза головки бедренной кости в эксперименте (пилотное исследование). *Гений ортопедии*. 2024;30(3):406-416. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-406-416. EDN: LBBQEC.



The effect of the IL-6 monoclonal blocker on the course of aseptic femoral head necrosis in the experiment (pilot study)

N.A. Shabaldin^{1✉}, A.V. Sinitskaya², L.N. Igisheva^{1,2}, L.A. Bogdanov², A.V. Shabaldin^{1,2}

¹ Kemerovo State Medical University, Kemerovo, Russian Federation

² Research Institute for Complex Issues of Cardiovascular Diseases, Kemerovo, Russian Federation

Corresponding author: Nikita A. Shabaldin, shabaldin.nk@yandex.ru

Abstract

Background There is currently no pathogenetically based treatment for aseptic necrosis of the femoral head. One of the most promising areas of possible targeted therapy is the use of genetically engineered drugs, including monoclonal blockers of proinflammatory cytokines, aimed at inhibiting inflammation and indirectly reducing the activity of osteodestruction. The aim of the work is to evaluate the effectiveness of the use of the IL-6 monoclonal blocker in the course of aseptic necrosis of the femoral head in an experiment.

Purpose Evaluate the preliminary results of the use of the IL-6 monoclonal blocker in the course of aseptic necrosis of the femoral head in an experiment.

Materials and methods Surgical induction of aseptic necrosis of the femoral head was performed in 18 male Wistar rats. The animals were divided into two groups of 9 individuals each. The first group did not receive any treatment, the second received therapy with a monoclonal IL-6 receptor blocker, starting from the second week of the experiment, one injection once every two weeks. All animals were removed from the experiment at 4, 6 and 8 weeks after the induction of aseptic necrosis, 3 rats from each group at a time. Total RNA was isolated from the femoral head on the aseptic necrosis side and the conditionally healthy side as a control. The expression of genes of regulatory proteins of osteogenesis was studied by PCR. To study the features of osteodestructive processes, histological examination of femoral head preparations in all animals was conducted.

Results Histological preparations of femoral heads of the second group animals were characterized by less pronounced osteodestructive, chondrodestructive processes compared to the animals that did not receive therapy. The mRNA profile of the rats of the second group displayed an increase in the expression of genes encoding proteins involved in osteoreparation at all stages of the experiment. At the same time, the activity of genes encoding proteins of proinflammatory cytokines, regulatory molecules of osteoclastogenesis was reduced relative to the first group.

Discussion The data obtained indicate an important role of inflammation in the regulation of osteodestruction. Inhibition of the biological action of IL-6 contributed to inhibition of the expression of osteoclastogenesis genes, increased activity of bone metabolism genes, and caused a decrease in the intensity of osteodestruction and activation of osteoreparation.

Conclusion Preliminary results of the use of a monoclonal blocker of the proinflammatory cytokine IL-6 indicate the inhibition of osteodestructive and strengthening of osteoreparative processes due to the correction of the expression of bone metabolism genes during the progression of aseptic necrosis of the femoral head in rats in an experimental model.

Keywords: aseptic necrosis, genetically engineered drugs, osteodestruction, IL-6 monoclonal blocker, osteoblastogenesis, osteoclastogenesis, osteoinduction, anti-inflammatory therapy

For citation: Shabaldin NA, Sinitskaya AV, Igisheva LN, Bogdanov LA, Shabaldin AV. The effect of the IL-6 monoclonal blocker on the course of aseptic femoral head necrosis in the experiment (pilot study). *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):406-416. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-406-416

ВВЕДЕНИЕ

Асептический некроз головки бедренной кости представляет собой развивающийся по стадиям патологический процесс, при котором остеорезорбция на ранних стадиях сменяется активацией остеопарации на более поздних [1, 2, 3]. Результатом костной деструкции может явиться развитие деформирующего коксартроза, грубой дисконгруэнтности в тазобедренном суставе с необходимостью выполнения эндопротезирования. Патогенез аваскулярного некроза головки бедренной кости до конца не известен, однако в последнее время отмечается тенденция к росту заинтересованности в изучении нарушений регуляции костного гомеостаза на молекулярно-клеточном уровне [4, 5]. При этом наиболее часто применимым вариантом консервативной терапии при асептическом некрозе головки бедренной кости является физиотерапия, направленная на улучшение кровоснабжения проксимального отдела бедра, усиление оссификации, а также соблюдение ортопедического режима [6]. Данное лечение не может рассматриваться в качестве таргетного и в ряде случаев не обладает значимой эффективностью. Для разработки новых патогенетически обоснованных стратегий лечения нарушений остеогенеза необходимо детальное понимание патофизиологических механизмов изменений метаболизма костной ткани и возможных путей влияния на них.

Баланс ремоделирования костной ткани поддерживается за счет функционирования большого количества внутриклеточных, межклеточных сигнальных путей, процессов фосфорилирования, синтеза регуляторных молекул [7, 8]. Основным сигнальным путем, направленным на дифференцировку и активацию зрелых остеокластов, является система рецептора активатора ядерного фактора каппа β , его лиганда и остеопротегерина (RANK-RANKL-OPG) [9, 10]. Взаимодействие мембранного рецептора активатора ядерного фактора каппа β (RANK) с его лигандом (RANKL) приводит к транслокации ядерного фактора каппа β (NF κ B) в клеточное ядро и активации внутриклеточных путей, в результате чего индуцируется дифференцировка прогениторных клеток в зрелый остеокласт с последующей активацией. Некоторые научно-исследовательские работы указывают на одну из ведущих ролей усиления остеокластогенеза в развитие костнодеструктивных процессов при аваскулярном некрозе [11, 12].

Ряд сигнальных молекул, в том числе провоспалительные цитокины, могут иметь значение в регулировании синтеза RANKL. Доказано биологическое действие провоспалительных цитокинов, таких как IL-6, IL-1 β , TNF α , направленное на увеличение экспрессии RANKL, активацию остеокластогенеза и, как следствие, усиление остеолизиса [13, 14, 15]. Кроме того, обнаружена роль провоспалительных цитокинов в апоптозе и аутофагии остеобластов посредством сигнального пути митоген-активируемой протеинкиназы (MAPK) / ядерного фактора- κ B (NF- κ B) [16]. Регуляция активности остеокластов и, следовательно, воздействие на костный гомеостаз возможны посредством коррекции активности проостеокластогенных медиаторов. Так, ряд исследовательских работ обнаруживает увеличенную концентрацию провоспалительных цитокинов в синовиальной жидкости на ранних стадиях асептического некроза головки бедренной кости и рассматривают данные регуляторные молекулы в качестве возможной терапевтической цели лечения данного заболевания [17, 18].

В регулировании активности остеобластогенеза задействовано большое количество сигнальных путей: канонический и не канонический wnt (wingless) / b катенин, JAK (Janus Kinase) / STAT (Signal Transducer and Activator of Transcription), MAPK (протеинкиназа, активируемая митогенами) [19, 20, 21]. Наряду с антирезорбтивной терапией возможно применение анаболической терапии, целью которой является усиление остеоиндукции при развитии асептического некроза головки бедренной кости. Ранее выполненное исследование экспрессии генов, кодирующих белки провоспалительных цитокинов, молекул, участвующих в остеокластогенезе, остеобластогенезе, белков костного матрикса у крыс после хирургической индукции асептического некроза головки бедренной кости, отобразило более раннее по времени угнетение остеогенного звена костного гомеостаза, чем усиление остеорезорбтивного [22].

Учитывая ключевое значение тканевой гипоксии на фоне гипоперфузии в развитии асептического некроза головки бедренной кости, ряд исследований связывает патогенез остеодеструктивных процессов со сверхэкспрессией индуцированного гипоксией фактора 1 α (HIF-1 α). Так, в результате модельного эксперимента на поросятах удалось обнаружить повышенную концентрацию белка HIF-1 α в головке бедренной кости при манифестации аваскулярного некроза [23]. Известно, что белок HIF-1 α играет важную роль в процессах ремоделирования и поддержания костного гомеостаза [24, 25, 26]. При этом ряд исследовательских работ обнаружил индуктивное воздействие как сверхэкспрессии гена, так и самого протеина HIF-1 α на концентрацию RANKL и, как следствие, активацию дифференцировки остеокластов из прогениторных клеток [27, 28]. Соответственно антирезорбтивная терапия, направленная на снижение интенсивности остеокластогенеза, возможна посредством коррекции активности HIF-1 α как одного из триггерных факторов развития аваскулярного некроза.

Таким образом, с целью разработки таргетной терапии, направленной на нормализацию межклеточных взаимодействий, изучаются механизмы регуляции, обуславливающие высокую активность остеокластов. Эффективная коррекция различных звеньев патогенеза остеодеструкции позволит значительно улучшить качество жизни больных с асептическим некрозом.

Цель работы — оценить предварительные результаты применения моноклонального блокатора IL-6 при течении асептического некроза головки бедренной кости в эксперименте.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен модельный эксперимент на 18 самцах крыс линии Вистар, массой (250 ± 25) г, в возрасте трех месяцев. Всем животным для индукции асептического некроза головки бедренной кости выполнены хирургические манипуляции в виде наложения плотной лигатуры из рассасывающегося шовного материала викрил вокруг шейки бедренной кости, для создания зоны гипоперфузии, а также введения в полость сустава 1,5 мл 2 % раствора реополиглюкина для увеличения внутрисуставного давления. Модель индукции асептического некроза головки бедренной кости защищена патентом Российской Федерации [29].

Затем животные разделены на две равные группы. Животные первой группы не получали лечения (группа сравнения). Животные второй группы получали инъекцию препаратом сарилумаб (кевзара), моноклональным блокатором рецептора IL-6, начиная со второй недели эксперимента, по одной инъекции один раз в две недели, из расчета 15 мг на кг тела (основная группа). Животные содержались в клетках по три особи со свободным доступом к корму и воде. Всех животных выводили из эксперимента путем декапитации на 4, 6 и 8 неделе после индукции асептического некроза, по три крысы из каждой группы. Эксперимент выполнен согласно «Конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментальных и других научных целей», принятой Советом Европы (Strasbourg, Франция, 1986), и Директивой Совета 86/609/ ЕЕС от 24.11.1986 «По согласованию законов, правил и административных распоряжений стран участниц в отношении защиты животных, используемых в экспериментальных и научных целях» на базе Кемеровского ГМУ и НИИ КПССЗ (Кемерово).

После выведения животных из эксперимента выполняли экстирпацию бедренных костей, как со стороны манифестации асептического некроза, так и с условно-здоровой в качестве сравнения. Проксимальный эпифиз отделяли от бедренной кости и разделяли на две равные части. Часть головки бедренной кости использовали для гистологического исследования. Препарат подготавливали стандартным бескислотным методом с использованием солей ЭДТА и окрашивали гематоксилином и эозином. Для оценки морфометрических параметров использовалась программное обеспечение ImageJ, позволяющее определить окрашенные костные балки в качестве пиксельного значения, что дало возможность провести количественную оценку морфометрических показателей.

Часть головки бедренной кости, как пораженной асептическим некрозом, так и здоровой, использовали для выделения суммарной РНК набором RNeasy MicroKit (QIAGEN, Германия) согласно протоколу производителя. Качество и количество выделенной РНК определяли на спектрофотометре Qubit 4 (Invitrogen, США) путем оценки индекса RIQ (RNA Integrity and Quality) с использованием набора реагентов Qubit RNA IQ Assay Kit (Invitrogen, США).

Уровень экспрессии генов определяли методом количественной полимеразной реакции с обратной транскрипцией, используя набор High-Capacity cDNA Reverse Transcription Kit (4368814, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA). Праймеры синтезированы на приборе ABI 3900 high-throughput DNA synthesiser (Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, USA) компанией Евроген (Москва, Россия). Результаты кПЦР нормировали с помощью трех референсных генов *actb*, *tbp*, *b2m* в соответствии с имеющимися рекомендациями. Экспрессию изучаемых генов рассчитывали по методу $2^{-\Delta\Delta Ct}$. Исследовали экспрессию генов *il4*, *il6*, *il1b*, *tnfa*, *tgfb*, *sp7*, *runx2*, *opn/spp1*, *bmp2*, *bglap*, *rankl*, *alpl*, *hif1a*.

Статистическую обработку полученных результатов проводили в пакетах программ Statistica for WINDOWS фирмы StatSoftInc (США), версия 10.0 по правилам вариационной статистики. В исследовании использованы крысы линии Вистар, содержащиеся в одинаковых оптимальных условиях, поэтому W-теста Шапиро – Уилка показал нормальное распределение. Количественные данные представляли в виде средней и стандартной ошибки ($M \pm m$). Сравнение значений уровней метрических показателей в несвязанных выборках проводили с помощью критерия Стьюдента. Вероятность ошибки первого рода принята за 5 %, а второго уровня — за 20 %, соответственно уровень статистической значимости выявлялся при $p < 0,05$, что соответствует стандартным требованиям. В эксперименте использовали чистую линию лабораторных крыс Вистар, что обуславливало генетическую однородность изучаемых групп. Так, исследование даже малой выборки позволило выполнить статистическую обработку полученных результатов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Гистологическое исследование

Двигательная активность крыс, получавших инъекции моноклонального блокатора IL-6, восстановилась быстрее, чем в группе сравнения. Так, все крысы основной группы через 4 нед. после индукции асептического некроза были способны вставать на задние лапы, в то время как в группе сравнения лишь часть животных могла выполнить упор на тазовые конечности на 6 нед. после начала эксперимента (рис. 1).

Гистологическая картина препаратов головок бедренных костей в обеих группах подтверждала развитие хондродеструктивных и остеодеструктивных процессов. При исследовании визуализированы пустые костные лакуны, часть костной ткани замещена плотной фиброзной тканью. В зонах остеорезорбции определены активные остеокласты как гигантские многоядерные клетки. Количество остеобластов, которые определены как мононуклеарные клетки, увеличивалось в первую очередь в зонах остеосклероза. Тем не менее, характер течения аваскулярного некроза отличался. Прогрессирующая остеорезорбция от четвертой к шестой неделе отмечена у животных первой группы, при этом признаки остеорепаляции визуализированы лишь на восьмой неделе эксперимента. В то время как в группе животных, получавших препарат моноклонального блокатора IL-6, обособленные остеолитические процессы зафиксированы лишь на четвертой неделе, на шестой и восьмой неделях на фоне течения остеодеструкции визуализированы активные остеобласты, участки реваскуляризации, восстановления кости.

Через четыре недели после хирургической индукции асептического некроза у крыс, не получавших лечение, визуализировано изменение нормальной архитектоники костных балок губчатого вещества на волнообразное расположение, плотность трабекул снижена. Промежуточный слой гиалинового хряща характеризовался разреженностью, большая часть хондроцитов находилась в наружном слое. Хондроциты теряли эллипсоидную форму, выявлены признаки разрушения их ядра. В то время как у животных второй группы препараты головок бедренных костей в большей степени сохраняли нормальную архитектуру, потеря костных трабекул была ниже, чем у крыс первой группы. Расположение хондроцитов в гиалиновом хряще было более равномерное (рис. 2).

В препаратах головок бедренных костей животных первой группы через шесть недель после начала эксперимента наблюдали признаки прогрессирующей остеорезорбции, диагностировали дальнейшую потерю плотности костных балок по сравнению с препаратами через четыре недели развития асептического некроза. Количество активных остеокластов, лакун костной резорбции увеличи-



Рис. 1. Фото эксперимента: а — хирургическая индукция асептического некроза головки бедренной кости; б — осевая нагрузка на задние лапы у крыс основной группы

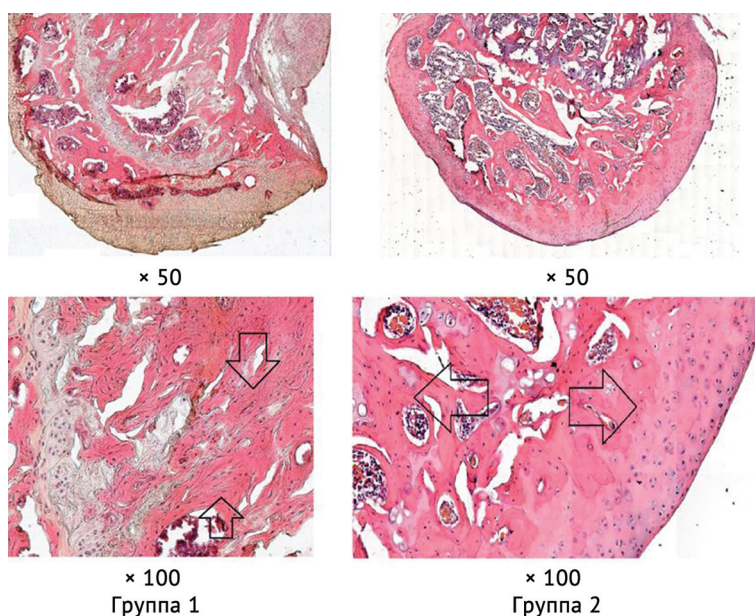


Рис. 2. Гистологическая картина через 4 нед. после манифестации асептического некроза (окраска гематоксилином и эозином). Группа 1. Стрелками указано волнообразное положение костных трабекул. Группа 2. Стрелками указано равномерное расположение хондроцитов, нормальная архитектура губчатого вещества

валось от четвертой к шестой неделе эксперимента. Часть гиалинового хряща замещалась фиброзной тканью. У животных второй группы в препаратах головок бедренных костей, наряду с признаками остеодеструкции в виде потери части костных трабекул, их волнообразном расположении, определяли активные остеобласты в зонах костного склероза. При этом потеря плотности костных балок у животных, получавших моноклональный блокатор IL-6, была ниже, чем у крыс первой группы (рис. 3).

Через 8 недель в головках бедренных костей крыс, не получавших лечения, отмечались первые признаки остеогенной направленности. Визуализировалось истончение суставного хряща, потеря части хондроцитов, костных трабекул. В то же время на фоне замещения губчатого вещества плотной фиброзной тканью определялись активные остеобласты. У крыс второй группы гиалиновый хрящ характеризовался большей сохранностью плотности хондроцитов как в наружном, так и в промежуточном слоях. Костные трабекулы имели большую плотность, определялись зоны минерализации с большим скоплением активных остеобластов, участки реваскуляризации кости. Количество остеоцитов увеличивалось по сравнению с препаратами через 6 недель после индукции асептического некроза (рис. 4).

Использование программы ImageJ позволило выполнить количественную оценку изменений плотности костных трабекул. Так, у крыс, не получавших лечение, течение асептического некроза сопровождалось прогрессирующей потерей костной плотности с четвертой по шестую неделю. При этом на восьмой неделе эксперимента отмечен незначительный рост плотности костных балок. Тенденция к снижению плотности костных трабекул от четвертой к шестой неделе и восстановлению на восьмой неделе эксперимента зафиксирована и в основной группе. Однако объем костных балок у животных, получавших противовоспалительную терапию моноклональным блокатором IL-6, был значительно больше, чем у крыс без лечения на шестой и восьмой неделях после индукции асептического некроза (табл. 1).

Таблица 1

Гистологические показатели объема костных балок (%)

Недели эксперимента	Группа сравнения	Основная группа	p-level
4	31,45 ± 1,03	33,67 ± 1,43	> 0,05
6	23,03 ± 1,23	30,78 ± 1,32	0,02*
8	24,43 ± 1,29	31,66 ± 1,36	0,03*

Примечание: * — значимое различие.

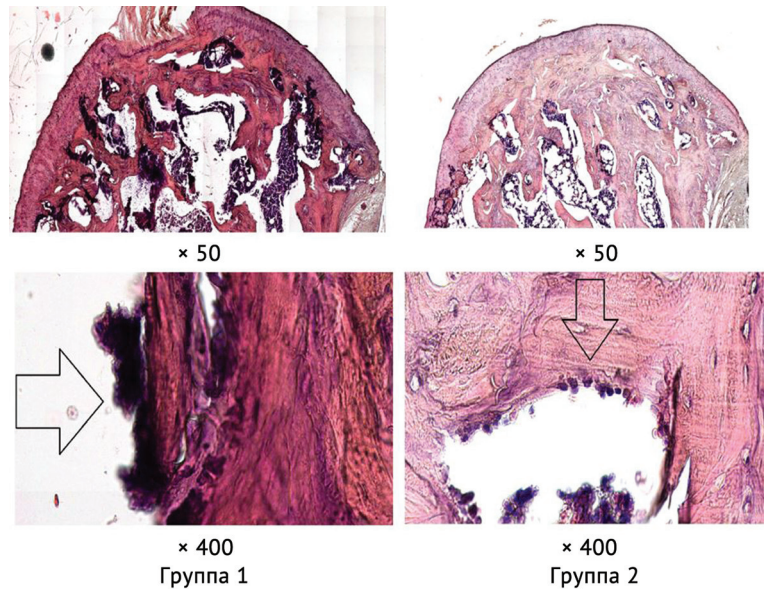


Рис. 3. Гистологическая картина через 6 нед. после манифестации асептического некроза (окраска гематоксилином и эозином). Группа 1. Стрелками указаны активные остеобласты. Группа 2. Стрелками указаны активные остеобласты

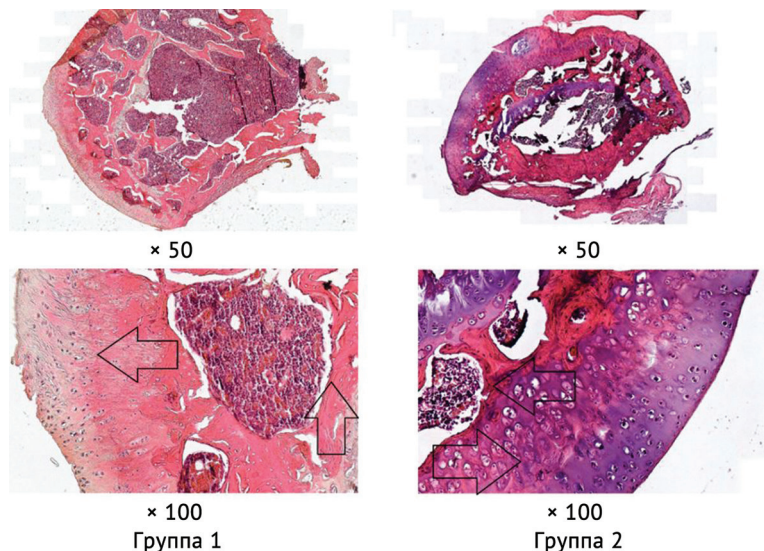


Рис. 4. Гистологическая картина через 8 нед. после манифестации асептического некроза (окраска гематоксилином и эозином). Группа 1. Стрелками указаны неравномерное распределение хондроцитов в гиалиновом хряще, активные остеобласты. Группа 2. Стрелками указаны равномерное, плотное распределение хондроцитов в гиалиновом хряще, участок минерализации кости

Изменение мРНК-профиля

Особенности функционирования сигнальных путей ремоделирования костной ткани, их регуляция на молекулярно-клеточном уровне определяли активность остеорезорбтивных и остеорепаративных процессов. Через один месяц после хирургической индукции асептического некроза наибольшие отличия получены в динамике изменения генов, кодирующих белки, связанных с остеоиндукцией. Так, у животных второй группы на фоне снижения экспрессии гена провоспалительного цитокина интерлейкина 6 (*il6*) значительно усиливалась экспрессия гена остеокальцина (*bglap*), кодируемый белок которого секретируется остеобластами и участвует в регуляции ремоделирования кости, гена щелочной фосфатазы (*alpl*), определяющего интенсивность минерализации кости, гена трансформирующего фактора роста b (*tgfb*), кодируемый белок которого усиливает ревааскуляризацию, участвует в процессах остеорепарации. Кроме того, у крыс, получавших терапию моноклональным блокатором IL-6, значительно снижалась экспрессия гена гипоксически индуцированного фактора 1α (*hif1α*). У животных первой группы значительно усиливалась экспрессия гена секретируемого фосфопротеина 1 (*spp1*). Белок, кодируемый этим геном, способствует адгезии остеокластов к костному матриксу, обладает высокой специфичностью к гидроксиапатиту и мембранным белкам остеокластов (табл. 2).

Через шесть недель после индукции асептического некроза головки бедренной кости у крыс, не получавших лечения (группа сравнения), наблюдалась сверхэкспрессия генов провоспалительных цитокинов *il6*, *tnfa*, а также гена лиганда рецептора активатора ядерного фактора κβ (*rankl*). Представленный ген кодирует один из основных белков сигнального пути RANK–RANKL–OPG, направленного на дифференцировку и активацию остеокластов. В то же время у животных, получавших терапию моноклональным блокатором IL6, была значительно подавлена экспрессия гена *il6*, *tnfa*. Интенсивность экспрессии гена *rankl* не отличалась от условно-здоровой конечности. Также у крыс основной группы фиксировалась повышенная экспрессия генов, направленных на усиление остеобластогенеза, таких как ген костного морфогенетического белка (*bmp2*), ген транскрипционного фактора (*sp7*), участвующий в дифференцировке остеобластов, оставалась повышенной экспрессия генов *tgfb*. Однако стоит отметить усиленную экспрессию гена *spp1*, которая может свидетельствовать об активности остеокластов (табл. 3).

Через два месяца после развития аваскулярного некроза головки бедренной кости у крыс первой группы сохраняется сверхэкспрессия генов *il6*, *tnfa*. Интенсивность экспрессии гена *rankl* несколько снизилась по сравнению с предыдущим исследованием, однако была более высокой, чем в условно-здоровой конечности. Усиливался синтез мРНК гена *spp1*. Тем не менее, изменение мРНК-профиля в головках бедренных костей у животных, не получавших лечение, также свидетельствует об усилении остеогенеза. Увеличивалась экспрессия генов *alpl*. У крыс второй группы сохранялось увеличение экспрессии генов, кодирующих белки, биологическое действие которых направлено на усиление остеорепарации. Оставался повышенным синтез мРНК генов *runx2*, *sp7*. Однако на этом фоне интенсивность экспрессии гена *rankl* была повышенной по сравнению с условно-здоровой конечностью (табл. 4).

Таблица 2

мРНК-профиль через 4 недели

Ген	Группа сравнения	Основная группа	p-level
<i>bmp2</i>	1,097 ± 0,219	0,831 ± 0,137	> 0,05
<i>alpl</i>	0,484 ± 0,095	2,445 ± 0,738	0,02*
<i>hif1a</i>	1,031 ± 0,563	0,342 ± 0,059	0,04*
<i>rankl</i>	1,216 ± 0,609	1,157 ± 0,583	> 0,05
<i>runx2</i>	0,934 ± 0,319	0,891 ± 0,204	> 0,05
<i>sp7</i>	1,051 ± 0,421	1,774 ± 0,538	> 0,05
<i>bglap</i>	0,684 ± 0,137	3,637 ± 0,926	0,01*
<i>spp1</i>	7,691 ± 1,823	0,624 ± 0,137	< 0,001*
<i>tgfb</i>	0,964 ± 0,371	3,092 ± 0,957	0,01*
<i>tnfa</i>	1,142 ± 0,296	0,806 ± 0,172	> 0,05
<i>il6</i>	1,125 ± 0,325	0,79 ± 0,148	0,04*

Примечание: * — значимое различие.

Таблица 3

мРНК-профиль через 6 недель

Ген	Группа сравнения	Основная группа	p-level
<i>bmp2</i>	1,613 ± 0,419	2,462 ± 0,816	0,03*
<i>alpl</i>	2,394 ± 0,751	2,936 ± 0,973	> 0,05
<i>hif1a</i>	0,768 ± 0,143	1,287 ± 0,419	> 0,05
<i>rankl</i>	11,076 ± 3,054	1,019 ± 0,326	0,001*
<i>runx2</i>	3,831 ± 0,904	0,501 ± 0,118	0,01*
<i>sp7</i>	1,998 ± 0,673	3,095 ± 1,008	0,04*
<i>bglap</i>	0,702 ± 0,179	1,043 ± 0,307	> 0,05
<i>spp1</i>	0,447 ± 0,103	2,297 ± 0,713	0,01*
<i>tgfb</i>	0,943 ± 0,319	2,331 ± 0,784	0,02*
<i>tnfa</i>	14,471 ± 4,107	1,918 ± 0,607	< 0,001*
<i>il6</i>	3,844 ± 0,916	0,054 ± 0,014	< 0,001*

Примечание: * — значимое различие.

Таблица 4

мРНК-профиль через 8 недель

Ген	Группа сравнения	Основная группа	p-level
<i>bmp2</i>	2,602 ± 0,803	2,373 ± 0,805	> 0,05
<i>alpl</i>	2,087 ± 0,657	1,457 ± 0,432	0,03*
<i>hif1a</i>	0,549 ± 0,153	0,989 ± 0,328	> 0,05
<i>rankl</i>	1,804 ± 0,604	1,884 ± 0,579	> 0,05
<i>runx2</i>	1,276 ± 0,428	2,145 ± 0,692	0,02*
<i>sp7</i>	1,491 ± 0,501	2,087 ± 0,713	0,04*
<i>bglap</i>	1,695 ± 0,539	1,868 ± 0,617	> 0,05
<i>spp1</i>	3,127 ± 1,012	0,962 ± 0,329	0,01*
<i>tgfb</i>	1,013 ± 0,326	1,464 ± 0,507	> 0,05
<i>tnfa</i>	13,262 ± 4,084	1,316 ± 0,436	< 0,001*
<i>il6</i>	15,927 ± 5,247	1,458 ± 0,519	< 0,001*

Примечание: * — значимое различие.

ОБСУЖДЕНИЕ

Изменение мРНК-профиля при развитии асептического некроза головки бедренной кости характеризуется крайней гетерогенностью, в то же время некоторые закономерности синтеза генов, кодирующих регуляторные протеины остеогенеза, могут определять течение остеодеструктивных, остеорепаративных процессов.

Развитие аваскулярного некроза у животных, не получавших терапии, по данным гистологического исследования сопровождалось прогениторным течением остеорезорбтивных, хондродеструктивных процессов вплоть до 8 недели после создания зоны гипоперфузии головки бедренной кости. Только через восемь недель после начала эксперимента в гистологических препаратах определены первые признаки остеорепарации.

При этом в изменении мРНК-профиля проксимального эпифиза бедра прослеживается тенденция к сверхэкспрессии генов провоспалительных цитокинов, генов остеокластогенеза от четвертой к восьмой неделе. Так, усиление экспрессии генов *il6*, *tnfa*, *rankl* наблюдалось как на шестой, так и на восьмой неделе течения асептического некроза. Представленные гены кодируют белки провоспалительных цитокинов и ключевой молекулы сигнального пути остеокластогенеза. J. Song et al. в выполненном исследовании протеома у больных с асептическим некрозом головки бедренной кости отмечают увеличение концентрации провоспалительных цитокинов и придают большое значение усилению неспецифического воспаления в процессах нарушения регуляции костного гомеостаза [30]. Биологическое действие провоспалительных цитокинов направлено на индукцию сигнального пути RANK–RANKL–OPG, усиление дифференцировки и активации зрелых остеокластов. Существует ряд исследовательских работ, подтверждающих сверхэкспрессию представленных медиаторов воспаления на ранних стадиях развития асептического некроза головки бедренной кости [31, 32]. Так, логично рассматривать взаимосвязь между увеличением уровня мРНК в головке бедренной кости как генов провоспалительных цитокинов *il6*, *tnfa*, так и гена *rankl*, и гистологической картиной прогрессирующего разрушения костной, хрящевой тканей. Полученные данные свидетельствуют о важной роли воспаления в регуляции остеодеструкции.

Кроме того, на четвертой и восьмой неделях после хирургической индукции асептического некроза наблюдали сверхэкспрессию гена *spp1*. Исследования концентрации секретируемого фосфопротеина 1 (*spp1*) в остеобластах на фоне развития асептического некроза головки бедренной кости отображали значительное повышение концентрации данного белка по сравнению с условно-здоровой конечностью [33]. Известно, что кодируемый белок гена *spp1* способствует прикреплению остеокластов к костному матриксу [34]. Кроме того, увеличение экспрессии гена *spp1* может способствовать активации остеокластогенеза через сигнальный путь PI3K/AKT [35]. Так, увеличение экспрессии представленного гена на фоне гистологической картины прогрессирующей остеодеструкции от четвертой к восьмой неделе эксперимента также может рассматриваться как один из факторов, способствующих усилению процессов резорбции.

В то же время на восьмой неделе эксперимента при исследовании гистологических препаратов животных первой группы определяли большое количество активных остеобластов. При этом экспрессия генов, кодирующих белки, участвующих в минерализации кости, остеобластогенезе (*bmp2*, *alpl*, *bglap*), усиливалась. Таким образом, процессы регенерации, деструкции костной ткани во многом обусловлены изменениями в мРНК-профиле головки бедренной кости.

Изменения при исследовании гистологических препаратов головки бедренной кости у крыс, получавших моноклональный блокатор IL-6, характеризовались менее интенсивным течением остеодеструкции по сравнению с животными первой группы. Плотность расположения костных трабекул, архитектура губчатого вещества, изменения в гиалиновом хряще имели менее выраженный характер и более соответствовали условно-здоровой конечности. При этом уже с шестой недели после хирургической индукции асептического некроза в препаратах визуализировали признаки остеорепарации.

Динамика изменения мРНК-профиля генов, кодирующих регуляторные протеины остеогенеза, имела свои особенности. Экспрессия гена провоспалительного цитокина *il6* ожидаемо была снижена на четвертой и шестой неделях эксперимента. Максимальное ингибирование активности гена *il6* получено на шестой неделе, при этом на восьмой неделе наблюдали незначительное усиление экспрессии. Активность гена *tnfa* менялась в зависимости от времени после манифестации асептического некроза. Так, экспрессия гена *tnfa* на четвертой неделе эксперимента была несколько снижена, в то время как на шестой и восьмой неделях повышена по сравнению с условно-здоровой конечностью. При этом стоит отметить, что активность генов провоспалительных цитокинов *il6*, *tnfa* на всех этапах эксперимента у крыс второй группы была значимо ниже, чем у первой группы. Представленные данные указывают на ингибирование неспецифического воспаления на фоне терапии моноклональным блокатором IL-6.

Со снижением интенсивности биологического действия провоспалительного цитокина IL-6 можно связать изменения в экспрессии генов, кодирующих белки, регулирующих остеокластогенез и активность процессов остеолитического. Наиболее яркая картина ингибирования остеокластогенеза наблюдалась на 6 неделе эксперимента. Так, у животных, не получавших специфического лечения, отмечалась сверхэкспрессия гена *rankl*, когда у крыс, получавших моноклональный блокатор IL-6, экспрессия представленного гена не отличалась от условно-здоровой конечности. Однако в то же время у крыс второй группы зафиксировано повышение экспрессии гена *spp1*, что может указывать на процессы остеолитического и, возможно, опосредованные пути активации зрелых остеокластов.

Первые четыре недели после индукции аваскулярного некроза у животных второй группы сопровождались усилением экспрессии генов, связанных с остеиндукцией, ревазуляризацией, таких как *sp7*, *bglap*, *alpl*, *tgfb*. Преобладание экспрессии генов, кодирующих белки остеобластогенеза, внеклеточного костного матрикса, минерализации кости, сохранялось с четвертой по восьмую неделю эксперимента, при этом характер мРНК-профиля несколько менялся в зависимости от времени, прошедшего с момента манифестации асептического некроза головки бедренной кости. Существует ряд исследовательских работ, обнаруживающих эффективность применения антирезорбтивной, противовоспалительной терапии в модельных экспериментах асептического некроза головки бедренной кости на животных [31, 32, 36]. Эффективность лечения оценивалась с помощью данных микрокомпьютерной томографии, гистологических, иммуногистохимических исследований, которые отображали усиление процессов репарации костной ткани, снижение остеорезорбции по сравнению с условно-здоровой конечностью. Однако исследования молекулярно-клеточных механизмов регуляции остеогенеза на фоне применения моноклональных блокаторов провоспалительных цитокинов весьма малочисленны.

Интенсивность экспрессии гена транскрипционного фактора *sp7* была повышена в течение всего эксперимента у крыс второй группы. Протеин, кодируемый представленным геном, является членом семейства транскрипционных факторов цинкового фактора, которые играют фундаментальную роль в процессах дифференцировки остеобластов из прогениторных клеток, хондрогенезе, а также поддержке баланса в дифференцировке мезенхимальных клеток по остеогенному, хондрогенному пути [37]. Повышение экспрессии гена *sp7* на четвертой, шестой и восьмой неделях после индукции аваскулярного некроза на фоне приема моноклонального блокатора IL-6 может свидетельствовать об усилении хондрогенеза, остеогенеза. Кроме того, у крыс второй группы была повышена экспрессия гена щелочной фосфатазы *alpl* с четвертой по восьмую неделю эксперимента. Представленные данные подтверждают усиление метаболизма костной ткани на фоне подавления биологического действия провоспалительного цитокина IL-6.

Таким образом, предварительные результаты применения моноклонального блокатора провоспалительного цитокина IL-6 свидетельствуют о более благоприятном течении асептического некроза головки бедренной кости у крыс. Большая сохранность плотности костных трабекул, структуры гиалинового хряща, губчатой кости получены у животных, получавших специфическую противовоспалительную терапию. Динамика изменений мРНК-профиля у крыс исследуемой группы свидетельствует об ингибировании экспрессии генов остеокластогенеза, остеолитического (*rankl*, *spp1*) на фоне снижения активности генов провоспалительных цитокинов *il6*, *tnfa*. В то же время экспрессия генов, кодирующих регуляторные белки остеобластогенеза, минерализации костной ткани, была повышена на всех этапах эксперимента. Однако стоит отметить, что полученные результаты актуальны в случае раннего применения специфической противовоспалительной терапии генно-инженерными препаратами, до стадии фрагментации головки бедренной кости. Кроме того, некоторые регуляторные белки синтезируются на посттрансляционном уровне. Дальнейшее исследование с увеличением объема выборки позволит сделать более достоверные выводы об эффективности противовоспалительной терапии в коррекции костного гомеостаза. Также при изучении способов таргетной терапии, патогенеза аваскулярного некроза требуется оценка концентрации регуляторных протеинов, участвующих в остеогенезе, процессах ремоделирования костной ткани.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предварительные результаты применения моноклонального блокатора провоспалительного цитокина IL-6 свидетельствуют об ингибировании остеодеструктивных, усилении остеорепаративных процессов за счет коррекции экспрессии генов костного метаболизма при развитии асептического некроза головки бедренной кости у крыс в модельном эксперименте.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет финансирования гранта «Президента Российской Федерации для государственной поддержки молодых российских ученых — кандидатов наук», МК-4132.2022.3.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБОУ ВО КемГМУ, протокол № 1 от 20.01.2023.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Кужеливский ИИ. Болезнь Пертеса: современное состояние проблемы и пути её решения. *Сибирский медицинский журнал* (Иркутск). 2015;135(4):117-121.
2. Hines JT, Jo WL, Cui Q, et al. Osteonecrosis of the Femoral Head: an Updated Review of ARCO on Pathogenesis, Staging and Treatment. *J Korean Med Sci*. 2021;36(24):e177. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e177
3. Mukisi-Mukaza M, Gomez-Bouchet A, Donkerwolcke M, et al. Histopathology of aseptic necrosis of the femoral head in sickle cell disease. *Int Orthop*. 2011;35(8):1145-1150. doi: 10.1007/s00264-010-1121-6
4. Adapala NS, Kim HK. Comprehensive Genome-Wide Transcriptomic Analysis of Immature Articular Cartilage following Ischemic Osteonecrosis of the Femoral Head in Piglets. *PLoS One*. 2016;11(4):e0153174. doi: 10.1371/journal.pone.0153174
5. Naik AA, Narayanan A, Khanchandani P, et al. Systems analysis of avascular necrosis of femoral head using integrative data analysis and literature mining delineates pathways associated with disease. *Sci Rep*. 2020;10(1):18099. doi: 10.1038/s41598-020-75197-0
6. Одарченко Д.И., Дзюба Г.Г., Ерофеев С.А., Кузнецов Н.К. Проблемы диагностики и лечения асептического некроза головки бедренной кости в современной травматологии и ортопедии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2021;27(2):270-276. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-270-276
7. Tang CY, Wu M, Zhao D, et al. Runx1 is a central regulator of osteogenesis for bone homeostasis by orchestrating BMP and WNT signaling pathways. *PLoS Genet*. 2021;17(1):e1009233. doi: 10.1371/journal.pgen.1009233
8. Li Q, Wang Z. Involvement of FAK/P38 Signaling Pathways in Mediating the Enhanced Osteogenesis Induced by Nano-Graphene Oxide Modification on Titanium Implant Surface. *Int J Nanomedicine*. 2020;15:4659-4676. doi: 10.2147/IJN.S245608
9. Udagawa N, Koide M, Nakamura M, et al. Osteoclast differentiation by RANKL and OPG signaling pathways. *J Bone Miner Metab*. 2021;39(1):19-26. doi: 10.1007/s00774-020-01162-6
10. Герштейн ЕС, Тимофеев ЮС, Зуев АА, Кушлинский НЕ. Лиганд-рецепторная система RANK/RANKL/OPG и ее роль при первичных новообразованиях костей (анализ литературы и собственные результаты). *Успехи молекулярной онкологии*. 2015;2(3):51-59. doi: 10.17650/2313-805X-2015-2-3-51-59
11. Samara S, Dailiana Z, Chassanidis C, et al. Expression profile of osteoprotegerin, RANK and RANKL genes in the femoral head of patients with avascular necrosis. *Exp Mol Pathol*. 2014;96(1):9-14. doi: 10.1016/j.yexmp.2013.10.014
12. Chen B, Du Z, Dong X, et al. Association of Variant Interactions in RANK, RANKL, OPG, TRAF6, and NFATC1 Genes with the Development of Osteonecrosis of the Femoral Head. *DNA Cell Biol*. 2019;38(7):734-746. doi: 10.1089/dna.2019.4710
13. Amarasekara DS, Yun H, Kim S, et al. Regulation of Osteoclast Differentiation by Cytokine Networks. *Immune Netw*. 2018;18(1):e8. doi: 10.4110/in.2018.18.e8
14. Zupan J, Jeras M, Marc J. Osteoimmunology and the influence of pro-inflammatory cytokines on osteoclasts. *Biochem Med (Zagreb)*. 2013;23(1):43-63. doi: 10.11613/bm.2013.007
15. Moon SJ, Ahn IE, Jung H, et al. Temporal differential effects of proinflammatory cytokines on osteoclastogenesis. *Int J Mol Med*. 2013;31(4):769-777. doi: 10.3892/ijmm.2013.1269
16. Zheng LW, Wang WC, Mao XZ, et al. TNF- α regulates the early development of avascular necrosis of the femoral head by mediating osteoblast autophagy and apoptosis via the p38 MAPK/NF- κ B signaling pathway. *Cell Biol Int*. 2020;44(9):1881-1889. doi: 10.1002/cbin.11394
17. Kamiya N, Kim HK. Elevation of Proinflammatory Cytokine HMGB1 in the Synovial Fluid of Patients With Legg-Calvé-Perthes Disease and Correlation With IL-6. *JBM R Plus*. 2020;5(2):e10429. doi: 10.1002/jbm4.10429
18. Adapala NS, Yamaguchi R, Phipps M, et al. Necrotic Bone Stimulates Proinflammatory Responses in Macrophages through the Activation of Toll-Like Receptor 4. *Am J Pathol*. 2016;186(11):2987-2999. doi: 10.1016/j.ajpath.2016.06.024
19. Ren R, Guo J, Chen Y, et al. The role of Ca²⁺ /Calcineurin/NFAT signalling pathway in osteoblastogenesis. *Cell Prolif*. 2021;54(11):e13122. doi: 10.1111/cpr.13122
20. Amarasekara DS, Kim S, Rho J. Regulation of Osteoblast Differentiation by Cytokine Networks. *Int J Mol Sci*. 2021;22(6):2851. doi: 10.3390/ijms22062851
21. Eda H, Shimada H, Beidler DR, Monahan JB. Proinflammatory cytokines, IL-1 β and TNF- α , induce expression of interleukin-34 mRNA via JNK- and p44/42 MAPK-NF- κ B pathway but not p38 pathway in osteoblasts. *Rheumatol Int*. 2011;31(11):1525-1530. doi: 10.1007/s00296-010-1688-7
22. Shabaldin NA, Sinitskaya AV, Shabaldin AV, Mukhamadiyarov RA. Expression Dynamics of Bone Homeostasis Genes in the Development of Aseptic Femoral Head Necrosis in Rats. *J Evol Biochem Phys*. 2023;59(1):180-191. doi: 10.1134/S0022093023010155
23. Yamaguchi R, Kamiya N, Adapala NS, et al. HIF-1-Dependent IL-6 Activation in Articular Chondrocytes Initiating Synovitis in Femoral Head Ischemic Osteonecrosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2016;98(13):1122-1131. doi: 10.2106/JBJS.15.01209
24. Yellowley CE, Genetos DC. Hypoxia Signaling in the Skeleton: Implications for Bone Health. *Curr Osteoporos Rep*. 2019;17(1):26-35. doi: 10.1007/s11914-019-00500-6
25. Stegen S, van Gastel N, Eelen G, et al. HIF-1 α Promotes Glutamine-Mediated Redox Homeostasis and Glycogen-Dependent Bioenergetics to Support Postimplantation Bone Cell Survival. *Cell Metab*. 2016;23(2):265-279. doi: 10.1016/j.cmet.2016.01.002
26. Ding H, Gao YS, Hu C, et al. HIF-1 α transgenic bone marrow cells can promote tissue repair in cases of corticosteroid-induced osteonecrosis of the femoral head in rabbits. *PLoS One*. 2013;8(5):e63628. doi: 10.1371/journal.pone.0063628
27. Zhu J, Tang Y, Wu Q, et al. HIF-1 α facilitates osteocyte-mediated osteoclastogenesis by activating JAK2/STAT3 pathway in vitro. *J Cell Physiol*. 2019;234(11):21182-21192. doi: 10.1002/jcp.28721
28. Hirai K, Furusho H, Hirota K, Sasaki H. Activation of hypoxia-inducible factor 1 attenuates periapical inflammation and bone loss. *Int J Oral Sci*. 2018;10(2):12. doi: 10.1038/s41368-018-0015-0
29. Шабалдин Н.А., Шабалдин А.В., Шабалдина Е.В. и др. Способ моделирования асептического некроза головки бедренной кости у лабораторных крыс. Патент РФ на изобретение № 2773606. Бюл. № 16. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet. Ссылка активна на 16.01.2024.

30. Song J, Wu J, Poulet B, et al. Proteomics analysis of hip articular cartilage identifies differentially expressed proteins associated with osteonecrosis of the femoral head. *Osteoarthritis Cartilage*. 2021;29(7):1081-1092. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.005
31. Kuroyanagi G, Adapala NS, Yamaguchi R, et al. Interleukin-6 deletion stimulates revascularization and new bone formation following ischemic osteonecrosis in a murine model. *Bone*. 2018;116:221-231. doi: 10.1016/j.bone.2018.08.011
32. Ren Y, Deng Z, Gokani V, et al. Anti-Interleukin-6 Therapy Decreases Hip Synovitis and Bone Resorption and Increases Bone Formation Following Ischemic Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Bone Miner Res*. 2021;36(2):357-368. doi: 10.1002/jbmr.4191
33. Maestro-Paramio L, García-Rey E, Bensiamar F, Saldaña L. Osteoblast function in patients with idiopathic osteonecrosis of the femoral head : implications for a possible novel therapy. *Bone Joint Res*. 2021;10(9):619-628. doi: 10.1302/2046-3758.109.BJR-2021-0016.R1
34. Foster BL, Ao M, Salmon CR, et al. Osteopontin regulates dentin and alveolar bone development and mineralization. *Bone*. 2018;107:196-207. doi: 10.1016/j.bone.2017.12.004
35. Cai X, Zheng Y, Ren F, et al. Secretory phosphoprotein 1 secreted by fibroblast-like synoviocytes promotes osteoclasts formation via PI3K/AKT signaling in collagen-induced arthritis. *Biomed Pharmacother*. 2022;155:113687. doi: 10.1016/j.biopha.2022.113687
36. Kim HK, Aruwajoye O, Du J, Kamiya N. Local administration of bone morphogenetic protein-2 and bisphosphonate during non-weight-bearing treatment of ischemic osteonecrosis of the femoral head: an experimental investigation in immature pigs. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(18):1515-1524. doi: 10.2106/JBJS.M.01361
37. Fisaletti M, Biggin A, Bennetts B, et al. Novel variant in Sp7/Osx associated with recessive osteogenesis imperfecta with bone fragility and hearing impairment. *Bone*. 2018;110:66-75. doi: 10.1016/j.bone.2018.01.031

Статья поступила 10.08.2023; одобрена после рецензирования 29.11.2023; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 10.08.2023; approved after reviewing 29.11.2023; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Никита Андреевич Шабалдин — кандидат медицинских наук, доцент, заведующий кафедрой, shabaldin.nk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8628-5649>;

Анна Викторовна Сеницкая — кандидат медицинских наук, научный сотрудник, annacepokina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>;

Людмила Николаевна Игишева — доктор медицинских наук, профессор кафедры, ведущий научный сотрудник, igisheval@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-3571>;

Лев Александрович Богданов — научный сотрудник, bogdanovleone@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4124-2316>;

Андрей Владимирович Шабалдин — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, weit2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>.

Information about the authors.

Nikita A. Shabaldin — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Head of the Department, shabaldin.nk@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8628-5649>;

Anna V. Sinitskaya — Candidate of Medical Sciences, researcher, annacepokina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4467-8732>;

Lyudmila N. Igisheva — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, Leading Researcher, igisheval@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7102-3571>;

Lev A. Bogdanov — researcher, bogdanovleone@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4124-2316>;

Andrey V. Shabaldin — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, weit2007@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8785-7896>.

Вклад авторов:

Шабалдин Н.А. — сбор и анализ данных, проведение хирургических манипуляций, анализ литературы, написание всех разделов статьи.

Сеницкая А. В. — проведение экспериментальной части, обсчет результатов, написание всех разделов статьи.

Игишева Л.Н. — разработка концепции и дизайна, анализ и интерпретация данных, обоснование рукописи.

Богданов Л.А. — подготовка гистологических препаратов, выполнение гистологических исследований, этапное редактирование статьи.

Шабалдин А.В. — концепция и дизайн исследования, обработка материала, написание всех разделов статьи.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Научная статья

УДК 616.833.58-004.8-089.844-092.9:615.847

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-417-426>

Оценка отдаленных результатов однократной интраоперационной электронейростимуляции после аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва взрослых крыс

Н.А. Щудло, Т.Н. Варсегова✉, Т.А. Ступина

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Николаевна Варсегова, varstn@mail.ru

Аннотация

Введение. Данные мировой литературы свидетельствуют об эффективности однократной интраоперационной электростимуляции (ИЭС) проксимального отрезка повреждённого нерва для стимуляции его регенерации, но данные о её влиянии на отдалённые результаты аутопластики резекционных дефектов отсутствуют.

Цель работы — оценка отдалённых результатов однократной ИЭС после аутологичной пластики дефекта большеберцовой порции седалищного нерва крыс.

Материалы и методы. После аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва 30 крыс линии Wistar мужского пола распределены на серию 1 (нестимулированный контроль, $n = 16$) и серию 2 (однократная ИЭС в течение 40 мин., $n = 14$). Через 4 и 6 мес. после операции проведена оценка статического седалищного функционального индекса (СФИ) и морфометрия эпиксидных поперечных полутоновых срезов большеберцового нерва на уровне средней трети голени. Для сравнения с нормой использовали соответствующие данные от 7 интактных крыс.

Результаты. Количество животных с отличными результатами восстановления СФИ составило 12,5 % в серии 1 и 50 % в серии 2 ($p = 0,05$). Численная плотность регенерировавших миелинизированных волокон (МВ) превышала норму: в серии 1 — на 63 % ($p < 0,01$) и 34 % ($p < 0,01$), в серии 2 — на 58 % ($p < 0,01$) и 47 % ($p < 0,01$) соответственно. В серии 2 больше по сравнению с серией 1: медиана диаметров МВ — на 11,7 % и 15,7 %, медиана диаметров их аксонов — на 5,4 % и 11,9 %, медиана толщины миелиновой оболочки — на 17,0 % и 24,1 % соответственно ($p < 0,05$ через 4 мес. и $p < 0,01$ через 6 мес. после операции). Через 4 мес. после операции в сериях 1 и 2 численные плотности эндоневральных сосудов превышают интактный контроль на 134 % ($p < 0,05$) и 156 % ($p < 0,05$), их средние диаметры на 18 % и 16 % ($p < 0,01$) соответственно, а диаметры просветов возрастают только в серии 2 на 8 % ($p = 0,07$). Через 6 мес. опыта в сериях 1 и 2 численные плотности микрососудов снижаются, но достоверно превышают контроль на 66 % ($p < 0,05$) и 83 % ($p < 0,05$), средние диаметры — на 14 % и 36 % ($p < 0,05$), диаметры просветов — на 26 % ($p < 0,05$) и 50 % ($p < 0,01$) соответственно.

Обсуждение. Разница между стимулированными и нестимулированными животными по всем размерным параметрам МВ через 6 мес. после операции была больше, чем через 4 мес., что указывает на стойкий нейрорегенераторный эффект.

Заключение. Значимое увеличение диаметров регенерирующих нервных волокон в большеберцовом нерве, а также диаметров их аксонов и толщины миелинизированных оболочек через 4 и 6 мес. после аутопластики большеберцовой порции седалищного нерва в группе животных с однократной 40-минутной ИЭС проксимального участка седалищного нерва свидетельствует о промотирующем влиянии применённого аддитивного воздействия на регенераторный аксоно- и миелиногенез. Увеличение просветов и улучшение пропускной способности эндоневральных сосудов большеберцового нерва в серии с ИЭС обеспечило стойкость нейрорегенераторного эффекта. Функциональная значимость эффектов однократной ИЭС подтверждается достоверно более высоким процентом животных с отличными результатами восстановления статического функционального индекса.

Ключевые слова: крысы, седалищный нерв, аутопластика, интраоперационная электростимуляция (ИЭС), седалищный функциональный индекс, гистоморфометрия

Для цитирования: Щудло Н.А., Варсегова Т.Н., Ступина Т.А. Оценка отдаленных результатов однократной интраоперационной электронейростимуляции после аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва взрослых крыс. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):417-426. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-417-426. EDN: MQFCCN.



Evaluation of long-term results of single intraoperative electrical neurostimulation after autologous plastic surgery of a resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve in adult rats

N.A. Shchudlo, T.N. Varsegova✉, T.A. Stupina

Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

Corresponding author: Tatyana N. Varsegova, varstn@mail.ru

Abstract

Introduction World literature data indicate the effectiveness of single intraoperative electrical stimulation (IES) of the proximal segment of the damaged nerve to stimulate its regeneration, but there is no data on its effect on the long-term results of autoplasty of resection defects.

The purpose of the work was to evaluate the long-term results of a single IES after autologous plastic surgery of the tibial portion of the sciatic nerve in rats.

Materials and methods Thirty rats after autologous repair of the resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve were divided into series 1 (unstimulated control, $n = 16$) and series 2 (single IES for 40 minutes, $n = 14$). At 4 and 6 months after surgery, the static sciatic functional index (SFI) and morphometry of epoxy transverse semithin sections of the tibial nerve at the level of the middle third of the leg were assessed. For comparison with the normal values, the corresponding data from 7 intact rats were used.

Results The number of animals with excellent results of SFI restoration was 12.5 % in series 1 and 50 % in series 2 ($p = 0.05$). The numerical density of regenerated myelinated fibers (MF) exceeded the norm: in series 1 — by 63 % ($p < 0.01$) and 34 % ($p < 0.01$), in series 2 — by 58 % ($p < 0.01$) and 47 % ($p < 0.01$), respectively. In series 2, there were greater values in comparison with series 1: the median diameters of MFs were by 11.7 % and 15.7 %, the median diameters of their axons were by 5.4 % and 11.9 %, the median thickness of the myelin sheath was by 17.0 % and 24.1 %, respectively ($p < 0.05$ 4 months and $p < 0.01$ 6 months after surgery). Four months after surgery in series 1 and 2, the numerical densities of endoneurial vessels exceeded the intact control by 134 % ($p < 0.05$) and 156 % ($p < 0.05$), their average diameters by 18 % and 16 % ($p < 0.01$) respectively, and lumen diameters increased only in series 2 by 8 % ($p = 0.07$). After 6 months of the experiment in series 1 and 2, the numerical densities of microvessels decreased, but significantly exceeded the control by 66 % ($p < 0.05$) and 83 % ($p < 0.05$), the average diameters — by 14 % and 36 % ($p < 0.05$), lumen diameters — by 26 % ($p < 0.05$) and 50 % ($p < 0.01$), respectively.

Discussion The difference between stimulated and unstimulated animals in all MF size parameters 6 months after surgery was greater than after 4 months, indicating a persistent neuroregenerative effect.

Conclusions A significant increase in the diameters of regenerating nerve fibers in the tibial nerve, as well as the diameters of their axons and the thickness of the myelinated sheaths 4 and 6 months after autoplasty of the tibial portion of the sciatic nerve in the group of animals with a single 40-minute IES of the proximal portion of the sciatic nerve indicates the promoting effect of the applied additive effect on regenerative axono- and myelinogenesis. Increase in the lumens and improvement of blood flow of the endoneurial vessels of the tibial nerve in the series with IES ensured the stability of the neuroregenerative effect. The functional significance of the effects of a single IES is confirmed by a significantly higher percentage of animals with excellent results in restoring the static functional index.

Keywords: rats, sciatic nerve, autoplasmic, intraoperative electrical neurostimulation, sciatic functional index, hystomorphometry

For citation: Shchudlo N.A. Varsegova T.N. Stupina T.A. Evaluation of long-term results of single intraoperative electrical neurostimulation after autologous plastic surgery of a resection defect of the tibial portion of the sciatic nerve in adult rats. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):417-426. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-417-426

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения периферических нервов встречаются в 3,3 % случаев травм верхних конечностей [1] и 1,8 % травм нижних конечностей [2]. Они существенно варьируют по механизмам травмы, степени повреждения и исходам лечения. При вооружённых конфликтах частота повреждения нервов конечностей существенно увеличивается, нередко они приводят к инвалидизации пациентов с тяжёлыми социальными и личностными последствиями [3].

Несмотря на потенциальную возможность восстановления функций повреждённых периферических нервов млекопитающих и человека [4], их регенерация после полных анатомических перерывов, требующих хирургического вмешательства, происходит медленно и обычно неполно: хороших и отличных результатов восстановления чувствительности и движений достигают не более половины пациентов [5]. Неудовлетворительные результаты лечения травм нервов в клинике имеют фундаментальные биологические основы. К ним относятся посттравматический апоптоз чувствительных нейронов [6], латентный период регенерации, в течение которого аксоны проксимального отрезка нерва не прорастают зону повреждения [7], низкая скорость регенераторного роста, особенно у взрослых особей [8], образование рубца [9, 10], деструкция денервированных органов-мишеней [11], в том числе их капилляров [12].

Разнообразные методики электростимуляции периферических нервов позволяют ускорить и улучшить восстановление двигательных и чувствительных функций [13, 14, 15]. Поскольку многие пациенты не имеют возможности получить курсовое реабилитационное лечение, интересы многих исследователей в последние годы сосредоточились на изучении эффектов однократной интраоперационной электростимуляции (ИЭС).

При рандомизированном обследовании 36 пациентов, которым выполнены восстановительные операции на пальцевых нервах, установлено, что один часовой сеанс низкочастотной ИЭС (20 Гц, 1 час) улучшил все виды чувствительности к 5–6 мес. после операции по сравнению с нестимулированной группой, однако разница не подтверждалась статистически [16].

В экспериментах на животных продемонстрированы положительные эффекты однократной ИЭС на разных моделях повреждений нервов бедра и голени. При фокальной демиелинизации большеберцового нерва крыс ИЭС ускоряла уборку продуктов демиелинизации и последующую ремиелинизацию [17]. При моделировании *neuroma in continuu* седалищного нерва крыс однократная ИЭС проксимального участка поврежденного нерва крыс улучшала восстановление функции конечности через 4–8 нед., однако через 3 мес. различия с нестимулированной группой нивелировались [18]. В опытах по перерезке и шва большеберцового нерва крыс установлено, что даже 10-минутная ИЭС ускоряет прорастание зоны швов регенерирующими аксонами [19]. Аналогичные результаты получены другими авторами при пересечении и шве седалищного нерва мышей [20], которые также доказали увеличение количества нейронов, вступающих в регенерацию, в сериях с электростимуляцией. При пересечении и микрохирургическом шве бедренного нерва 10-недельных крыс часовая ИЭС вызывала более быстрое восстановление функциональных параметров в сравнении с ложно-стимулированными животными, достигавшее дооперационного уровня через 5 мес. после травмы, что, по мнению авторов, связано с увеличением количества мотонейронов, корректно реиннервировавших органы-мишени [21].

После аутопластики общего малоберцового нерва молодых крыс однократная ИЭС проксимального отрезка нерва обеспечила увеличение количества чувствительных и двигательных нейронов, вступающих в регенерацию, а также увеличение количества миелинизированных нервных волокон, регенерировавших в дистальный отрезок повреждённого нерва через 6 нед. после операции [22].

После аутопластики седалищного нерва ИЭС улучшала моторную функцию оперированной конечности крыс в период от 2 до 12 нед. по сравнению с нестимулированными животными, однако сенсорное тестирование и гистоморфометрия дистального отрезка нерва и икроножных мышц преимуществ серии с ИЭС не выявили [23].

В доступной литературе мы не встретили данных о влиянии однократной интраоперационной электростимуляции на отдалённые результаты аутопластики смешанных нервов, что определило цель нашего исследования.

Цель работы — оценка отдалённых результатов однократной интраоперационной электронейростимуляции после аутологичной пластики резекционного дефекта большеберцовой порции седалищного нерва.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Эксперимент выполнен на 30 лабораторных крысах линии Wistar мужского пола (возраст — 8–15 мес., вес — 360–460 г). Животных содержали в контролируемых гигиенических условиях, они имели доступ к воде и корму. Эксперимент выполнен согласно Европейской Конвенции по защите позвоночных животных, Директиве 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза по охране животных, используемых в научных целях и СП 2.2.1.3218-14; ГОСТу 33217-2014; ГОСТу 33215-2014. Дизайн исследо-

вания одобрен этическим комитетом учреждения (протокол № 2 (57) от 17.05.18). Для наркоза и обезболивания животным вводили внутримышечно 0,8 мг гидрохлорида ксилазина и 0,4 мг тилетамин/золазепам на 100 г массы тела, на правом бедре и голени выстригали шёрстный покров.

В условиях операционной после обработки кожи йодно-спиртовой настойкой и внепроекционного разреза кожи осуществляли доступ к правому седалищному нерву на уровне средней трети бедра остро-тупым способом через двуглавую мышцу. Используя 8-кратное увеличение операционного микроскопа (ОРМИ-6, Germany) острым сосудистым микрозондом и ножницами для иридэктомии выполняли эпифасцикулярные продольные эпиневротомические разрезы для выделения большеберцовой порции седалищного нерва. После резекции её участка протяжённостью 6 мм осуществляли интерфасцикулярную аутологичную пластику получившегося дефекта с использованием микрохирургического шовного материала калибра 9–0 и 10–0. В серии 1 — нестимулированный контроль ($n = 16$) — по окончании аутонейропластики рану послойно ушивали рассасывающимся шовным материалом калибра 3–0. В серии 2 — опыт ($n = 14$) — сразу после аутонейропластики на проксимальный участок нерва устанавливали электроды. Используя систему электростимуляции периферических нервов «ЭлСИ.08.исе» (рег. удостоверение № РЗН 2017/5382; ООО «Высокие медицинские технологии»), в течение 40 мин. интраоперационно проводили стимуляцию проксимального отрезка нерва монополярными электрическими импульсами прямоугольной формы с амплитудой 0,25 мА, частотой 20 Гц и длительностью 100 мкс. Рану ушивали по окончании сеанса электростимуляции.

Чтобы обеспечить сопоставимость опытных групп по возрасту, в каждый операционный день оперировали пару крыс: одну без стимуляции, другую со стимуляцией, в одной паре восьмимесячных крыс были обе без стимуляции.

В послеоперационном периоде проводили исследования статического седалищного функционального индекса (СФИ) по методике [24], модифицированной с учётом семиотики денервационно-реиннервационного синдрома (табл. 1). Для этого каждую крысу помещали в коробку из прозрачного пластика с отверстиями для доступа воздуха. Коробку закрепляли на штативе и располагали её над столом, на который укладывали зеркало. С помощью лампы дневного света коробку освещали и фотографировали отражение стоп крысы в зеркале — от 3 до 5 кадров от каждой крысы. Цифровые фото сохраняли в памяти компьютера, а затем в программе Photofiltre измеряли размахи пальцев стоп (рис. 1): тотальный (между I и V пальцами) и интермедиарный (между вторым и четвёртым пальцем). В качестве СФИ использовали отношение размаха пальцев оперированной стопы к соответствующему размаху контралатеральной стопы в долях единицы. Измерения размаха пальцев у животных не проводилось, если опора стопы оперированной конечности происходила не на подушечки лап, а на тыл и/или боковую поверхность стопы при развитии контрактур и деформаций. Оценочная шкала СФИ также представлена в таблице 1.

Таблица 1

Семиотика денервационно-реиннервационного синдрома и оценка статического седалищного функционального индекса в отдалённый период после аутопластики большеберцовой порции седалищного нерва

Симптомы	Оценка
Опора на тыл и/или боковую поверхность стопы с формированием контрактур и деформаций плюсны и пальцев. Опора на подушечки лап без размаха пальцев либо с частичным восстановлением размахов и переразгибанием в плюснефаланговых суставах и сгибании в межфаланговых	неудовлетворительно
Правильная установка стопы с наличием интермедиарного размаха и приведением либо I, либо V пальца	удовлетворительно
Пальцы разведены симметрично. Интермедиарный либо тотальный размах 0,8 и более либо в некоторых кадрах оба размаха 0,8 и более	хорошо
Индексы интермедиарного и тотального размахов 0,8 и более	отлично

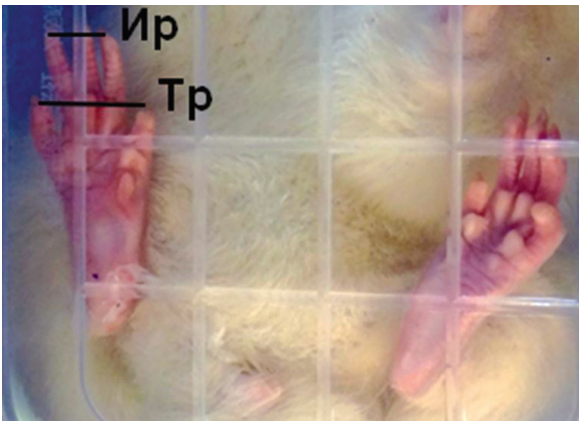


Рис. 1. Фото отражения стоп крысы при её посадке в пластиковую коробку. Нормальная установка стопы контралатеральной конечности с выраженным Ир — интермедиарным размахом пальцев и Тр — тотальным размахом пальцев; отсутствие размаха пальцев со сгибанием межфаланговых суставов стопы оперированной конечности и денервационной атрофией мелких мышц стопы

Животных выводили из эксперимента. Иссечённые образцы седалищных и большеберцовых нервов подвергали альдегидно-осмиевой фиксации и заключали в аралдит для получения полутонких срезов. Срезы изготавливали алмазными ножами на ультрамикротоме Nova LKB (Швеция), окрашивали толудиновым синим и полихромным методом — метиленовым синим, азуром II и основным фуксином. Микроскопию срезов и получение цифровых изображений осуществляли с помощью микроскопа AxioScore.A1 и цифровой камеры AxioCam (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). Гистоморфометрировали 15–30 эндоневральных микрососудов и 400–500 миелинизированных нервных волокон у каждого животного при увеличении 1000×. Определяли их численные плотности в 1 мм² площади пучка, измеряли диаметры волокон, их аксонов и толщину миелинизированных оболочек, строили гистограммы распределения волокон по диаметрам с шагом 1 мкм. Рассчитывали долю (в %) деструктивно изменённых нервных проводников. Измеряли диаметры микрососудов, их просветов, определяли модифицированный индекс Керногана, как отношение диаметра просвета к диаметру сосуда. Для сравнения с нормой использовали гистоморфометрические данные от 7 взрослых интактных крыс, близких по возрасту к оперированным крысам на момент эвтаназии, — 16–19 мес. (в данной группе отсутствуют межиндивидуальные статистически значимые различия исследуемых количественных показателей).

Статистическую обработку данных выполняли в компьютерной программе Attestat, версия 9.3.1 (разработчик И.П. Гайдышев, сертификат о регистрации в Роспатенте № 2002611109). Проверку выборок на нормальность распределения значений осуществляли с помощью критериев Колмогорова и Шапиро – Уилка, попарное сравнение экспериментальных серий между собой и с интактным контролем — с помощью критериев Манна – Уитни, Хи-квадрат, точного критерия Фишера. Значения гистоморфометрических параметров представляли в виде медиан и квартилей — Me [Q1; Q3]. Уровень значимости отличий — 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При оценке СФИ в отдалённые сроки после операции получена достоверная разница серий 1 и 2 по частоте отличных результатов (табл. 2).

Таблица 2

Распределение оценок статического седалищного функционального индекса в отдалённом периоде после аутопластики большеберцовой порции седалищного нерва

Результат	Серия 1 — аутопластика (n = 16)		Серия 2 — аутопластика + ИЭС (n = 14)		p ¹⁻²
	абс.	%	абс.	%	
Неудовлетворительный	9	56,25	4	28,57	0,16
Удовлетворительный	1	6,25	0	0	0,55
Хороший	4	25,00	3	21,43	1,00
Отличный	2	12,50	7	50,00	0,05

p¹⁻² — уровни значимости отличий при сравнении групп нестимулированных и стимулированных оперированных животных по точному критерию Фишера; * — различия достоверны при p ≤ 0,05.

Существенно то, что возраст 7 крыс, достигших в серии 2 отличных результатов, варьировал от 8 до 13 мес. на момент операции.

Микроскопическое исследование дистальной зоны швов показало, что в сериях 1 и 2 через 4 и 6 мес. после операции эндоневрий и эпинеурий трансплантата обильно невротизирован регенерирующими миелинизированными и безмиелиновыми волокнами. Некоторые из них располагались в составе минифасцикул или регенерационных кластеров (рис. 2).

В поперечных полутонких срезах большеберцового нерва на уровне средней трети голени (рис. 3) также выявлялась обширная популяция регенерировавших миелинизированных и безмиелинизированных волокон и немногочисленных регенерационных кластеров. В эндоневрии регенерирующих нервов чаще, чем в интактных нервах, встречались фибробласты, макрофаги, периневральные и тучные клетки, а также ядросодержащие профили миелинизированных и безмиелиновых волокон (рис. 3).

Через 6 мес. после операции по сравнению с предыдущим сроком увеличивалось представительство крупных миелинизированных волокон как на уровне трансплантата, так и в большеберцовых нервах на уровне средней трети голени (рис. 2, в, г; рис. 3, в, г), что визуально более заметно у стимулированных животных.

Гистоморфометрическое исследование большеберцового нерва показало, что численная плотность регенерировавших волокон через 4 и 6 мес. после операции достоверно превышает норму: в серии 1 на 63 % и 34 %, в серии 2 — на 58 % и 47 % соответственно (табл. 3). Доля деструктивно изменённых проводников через 4 и 6 мес. после операции у оперированных животных достоверно ниже значений интактных нервов (табл. 3).

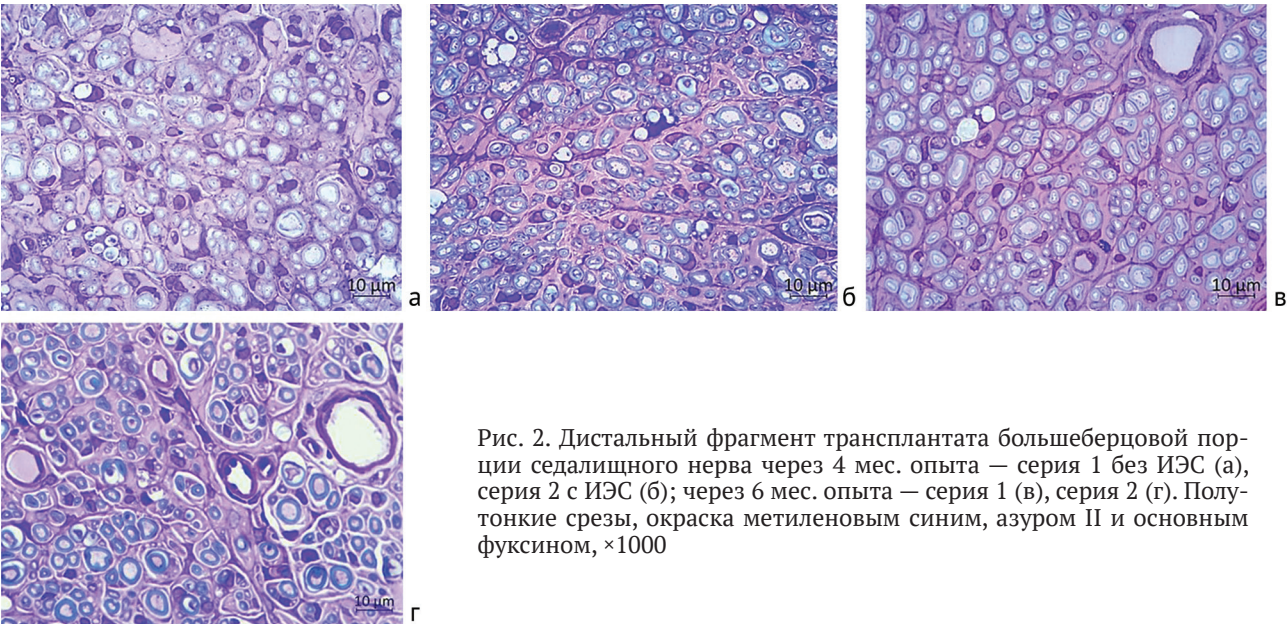


Рис. 2. Дистальный фрагмент трансплантата большеберцовой порции седалищного нерва через 4 мес. опыта — серия 1 без ИЭС (а), серия 2 с ИЭС (б); через 6 мес. опыта — серия 1 (в), серия 2 (г). Полутоновые срезы, окраска метиленовым синим, азуром II и основным фуксином, $\times 1000$

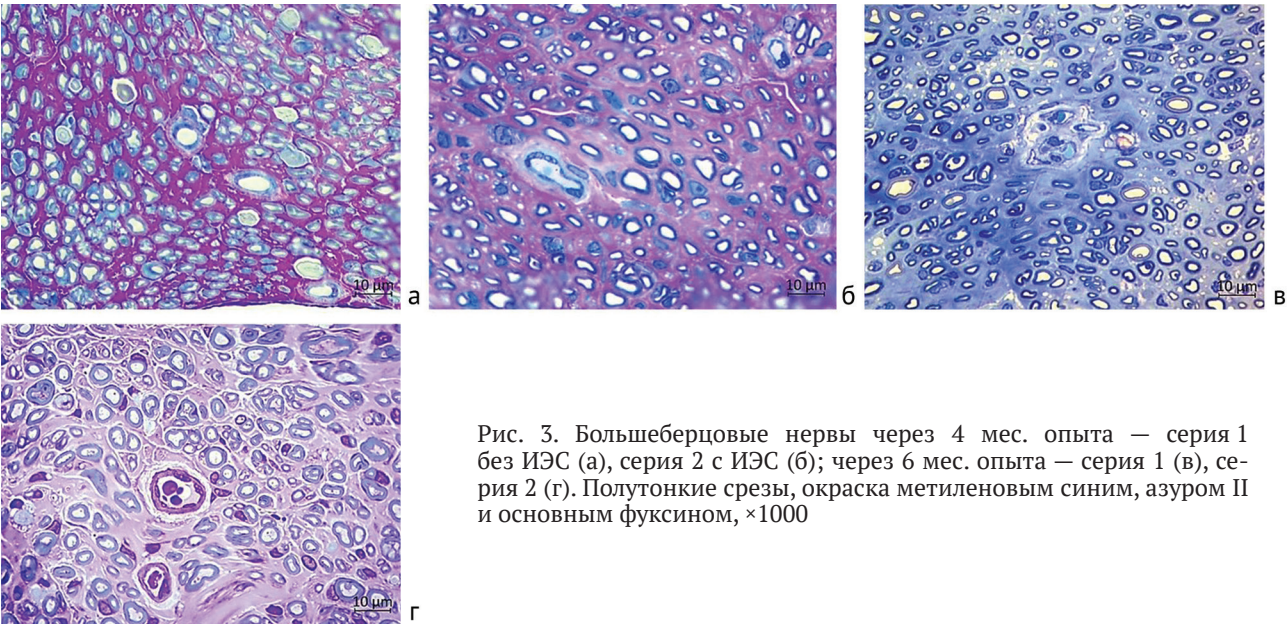


Рис. 3. Большеберцовые нервы через 4 мес. опыта — серия 1 без ИЭС (а), серия 2 с ИЭС (б); через 6 мес. опыта — серия 1 (в), серия 2 (г). Полутоновые срезы, окраска метиленовым синим, азуром II и основным фуксином, $\times 1000$

Таблица 3

Численные плотности и доли (%) деструктивно измененных миелинизированных нервных волокон большеберцового нерва в 1 мм² площади среза через 4 и 6 мес. после операции, Ме [Q1; Q3]

Серии/срок опыта	Численная плотность миелинизированных волокон		Доля деструктивно измененных миелинизированных волокон	
	4 мес.	6 мес.	4 мес.	6 мес.
Серия 1 — аутопластика (n = 16)	24444 [19182; 28280] $P^{1-2} = 0,319465$ $P^{1-K} = 0,0000002^*$	20207 [18140; 22618] $P^{1-2} = 0,187249$ $P^{1-K} = 0,000573^*$	4,46 % [2,79; 5,73] $P^{1-2} = 0,072117$ $P^{1-K} = 0,001244^*$	4,05 % [2,38; 5,06] $P^{1-2} = 0,99999$ $P^{1-K} = 0,00046^*$
Серия 2 — аутопластика + ИЭС (n = 14)	23786 [22142; 24882] $P^{2-K} = 0,0000001^*$	22142 [20498; 23411] $P^{2-K} = 0,000289^*$	5,58 % [3,85; 6,05] $P^{2-K} = 0,030766^*$	4,05 % [2,38; 5,06] $P^{2-K} = 0,00014^*$
Интактный контроль (n = 7)	15040 (12859; 15499)		6,75 % (5,70; 8,13)	

P^{1-2} — уровни значимости отличий при сравнении групп нестимулированных и стимулированных оперированных животных по критерию Манна – Уитни; P^{1-K} , P^{2-K} — уровни значимости отличий каждой из групп оперированных животных от интактного контроля по критерию Манна – Уитни; * — различия достоверны при $p < 0,05$

Размерные характеристики миелинизированных регенерирующих волокон были достоверно больше в серии 2 по сравнению с серией 1 (табл. 4) через 4 и 6 мес. после операции: медиана диаметров волокон — на 11,7 % и 15,7 %, медиана диаметров их аксонов — на 5,4 % и 11,9 %, медиана толщины миелино-

вой оболочки — на 17,0 % и 24,1 % соответственно. Однако даже в конце опыта все размерные характеристики волокон в обеих группах оперированных животных были существенно меньше интактного нерва.

Таблица 4

Размерные параметры миелинизированных волокон большеберцового нерва через 4 и 6 мес. после операции, Ме [Q1; Q3]

Параметры	Серия 1 — аутопластика (n = 16)		Серия 2 — аутопластика+ИЭС (n = 14)		Интактный контроль (n = 7)
	4 мес. (n = 7)	6 мес. (n = 7)	4 мес. (n = 8)	6 мес. (n = 8)	
Диаметр волокон (мкм)	3,24 [2,52; 4,03] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,00267^*$	3,50 [2,79; 4,04] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,00982^*$	3,62 [2,91; 4,37] $P^{2-K} = 0,00014^*$	4,05 [3,14; 5,12] $P^{2-K} = 0,00268^*$	6,73 [5,50; 8,75]
Диаметр аксонов (мкм)	2,23 [1,65; 2,87] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,02914^*$	2,42 [1,84; 2,84] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,00450^*$	2,35 [1,82; 2,94] $P^{2-K} = 0,00174^*$	2,71 [2,02; 3,53] $P^{2-K} = 0,0027^*$	4,34 [3,54; 5,18]
Толщина миелинизированных оболочек (мкм)	0,53 [0,40; 0,63] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,02831^*$	0,54 [0,44; 0,62] $P^{1-K} = 0,00119^*$ $P^{1-2} = 0,0027^*$	0,62 [0,50; 0,75] $P^{2-K} = 0,00038^*$	0,67 [0,53; 0,83] $P^{2-K} = 0,00255^*$	1,02 [0,72; 1,30]

P^{1-2} — уровни значимости отличий при сравнении групп нестимулированных и стимулированных оперированных животных по критерию Манна – Уитни; P^{1-K} , P^{2-K} — уровни значимости отличий каждой из групп оперированных животных от интактного контроля по критерию Манна – Уитни; * — различия достоверны при $p < 0,05$

Распределение миелинизированных волокон по диаметру серии 1 и серии 2 достоверно отличалось от распределения в интактном нерве (рис. 4). Даже через 6 мес. после операции оно оставалось унимодальным, количество классов гистограммы уменьшено. Однако и в 4, и в 6 мес. после операции в серии 2 главный пик гистограммы смещен вправо по сравнению с серией 1, а количество классов гистограммы на один больше, и эта разница между сериями через 6 мес. подтверждается статистически (рис. 4).

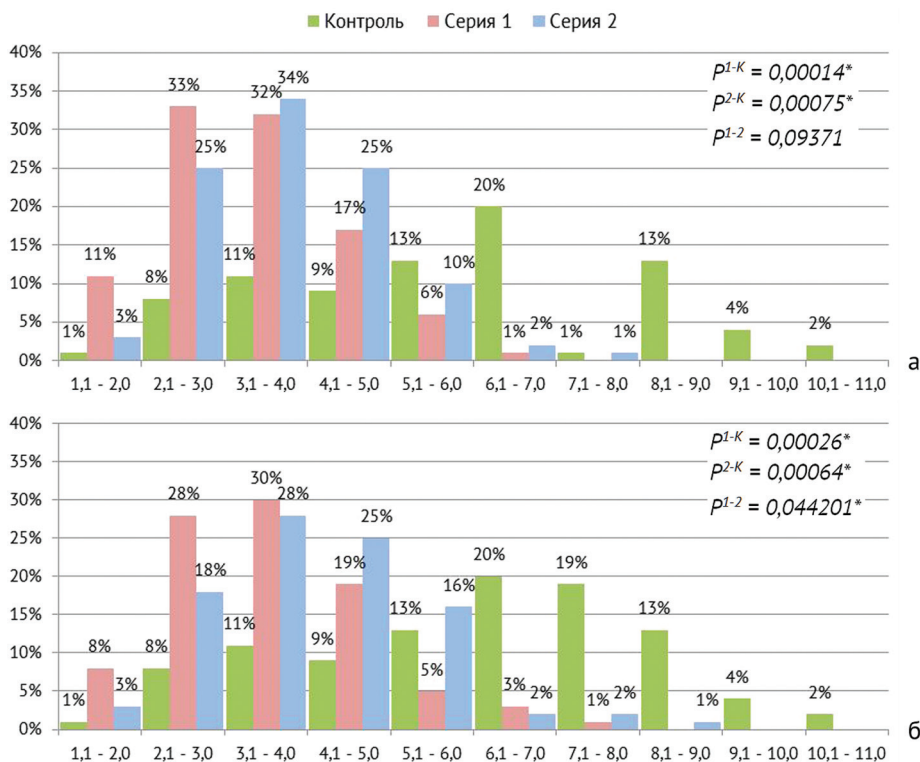


Рис. 4. Гистограммы распределения миелинизированных волокон по диаметрам: а — 4 мес. после операции; б — 6 мес. после операции. Ось абсцисс — диаметры волокон в мкм, ось ординат — их процентные доли в выборке; P^{1-2} — уровни значимости различий между нестимулированными и стимулированными животными серий 1 и 2; P^{1-K} , P^{2-K} — уровни значимости отличий каждой из серий с интактным контролем по критерию Хи-квадрат

Исследование эндоневральной васкуляризации показало, что через 4 мес. после операции в сериях 1 и 2 численные плотности эндоневральных сосудов достоверно превышают интактный контроль на 134 % и 156 %, их средние диаметры — на 18 % и 16 % соответственно, а диаметр просвета возрастает только в серии 2 на 8 % (табл. 5). Снижение параметра «индекс Керногана» в серии 1 на этом сроке относительно контроля свидетельствует об ухудшении пропускной способности кровеносных сосудов. Через 6 мес. в сериях 1 и 2 численные плотности микрососудов снижаются, но достоверно превышают контроль на 66 % и 83 %, средние диаметры — на 14 % и 36 %, диаметры просветов — на 26 % и 50 % соответственно (табл. 5). При этом достоверные различия по параметру «индекс Керногана» между сериями на этом сроке опыта отсутствуют (табл. 5).

Таблица 5

Размерные параметры эндоневральных сосудов большеберцового нерва через 4 и 6 мес. опыта, Ме [Q1; Q3]

Параметры	Серия 1 — аутопластика (n = 16)		Серия 2 — аутопластика+ИЭС (n = 14)		Интактный контроль (n = 7)
	4 мес. (n = 7)	6 мес. (n = 7)	4 мес. (n = 8)	6 мес. (n = 8)	
Численная плотность сосудов	200 [109; 219] $P^{1-K} = 0,01935^*$ $P^{1-2} = 0,25751$	142,13 [130,69; 168,27] $P^{1-K} = 0,00618^*$ $P^{1-2} = 0,715001$	219 [109; 274] $P^{2-K} = 0,00695^*$	156,31 [132; 183] $P^{2-K} = 0,03213^*$	85,64 [82,21; 127,88]
Диаметр сосудов (мкм)	14,49 [12,56; 16,88] $P^{1-K} = 0,00206^*$ $P^{1-2} = 0,854221$	14,08 [11,91; 17,82] $P^{1-K} = 0,00138^*$ $P^{1-2} = 0,01454^*$	14,29 [11,86; 17,53] $P^{2-K} = 0,00743^*$	16,76 [13,45; 19,14] $P^{2-K} = 0,00007^*$	12,32 [9,31; 15,30]
Диаметр просвета (мкм)	4,81 [1,75; 6,72] $P^{1-K} = 0,355172$ $P^{1-2} = 0,126962$	5,97 [3,64; 7,77] $P^{1-K} = 0,06917$ $P^{1-2} = 0,00692^*$	5,10 [3,62; 7,29] $P^{2-K} = 0,49948$	7,09 [5,30; 10,01] $P^{2-K} = 0,00001^*$	4,72 [3,28; 5,92]
Индекс Керногана	0,30 [0,15; 0,43] $P^{1-K} = 0,00075^*$ $P^{1-2} = 0,002664^*$	0,42 [0,30; 0,44] $P^{1-K} = 0,14051$ $P^{1-2} = 0,05255^*$	0,39 [0,28; 0,46] $P^{2-K} = 0,29573$	0,42 [0,39; 0,52] $P^{2-K} = 0,31603$	0,41 [0,32; 0,48]

P^{1-2} — уровни значимости отличий при сравнении групп нестимулированных и стимулированных оперированных животных по критерию Манна – Уитни; P^{1-K} , P^{2-K} — уровни значимости отличий каждой из групп оперированных животных от интактного контроля по критерию Манна – Уитни; * — различия достоверны при $p < 0,05$

ОБСУЖДЕНИЕ

Компенсация функционального дефицита, вызванного повреждением нерва, происходит за счёт трёх механизмов: реиннервации денервированных органов-мишеней путём регенерации повреждённых аксонов, реиннервации за счёт коллатерального спраутинга неповреждённых аксонов, ремоделирования схем центральной нервной системы, относящихся к утраченным функциям [25].

Для оценки выраженности регенерационного компонента морфофункционального восстановления в животных моделях повреждений нервов наиболее информативен метод гистоморфометрии поперечных полутонких срезов дистальнее зоны повреждения, который нашёл широкое применение в доклинических исследованиях нейрорегенерации.

Так, по данным E.F. Oliveira et al., при повреждении седалищного нерва крыс в ранние сроки регенерации (до 2 мес. после операции) отмечена корреляция седалищного функционального индекса с численной плотностью регенерирующих волокон, которая оценена авторами как адекватный инструмент оценки функционального дефицита [26]. По данным R.S. Martins et al., через 6 мес. после операции из 17 исследованных гистоморфометрических и электрофизиологических параметров только средний диаметр миелинизированных волокон проксимальнее и дистальнее зоны повреждения коррелировал с седалищным функциональным индексом [27].

Отмеченная закономерность, по-видимому, не случайна. Радиальный рост аксонов, увеличивающий диаметр регенерировавших волокон, начинается только после контакта конусов роста с органами-мишенями [28]. Однако восстановление нормальных размеров регенерирующих волокон не происходит вплоть до 6 мес. после травмы даже в модели передавливания нерва крыс, когда регенерация аксонов происходит внутри сохранивших целостность эндоневральных трубок [29]. По данным M. Ikeda et al., через 7 мес. после перерезки и шва седалищного нерва крыс средний диаметр регенерировавших нервных волокон не превышал 50 % значения интактного нерва [30].

В нашем исследовании медиана диаметров регенерировавших миелинизированных волокон на уровне средней трети голени составила 52 % от значения интактной группы у нестимулированных крыс и превысила 60 % у стимулированных. Это даёт основание считать, что реиннервация органов-мишеней в наших экспериментах осуществляется активно как у стимулированных, так и нестимулированных животных, но к 6 мес. после аутонейропластики не завершена. Наиболее существенный результат нашего исследования — статистически значимая разница всех размерных параметров регенерирующих нервных волокон в группах нестимулированных и стимулированных животных, доказывающая эффективность однократного 40-минутного сеанса ИЭС проксимального отрезка нерва. Следует также отметить, что разница между стимулированными и нестимулированными животными по всем размерным параметрам миелинизированных волокон через 6 мес. после операции была больше, чем через 4 мес., что указывает на стойкий нейрорегенераторный эффект.

Выполненная в нашем исследовании оценка эндоневральной васкуляризации большеберцового нерва через 4 и 6 мес. после аутонейропластики большеберцовой порции седалищного нерва также свидетельствует о реваскуляризирующем эффекте ИЭС.

Исследования васкуляризации регенерирующих нервов немногочисленны, однако они свидетельствуют об увеличении размеров интраневральных сосудов под действием нейропептидов, а также о ва-

зодилатации и неоангиогенезе, связанных с усилением секреции вазогенных факторов резидентными и рекрутированными макрофагами [31]. В нашем исследовании численная плотность эндоневральных сосудов и их диаметры значимо превышали соответствующие параметры интактных нервов в обеих группах оперированных животных. Однако через 4 мес. после операции диаметр просвета возрастал только у стимулированных крыс на 8 %, что наряду с изменениями индекса Керногана указывает на лучшую пропускную способность эндоневральных сосудов в данной серии по сравнению с нестимулированным контролем. Через 6 мес. после операции гиперваскуляризация эндоневрия сохраняется в обеих сериях, но у стимулированных крыс диаметры эндоневральных сосудов и их просветов достоверно превышают значения нестимулированных на 19 %.

Полученные гистоморфометрические данные согласуются с результатами функциональной оценки.

По данным клинических исследований, хорошее восстановление функции нервов после аутонейропластики могут быть получены только у пациентов моложе 25 лет [32]. В наших экспериментах использованы крысы таких возрастных групп, которые, по данным других авторов, характеризуются снижением уровня антиоксидантов и развитием метаболического синдрома [33]. То есть, результаты нашего исследования могут быть транслированы в клиническую практику для пациентов не только молодого, но и среднего возраста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Значимое увеличение диаметров регенерирующих нервных волокон в большеберцовом нерве, а также диаметров их аксонов и толщины миелинизированных оболочек через 4 и 6 мес. после аутопластики большеберцовой порции седалищного нерва в группе животных с однократной 40-минутной ИЭС проксимального участка седалищного нерва свидетельствует о промотирующем влиянии применённого аддитивного воздействия на регенераторный аксоно- и миелиногенез.

Увеличение просветов и улучшение пропускной способности эндоневральных сосудов большеберцового нерва в серии с ИЭС обеспечило стойкость нейрорегенераторного эффекта.

Функциональная значимость эффектов однократной интраоперационной стимуляции подтверждается достоверно более высоким процентом животных с отличными результатами восстановления статического функционального индекса (50 % против 12,15 % в нестимулированном контроле).

Финансирование. Научная работа финансирована в рамках государственного задания.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Huckhagel T, Nüchtern J, Regelsberger J, et al. Nerve injury in severe trauma with upper extremity involvement: evaluation of 49,382 patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018;26(1):76. doi: 10.1186/s13049-018-0546-6
2. Huckhagel T, Nüchtern J, Regelsberger J, et al. Nerve trauma of the lower extremity: evaluation of 60,422 leg injured patients from the TraumaRegister DGU® between 2002 and 2015. *Scand J Trauma Resusc Emerg Med.* 2018;26(1):40. doi: 10.1186/s13049-018-0502-5
3. Литвиненко И.В., Одинак М.М., Живолупов С.А. и др. Клинико-инструментальные характеристики травматических поражений периферических нервов конечностей. *Вестник Российской Военно-медицинской академии.* 2018;20(3):50-56. doi: 10.17816/brmma12231
4. Ferguson TA, Son YJ. Extrinsic and intrinsic determinants of nerve regeneration. *J Tissue Eng.* 2011;2(1):2041731411418392. doi: 10.1177/2041731411418392
5. Grinsell D, Keating CP. Peripheral nerve reconstruction after injury: a review of clinical and experimental therapies. *Biomed Res Int.* 2014;2014:698256. doi: 10.1155/2014/698256
6. Raginov IS, Chelyshev YA. Post-traumatic survival of sensory neurons of different subpopulations. *Neurosci Behav Physiol.* 2005;35(1):17-20. doi: 10.1023/b:neab.0000049647.19397.30
7. Gordon T. Peripheral Nerve Regeneration and Muscle Reinnervation. *Int J Mol Sci.* 2020;21(22):8652. doi: 10.3390/ijms21228652
8. Lamoureux PL, O'Toole MR, Heidemann SR, Miller KE. Slowing of axonal regeneration is correlated with increased axonal viscosity during aging. *BMC Neurosci.* 2010;11:140. doi: 10.1186/1471-2202-11-140
9. Lemke A, Penzenstadler C, Ferguson J, et al. A novel experimental rat model of peripheral nerve scarring that reliably mimics post-surgical complications and recurring adhesions. *Dis Model Mech.* 2017;10(8):1015-1025. doi: 10.1242/dmm.028852
10. Wang ML, Rivlin M, Graham JG, Beredjiklian PK. Peripheral nerve injury, scarring, and recovery. *Connect Tissue Res.* 2019;60(1):3-9. doi: 10.1080/03008207.2018.1489381
11. Mu L, Chen J, Li J, et al. Immunohistochemical Detection of Motor Endplates in the Long-Term Denervated Muscle. *J Reconstr Microsurg.* 2018;34(5):348-358. doi: 10.1055/s-0038-1627463
12. Borisov AB, Huang SK, Carlson BM. Remodeling of the vascular bed and progressive loss of capillaries in denervated skeletal muscle. *Anat Rec.* 2000;258(3):292-304. doi: 10.1002/(SICI)1097-0185(20000301)258:3<292::AID-AR9>3.0.CO;2-N
13. ElAbd R, Alabdulkarim A, AlSabah S, et al. Role of Electrical Stimulation in Peripheral Nerve Regeneration: A Systematic Review. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2022;10(3):e4115. doi: 10.1097/GOX.0000000000004115

14. Худяев А.Т., Мартель И.И., Самылов В.В. и др. Малоинвазивные методы лечения повреждений периферических нервов. *Гений ортопедии*. 2012;(1):85-88.
15. Бажанов С.П., Шувалов С.Д., Бахарев Р.М. и др. Сравнительный анализ ближайших результатов хирургического лечения пациентов с закрытыми тракционными повреждениями плечевого сплетения. *Гений ортопедии*. 2022;28(5):631-635. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-631-635. EDN: RIGWJV.
16. Wong JN, Olson JL, Morhart MJ, Chan KM. Electrical stimulation enhances sensory recovery: a randomized controlled trial. *Ann Neurol*. 2015;77(6):996-1006. doi: 10.1002/ana.24397
17. McLean NA, Verge VM. Dynamic impact of brief electrical nerve stimulation on the neural immune axis-polarization of macrophages toward a pro-repair phenotype in demyelinated peripheral nerve. *Glia*. 2016;64(9):1546-1561. doi: 10.1002/glia.23021
18. Shapira Y, Sammons V, Forden J, et al. Brief Electrical Stimulation Promotes Nerve Regeneration Following Experimental In-Continuity Nerve Injury. *Neurosurgery*. 2019;85(1):156-163. doi: 10.1093/neuros/nyy221
19. Roh J, Schellhardt L, Keane GC, et al. Short-Duration, Pulsatile, Electrical Stimulation Therapy Accelerates Axon Regeneration and Recovery following Tibial Nerve Injury and Repair in Rats. *Plast Reconstr Surg*. 2022;149(4):681e-690e. doi: 10.1097/PRS.00000000000008924
20. Sayanagi J, Acevedo-Cintrón JA, Pan D, et al. Brief Electrical Stimulation Accelerates Axon Regeneration and Promotes Recovery Following Nerve Transection and Repair in Mice. *J Bone Joint Surg Am*. 2021;103(20):e80. doi: 10.2106/JBJS.20.01965
21. Raslan A, Salem MAM, Al-Hussaini A, et al. Brief Electrical Stimulation Improves Functional Recovery After Femoral But Not After Facial Nerve Injury in Rats. *Anat Rec (Hoboken)*. 2019;302(8):1304-1313. doi: 10.1002/ar.24127
22. Zuo KJ, Shafa G, Antonyshyn K, et al. A single session of brief electrical stimulation enhances axon regeneration through nerve autografts. *Exp Neurol*. 2020;323:113074. doi: 10.1016/j.expneurol.2019.113074
23. Koh GP, Fouad C, Lanzinger W, Willits RK. Effect of Intraoperative Electrical Stimulation on Recovery after Rat Sciatic Nerve Isograft Repair. *Neurotrauma Rep*. 2020;1(1):181-191. doi: 10.1089/neur.2020.0049
24. van Neerven SG, Bozkurt A, O'Dey DM, et al. Retrograde tracing and toe spreading after experimental autologous nerve transplantation and crush injury of the sciatic nerve: a descriptive methodological study. *J Brachial Plex Peripher Nerve Inj*. 2012 A;7(1):5. doi: 10.1186/1749-7221-7-5
25. Navarro X, Vivó M, Valero-Cabré A. Neural plasticity after peripheral nerve injury and regeneration. *Prog Neurobiol*. 2007;82(4):163-201. doi: 10.1016/j.pneurobio.2007.06.005
26. Oliveira EF, Mazzer N, Barbieri CH, Selli M. Correlation between functional index and morphometry to evaluate recovery of the rat sciatic nerve following crush injury: experimental study. *J Reconstr Microsurg*. 2001;17(1):69-75. doi: 10.1055/s-2001-12691
27. Martins RS, Siqueira MG, da Silva CF, Plese JP. Correlation between parameters of electrophysiological, histomorphometric and sciatic functional index evaluations after rat sciatic nerve repair. *Arq Neuropsiquiatr*. 2006;64(3B):750-756. doi: 10.1590/s0004-282x2006000500010
28. Regeneration of Neural Tissues. In: Stocum DL. *Regenerative Biology and Medicine* (Second Edition). San Diego: Academic Press Publ.; 2012:67-97.
29. Muratori L, Ronchi G, Raimondo S, et al. Can regenerated nerve fibers return to normal size? A long-term post-traumatic study of the rat median nerve crush injury model. *Microsurgery*. 2012;32(5):383-387. doi: 10.1002/micr.21969
30. Ikeda M, Oka Y. The relationship between nerve conduction velocity and fiber morphology during peripheral nerve regeneration. *Brain Behav*. 2012;2(4):382-390. doi: 10.1002/brb3.61
31. Caillaud M, Richard L, Vallat JM, et al. Peripheral nerve regeneration and intraneural revascularization. *Neural Regen Res*. 2019;14(1):24-33. doi: 10.4103/1673-5374.243699
32. Kuffler DP, Foy C. Restoration of Neurological Function Following Peripheral Nerve Trauma. *Int J Mol Sci*. 2020;21(5):1808. doi: 10.3390/ijms21051808
33. Ghezzi AC, Cambri LT, Botezelli JD, et al. Metabolic syndrome markers in wistar rats of different ages. *Diabetol Metab Syndr*. 2012;4(1):16. doi: 10.1186/1758-5996-4-16

Статья поступила 02.12.2022; одобрена после рецензирования 17.01.2023; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 02.12.2022; approved after reviewing 17.01.2023; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Наталья Анатольевна Шудло — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, nshchudlo@mail.ru;

Татьяна Николаевна Варсегова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, varstn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>;

Татьяна Анатольевна Ступина — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>.

Information about the authors:

Natalya A. Shchudlo — Doctor of Medical Sciences, leading researcher, nshchudlo@mail.ru;

Tatyana N. Varsegova — Candidate of Biological Sciences, senior researcher, varstn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>;

Tatyana A. Stupina — Doctor of Biological Sciences, leading researcher, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>.

Научная статья

УДК 004.9:67.02:617.578-089.844

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-427-437>

Новые технологии реконструкции пальцев кисти с применением 3D-печати

Н.М. Александров✉, **И.Д. Вешаев**

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

Автор, ответственный за переписку: Николай Михайлович Александров, aleksandrov-chetai@rambler.ru

Аннотация

Введение. Применение 3D-технологии при реконструкции пальцев обеспечивает прецизионность вмешательства, минимизацию донорского изъяна, оптимизацию внешнего вида и функции пальца. Использование данной технологии при реконструкции пальцев кисти за счет лучевого кожно-костного лоскута с осевым кровоснабжением и дистракционного удлинения культей пальцев и пястных костей остается малоизученным.

Цель работы — продемонстрировать новые способы предоперационного планирования и реконструкции пальцев, улучшающие результаты оперативного лечения.

Материалы и методы. Ретроспективно оценены результаты лечения пяти пациентов, у которых при предоперационном планировании, реконструкции первого пальца за счет кожно-костного лучевого лоскута с осевым кровоснабжением, перемещения культи третьего пальца и дистракционного удлинения культей первой и второй пястных костей применены оригинальные способы, основанные на 3D-технологии. У всех больных достигнута консолидация интерпозиционных костных аллотрансплантатов при дистракционном удлинении культей пальцев, стабильность костной основы пальца, органотипическая перестройка краевого аллотрансплантата при пластике лучевым кожно-костным лоскутом и функционально-выгодное положение первого пальца после перемещения культи третьего.

Результаты и обсуждение. Индивидуальное устройство для планирования реконструкции пальца дает возможность определить оптимальную величину и положение пальца в трех плоскостях, что имеет значение при лечении больных с тяжелыми деформациями кисти, позволяет избежать выполнения корригирующих вмешательств. Использование индивидуального направителя при остеотомии лучевой кости для формирования кровоснабжаемого трансплантата позволяет не только сформировать вырез заданных размеров и формы, но и идентичный по форме и размерам кортикально-губчатый аллотрансплантат для замещения донорского дефекта кости. Комбинированное применение технологии Masquelet и метода дистракции при удлинении культи пальца или пястной кости улучшает условия консолидации и перестройки интерпозиционного аллотрансплантата, обеспечивает профилактику его переломов и инфицирования.

Заключение. Применение 3D-технологии при реконструкции пальцев кисти за счет кожно-костного лучевого лоскута с осевым кровоснабжением и метода дистракции культей пальцев и пястных костей позволяет улучшить результаты оперативного лечения.

Ключевые слова: метод Илизарова, методика Masquelet, 3D-печать, культя пальца, кожно-костный лучевой лоскут

Для цитирования: Александров Н.М., Вешаев И.Д. Новые технологии реконструкции пальцев кисти с применением 3D-печати. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):427-437. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-427-437. EDN: TDYYAG.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-427-437>



New finger reconstruction technologies using 3D printing

N.M. Aleksandrov✉, I.D. Veshaeв

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

Corresponding author: Nikolay M. Alexandrov, aleksandrov-chetai@rambler.ru

Abstract

Introduction The use of 3D printing technology in finger reconstruction improves accuracy of the procedure minimizing the donor defect and optimizing the appearance and function of the finger. The use of this technology in the finger reconstruction with an osteocutaneous radial forearm flap with axial blood supply and lengthening of the digital stumps and metacarpals remains poorly explored.

The objective of the study was to demonstrate new methods of preoperative planning for finger reconstruction and improve surgical outcomes.

Material and methods Outcomes of five patients treated with original methods based on 3D technology were retrospectively evaluated during preoperative planning, reconstruction of the thumb using an osteocutaneous radial forearm flap with axial blood supply, relocation of the stump of the third finger and lengthening of the stumps of the first and second metacarpals. The patients could achieve consolidation of interpositional bone allografts following lengthening of the finger stumps, stability of the bone base of the finger, organotypic restructuring of the marginal allograft during plastic surgery with an osteocutaneous radial forearm flap, and a functional position of the reconstructed thumb using the middle finger stump.

Results and discussion An individual device for planning finger reconstruction allows identification of the optimal size and position of the finger in three planes, which is essential for patients with severe hand deformities to avoid corrective procedures. An individual guide was used to osteotomize the radius to harvest a vascularized graft providing a cutout of a given size and shape and a cortical-cancellous allograft being identical in shape and size to replace the donor bone defect. The combined use of Masquelet technology and distraction of the finger stump or a metacarpal improved conditions for consolidation and restructuring of the interpositional allograft preventing fractures and infection.

Conclusion The use of 3D technology in finger reconstruction using an osteocutaneous radial forearm flap with axial blood supply and distraction of the finger stumps and metacarpals can improve surgical outcomes.

Keywords: Ilizarov method, Masquelet technique, 3D printing, finger stump, osteocutaneous radial forearm flap

For citation: Aleksandrov NM, Veshaeв ID. New finger reconstruction technologies using 3D printing. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):427-437. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-427-437

ВВЕДЕНИЕ

За последнее десятилетие технология трехмерной печати получила развитие в медицине, она открывает новые перспективы в научных исследованиях, обучении персонала и в индивидуальном подходе к лечению, позволяя повысить его эффективность [1–3]. По мнению специалистов, в хирургии трехмерную печать можно использовать для создания геометрически сложных и высокодетализированных персонализированных конструкций и их одноразового изготовления, для предоперационного планирования, проектирования ортопедических изделий и протезирования в соответствии с конкретными требованиями хирурга и пациента [3–6], для создания вспомогательных средств, адаптированных для конкретного пациента, для интраоперационного использования, создания аппаратных средств и индивидуальных устройств, протезов для имплантации, быстрого создания прототипов хирургически имплантируемых изделий, а также приложений для обучения стажеров [7–10]. Преимуществом технологии является то, что индивидуальные имплантаты и слепки могут быть изготовлены в соответствии с анатомией конкретного человека [9, 11]. Вместе с тем, применению этой технологии в хирургии кисти посвящено небольшое количество исследований. В литературе имеются немногочисленные публикации о применении технологии при пересадке пальцев стопы и замещении донорского дефекта лоскутами на микрососудистых анастомозах. Это позволило сократить время работы за счет предоставления цифровых и точных схем для выполнения операции. Авторами создана модель большого пальца и второго пальца стопы, чтобы понять размеры заимствования тканей из донорской области. Эта модель также применена для устранения дефекта донорского участка путем использования соответствующих кожно-костных лоскутов подвздошной кости на поверхностных огибающих подвздошную кость артериях [9]. Сообщается о предоперационном планировании реконструкций большого пальца с пересадкой второго пальца стопы с использованием 3D-печати. Компьютерная ангиография (КТ-ангиография) использована для картирования сосудистой сети донорского участка, тогда как данные КТ — для создания трехмерных моделей мягких тканей и скелета поврежденных и неповрежденных рук. На основе переформатированной модели (зеркало неповрежденной руки) с помощью 3D-принтера созданы модели мягких тканей и скелета пальцев. Модель пальца использована также для определения уровня остеотомии на донорской стопе. Это позволило оптимизировать функцию и внешний вид реконструированного большого пальца, минимизируя повреждение донорского участка [12, 13]. Метод позволяет точно рассчитать размеры кожи и костей донорского участка в качестве эталона для хирургической операции и выполнить операцию в соответствии с моделью [14]. Технологию применяют также с целью моделирования размеров кожно-жирового лоскута для замещения дефектов мягких тканей пальца в экстренных случаях [15], при трансплантации кисти [16]. Вместе с тем, в настоящее время не изучены возможности и перспективы применения 3D-технологии при других методах реконструкции пальцев. Нуждаются в изучении различные аспекты пред- и интраоперационного использования 3D-технологии при кожно-костной реконструкции пальцев кисти и дистракционном удлинении культей пальцев и пястных костей, направленные на оптимизацию планирования лечения и прецизионности вмешательства, на улучшение результатов, уменьшение донорского изъяна и частоты развития осложнений.

Цель работы — продемонстрировать новые способы предоперационного планирования и реконструкции пальцев, улучшающие результаты оперативного лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективно мы оценили результаты кожно-костной реконструкции лучевым лоскутом первого пальца у двух больных, дистракционного удлинения культей первой и второй пястных костей у двух больных, перемещения культи третьего пальца у одного больного по разработанным технологиям. У обоих больных планирование реконструкции первого пальца выполнено с применением разработанного устройства.

Техническое исполнение

Патент РФ 211603 «Устройство для предоперационного планирования реконструкции первого пальца кисти» [17].

Устройство для предоперационного планирования пальца кисти создано с помощью гибридного параметрического моделирования, топологической оптимизации и аддитивных технологий 3D-печати. Оно снабжено ложементом для культи пальца, зафиксированным на кисти лентой Велкро или лейкопластырем, дистальная часть ложемента соединена с помощью шарового шарнира с возможностью фиксации в определенном положении с втулкой, соединенной с поршнем с возможностью выдвижения и фиксации достигнутого положения резьбовым стержнем с последующим измерением длины восстанавливаемого пальца и углов его фиксации к культе I пальца (рис. 1, а, б).

Патент РФ 2747694 «Способ кожно-костной реконструкции пальца кисти и направитель для его осуществления» [18].

Предварительно по данным компьютерной томографии создавали индивидуальную модель лучевой кости, а затем с помощью этой модели — направитель для забора трансплантата на донорском участке кости (рис. 2). Направитель для реализации способа кожно-костной реконструкции пальца кисти содержит паз для установки лезвия пилы и центральное осевое отверстие, изготавливается индивидуально по данным компьютерной томографии с помощью 3D-печати в зависимости от планируемых размеров и формы трансплантата. Направитель по длине у дистального конца больше планируемого трансплантата не менее чем на 1 см, по длине у проксимального конца — не менее чем на 2,5 см. Устройство состоит из двух равных частей — ладонной и тыльной. Осевое отверстие прецизионно соответствует внешней поверхности лучевой кости в области формирования планируемого трансплантата. Паз для полотна пилы — ладьевидной формы, посередине в области дистального конца направителя выполнена сплошная прорезь шириной 2 мм для размещения межмышечной перегородки и содержащихся в ней сосудов. В его проксимальном конце выполнен соединительный элемент по типу «выступ-паз» и два отверстия для спиц (рис. 2, а, б).

Патент РФ 2796438 «Способ дистракционного удлинения культи пястной кости» [19].

На этапе предоперационного планирования после компьютерной томографии кисти определена область остеотомии и необходимые размеры дистрагируемого дистального фрагмента пястной кости и его поперечного сечения на уровне остеотомии. Затем с помощью гибридного параметрического моделирования сформирован макет спейсера полый цилиндрической формы (рис. 3). Длина и внутренний диаметр спейсера определены в зависимости от планируемой дистракции. Внутреннее поперечное сечение спейсера соответствует поперечному сечению дистрагируемой пястной кости на расстоянии 0,5 см от места планируемой поперечной остеотомии. Стенка спейсера имеет толщину 1 мм. Спейсер имеет полуоткрытый сквозной продольный прямоугольный паз шириной 2 мм. Торцевой край паза заканчивается на расстоянии 0,5 см от противоположного края спейсера длиной 1,5 см. Концы спейсера должны надеваться на глубину 0,5 см на концы проксимального и дистального костных фрагментов и с учетом диастаза костных фрагментов на 0,5 см. На основе изготовленного спейсера из полимерного материала PLA создана матрица с помощью технологии 3D-печати. Во время операции матрицу заполняют костным цементом, содержащим гентамицин. После затвердевания костного цемента спейсер извлекают. С помощью осцилляторной пилы выполняют поперечную остеотомию пястной кости в области ее средней трети. Изготовленный спейсер из костного цемента надет сплошным концом на проксимальный конец дистального фрагмента пястной кости. Через дистальный фрагмент пястной кости и осевое отверстие спейсера проведена интрамедуллярно спица Киршнера. Проксимальный конец спицы изогнут П-образно, короткая бранша спицы заведена в паз спейсера до упора областью изгиба в торцевой край закрытой части паза и проксимальный конец дистального фрагмента. Дистальный конец спицы выведен наружу. Второй конец спейсера с пазом надет на проксимальный фрагмент пястной кости. Выполнен монтаж аппарата Илизарова с базовым кольцом на предплечье и выносными винтовыми тягами. К винтовым тягам аппарата фиксирован дистальный конец интрамедуллярной спицы. Ушита послеоперационная рана. Через 5 дней после операции осуществлена постепенная дистракция дистального фрагмента вместе с цементным спейсером по 1 мм в день. После завершения дистракции дистального фрагмента пястной кости выполнен второй этап операции. При этом образовавшаяся остеогенная мембрана рассечена вдоль на всем протяжении дистракционного дефекта и концов фрагментов пястной кости. Удалена интрамедуллярная спица и спейсер с сохранением дистракционного регенерата. Выполнена пластика дистракционного дефекта кортикально-губчатом аллотрансплантатом, поперечные размеры которого не превышали наружный диаметр спейсера. При этом сохранены образовавшиеся дистракционные регенераты в области дистального и проксимального фрагментов пястной кости. Выполнен остеосинтез костных фрагментов и трансплантата спицами. Ушита образовавшаяся остеогенная капсула узловыми рассасывающимися швами над всей поверхностью трансплантата и областью его контактов с фрагментами пястных костей. Послойно ушита подкожная клетчатка и кожа над остеогенной капсулой.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клинические примеры

Больной Ч., 45 лет, находился в клинике ПИМУ после тяжелой механической травмы по поводу культи I пальца на уровне головки пястной кости, приводящей контрактуры первой пястной кости тяжелой степени, культи III и деформации IV пальцев, сгибательных контрактур II пальца в межфаланговых суставах, внутрисуставного многооскольчатого перелома головки основной фаланги, локтевой девиации средней фаланги IV пальца правой кисти (рис. 1, в). Пациент желал восстановить щипковый схват I с сохранившимся II пальцем. При поступлении функциональные возможности кисти резко ограничены, схват кисти

отсутствует, движения в пястно-фаланговом, межфаланговом суставах II пальца, запястно-пястном суставе культи первой пястной кости возможны в объеме 15–20°. Длина культи первого пальца составляет 5,5 см. В связи с отсутствием функции схвата кисти решено восстановить I палец методом перемещения культи III пальца, так как больной отказался от пересадки пальца стопы и кожно-костной реконструкции I пальца с использованием лучевого лоскута. Ограничение функции II пальца и отсутствие перспектив на ее улучшение, наличие приводящей контрактуры первой пястной кости обусловило необходимость определения адекватной длины и положения формируемого I пальца. Перед операцией после установки клинико-рентгенологического диагноза выполнена компьютерная томография поврежденной кисти. Затем с помощью гибридного параметрического моделирования, топологической оптимизации и аддитивных технологий 3D-печати сформировано индивидуальное устройство для определения величины и положения формируемого пальца в зависимости от величины культи III пальца. Устройство позволило определить длину формируемого пальца и его положение в трех плоскостях. Втулка устройства по размерам соответствовала размерам перемещаемой культи III пальца. Устройство фиксировано к культe I пальца с помощью клейкой ленты Велкро, проведенной через ушки ложементов. Пациенту проведено функциональное тестирование кисти с захватом предметов маленькой, средней и большой величины с использованием фиксированного к культe I пальца устройства. Путем постепенного выдвигания и фиксации поршня с помощью гайки резьбового стержня, а также изменения положения втулки вместе с поршнем в трех плоскостях с фиксацией шарнира стопором эмпирически определены положение и длина формируемого I пальца, обеспечивающие возможность выполнения щипкового схвата с деформированным II пальцем. При этом учитывали также и профессиональные требования пациента к восстанавливаемой функции схвата. Произведено измерение длины I пальца, его положения во фронтальной, сагиттальной и горизонтальной плоскостях. Длину пальца измеряли от основания втулки до дистального конца поршня, она составила 6,5 см. Измеряли с помощью угломера угол лучевого, ладонного отведения, ротации втулки вместе с поршнем. Величина ладонного отведения составила 45°, лучевого отведения 35°, ротации втулки с поршнем — 90°. Эти параметры соответствовали положению и длине перемещенной в позицию I пальца культи III пальца. Согласно измерениям, длина формируемого пальца вместе с пястной костью должна была составить 11,5 см (на здоровой кисти длина I пальца вместе с пястной костью составляла 10 см). Полученные размеры и углы фиксации перемещенной культи использованы во время операции перемещения культи III пальца и фиксации ее к культe первой пястной кости. В результате достигнут щипковый хват сформированного I пальца с культей средней фаланги II пальца, а также с IV, V пальцами. Необходимости в выполнении корректирующих операций по изменению положения I пальца после операции не возникло. Пациент быстро приспособился к восстановленному схвату кисти, удерживал предметы малой и средней величины с помощью I и II пальцев, большой величины — с использованием I и сохранившихся IV, V пальцев, активно использовал сформированный I палец в бытовой и производственной деятельности. Расстояние между I и II пальцами при максимальном отведении I пальца и разгибании II пальца составило 7 см (на здоровой кисти — 12 см), восстановлена функция отведения I пальца и приведения его к II (рис. 1, в, г, д).

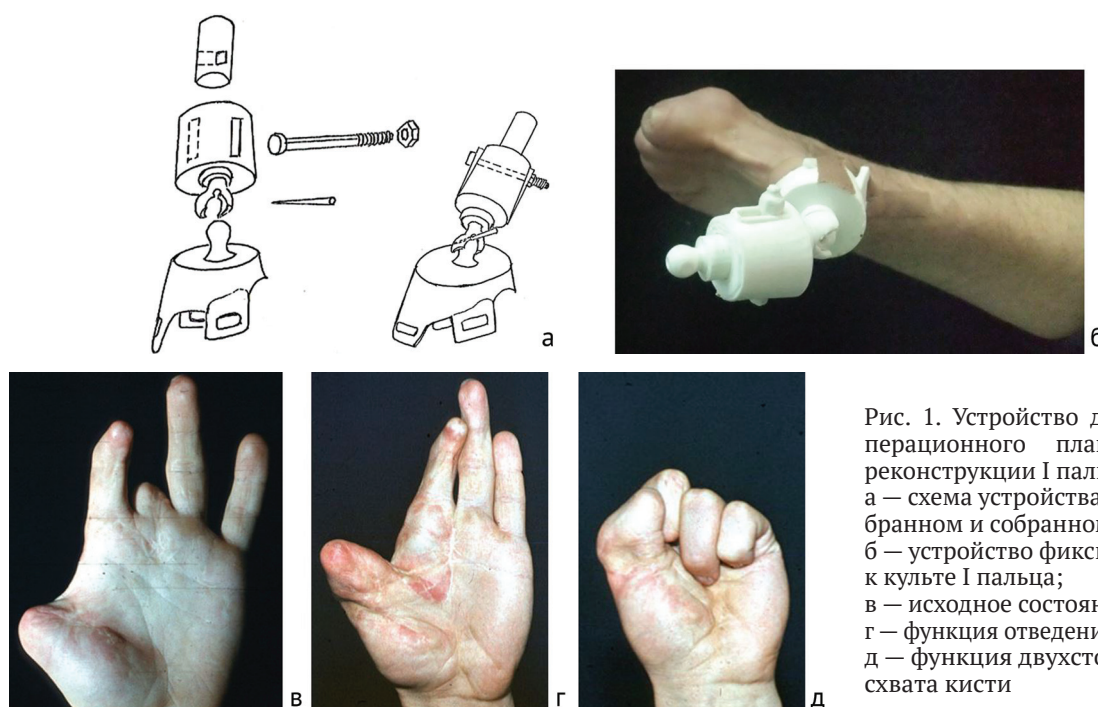


Рис. 1. Устройство для предоперационного планирования реконструкции I пальца кисти: а — схема устройства в разобранном и собранном виде; б — устройство фиксировано к культe I пальца; в — исходное состояние кисти; г — функция отведения I пальца; д — функция двухстороннего схвата кисти

Больная С., 25 лет, находилась в клинике ПИМУ по поводу культи I пальца левой кисти на уровне основания основной фаланги, дефекта мягких тканей лучевого края кисти (рис. 2, з). Пациентка пострадала на производстве 07.06.19, когда ее левая кисть попала под валки обрабатывающего станка. При поступлении больной сформированы мягкие ткани I пальца и замещен дефект мягких тканей на кисти за счет пластики несвободным паховым осевым кожно-жировым лоскутом (13.06.19).



Рис. 2. Способ кожно-костной реконструкции пальца кисти и направитель для его осуществления: а — прецизионный направитель в разобранном виде, ладонная и тыльная части направителя; б — направитель в собранном виде; в — применение направителя для формирования кровоснабжаемого трансплантата; г — применение направителя для формирования кортикально-губчатого аллотрансплантата для замещения краевого дефекта лучевой кости; д — выполнены аллопластика донорского дефекта лучевой кости и профилактическая ее фиксация на костной пластине; е — рентгенограмма кисти и предплечья после операции; ж — рентгенограмма кисти и предплечья через год после операции; з — внешний вид кисти при поступлении; и — функция отведения I пальца; к — функция схвата кисти

Следующим этапом 10.02.20 выполнена кожно-костная реконструкция I пальца левой кисти за счет перемещения кожно-костного лучевого лоскута на периферической сосудистой ножке. Перед операцией определены необходимые размеры костного остова восстанавливаемого пальца, размеры и форма трансплантата лучевой кости, длина его сосудистой ножки, выполнена компьютерная томография костей предплечья.

После этого с помощью гибридного параметрического моделирования, топологической оптимизации и аддитивных технологий 3D-печати изготовлен персонафицированный направитель для остеотомии лучевой кости. Во время операции мобилизована лучевая артерия с кожно-жировым лоскутом с сохранением межмышечной перегородки с септальными и надкостничными сосудами в области забора трансплантата. Две части направителя приложены к области остеотомии и соединены между собой. Затем направитель единым блоком временно фиксирован к области забора трансплантата лучевой кости спицами (рис. 2, в). При этом межмышечная перегородка с септальными сосудами уложена в сплошную прорезь направителя с целью профилактики их повреждения, лучевая артерия расположена на боковой его поверхности. Выполнена краевая ладьевидная остеотомия лучевой кости с использованием направителя. При этом при ведении пилы ее полотно прижимали к пазу направителя. В результате сохранена целостность септальных и надкостничных сосудов, отходящих от лучевой артерии, и адекватное кровоснабжение трансплантата, получена ровная плоскость опилов. С использованием этого же направителя выпилен бессосудистый кортикально-губчатый аллотрансплантат (рис. 2, г), прецизионно соответствующий по длине, толщине и форме образовавшемуся краевому дефекту лучевой кости и сформированному кровоснабжаемому трансплантату, но превышающий его по ширине на 0,5 см. Бессосудистый аллотрансплантат уложен в дефект лучевой кости и фиксирован двумя спицами, выполнена профилактическая фиксация лучевой кости накостной пластиной (рис. 2, д, е). Краевой бессосудистый костный трансплантат лучевой кости полностью конгруэнтен дефекту и плотно прилегает к нему. Кровоснабжаемый трансплантат лучевой кости вместе с кожным лоскутом перемещен на культю первой пястной кости и сформирован I палец. Послеоперационное течение гладкое. Раны зажили первичным натяжением. Кожный лоскут прижился полностью, что свидетельствует о сохранении и функционировании септальных сосудов. Через два месяца после операции определены отчетливые признаки консолидации трансплантата из лучевой кости, что свидетельствует о сохранении надкостничных сосудов и его кровоснабжения. В отдаленном послеоперационном периоде не выявлено патологического перелома лучевой кости, достигнуты полная консолидация и перестройка аллотрансплантата с полным устранением краевого дефекта (рис. 2, ж). Больная осмотрена через два года после операции. Длина восстановленного пальца составила 55 мм, что соответствует послеоперационным данным и длине интактного I пальца другой кисти. Сформированный палец занимает функционально-выгодное положение. Восстановлен двухсторонний схват кисти. Расстояние между концами V пальца и восстановленного I пальца при его максимальном отведении составляет 19,5 см, как и на здоровой кисти. Определялась болевая и температурная чувствительность восстановленного I пальца. Рубец донорской раны на предплечье нормотрофический, незначительный, беспокойства больной не причинял. Восстановлена функция противопоставления первого пальца: тест Капанджи показал результат 9 баллов. На контрольных рентгенограммах левой кисти отмечена полная консолидация первой пястной кости и кровоснабжаемого трансплантата лучевой кости. Восстановлены функция I пальца и схвата кисти (рис. 2, и, к). Признаков резорбции сформированного костного остова I пальца левой кисти нет. Также на контрольных рентгенограммах предплечья через два года после операции отмечены полная консолидация и замещение донорского дефекта лучевой кости аллотрансплантатом, что имеет решающее значение в профилактике патологического перелома в донорской области.

Больная А., 22 лет, поступила в клинику ПИМУ по поводу культей I, II, III, IV пальцев на уровне проксимальных третей основных фаланг, культя V пальца на уровне дистальной трети основной фаланги левой кисти (рис. 3, а). Пациентка пострадала на производстве 19.10.21 в результате того, что кисть попала во вращающийся механизм станка. По поводу размождения I–V пальцев в экстренном порядке выполнена первичная хирургическая обработка ран, сформированы культя всех пальцев кисти. В послеоперационном периоде отмечали некрозы кожных лоскутов на торцах культей пальцев. После выполнения некрэктомии сформировались дефекты мягких тканей размерами 2 см на 6 см. При поступлении в клинику на торцах культей пальцев имеются тонкие, изъязвляющиеся рубцы, спаянные с подлежащими костями, схват кисти отсутствует (рис. 3, а). Предварительно выполнено замещение дефектов на торцевой поверхности культей II–IV пальцев и I пальца за счет пластики стеблем Филатова с образованием петли (06.04.22 и 17.05.22) (рис. 3, б). При повторном поступлении 14.09.22 выполнен первый этап дистракционного удлинения культей первой и второй пястных костей с целью восстановления функции двухстороннего схвата кисти по разработанной технологии (рис. 3). Перед операцией определены необходимые размеры поперечного сечения первой и второй пястных костей на уровне их середины и с отступом на 0,5 см от середины. Они оказались равными 10 мм. После этого с помощью гибридного параметрического моделирования, топологической оптимизации смоделированы матрица и спейсер полый цилиндрической формы так, что его поперечное сечение соответствовало поперечному сечению дистрагируемой пястной кости на расстоянии 0,5 см от места поперечной остеотомии. Длина спейсера — 1,5 см, толщина стенки спейсера — 1 мм. Спейсер имел полуоткрытый сквозной продольный прямоугольный паз шириной 2 мм и длиной 1 см. С помощью аддитивных технологий 3D-печати выполнена матрица из PLA (рис. 3, в). Во время операции проведены поперечные остеотомии I и II пястных костей на уровне их середины. Матрица наполнена костным цементом, после затвердения которого сформирован спейсер в виде полого цилиндра. Изготовленный спейсер надет сплошным концом на проксимальный конец дистального фрагмента второй пястной кости (рис. 3, г). Через дистальный фрагмент пястной кости и осевое отверстие спейсера интрамедуллярно проведена спица Кишнера. Проксимальный конец спицы изогнут П-образно, короткая бранша спицы заведена в паз спей-

сера до упора областью изгиба в торцевой край закрытой части паза и проксимальный конец дистального фрагмента. Дистальный конец спицы выведен наружу. Второй конец спицы надет на проксимальный фрагмент пястной кости. На первой пястной кости проведена аналогичная дистрагирующая спица без применения спейсера. К винтовым тягам базового кольца аппарата Илизарова фиксированы дистальные концы интрамедуллярных спиц.

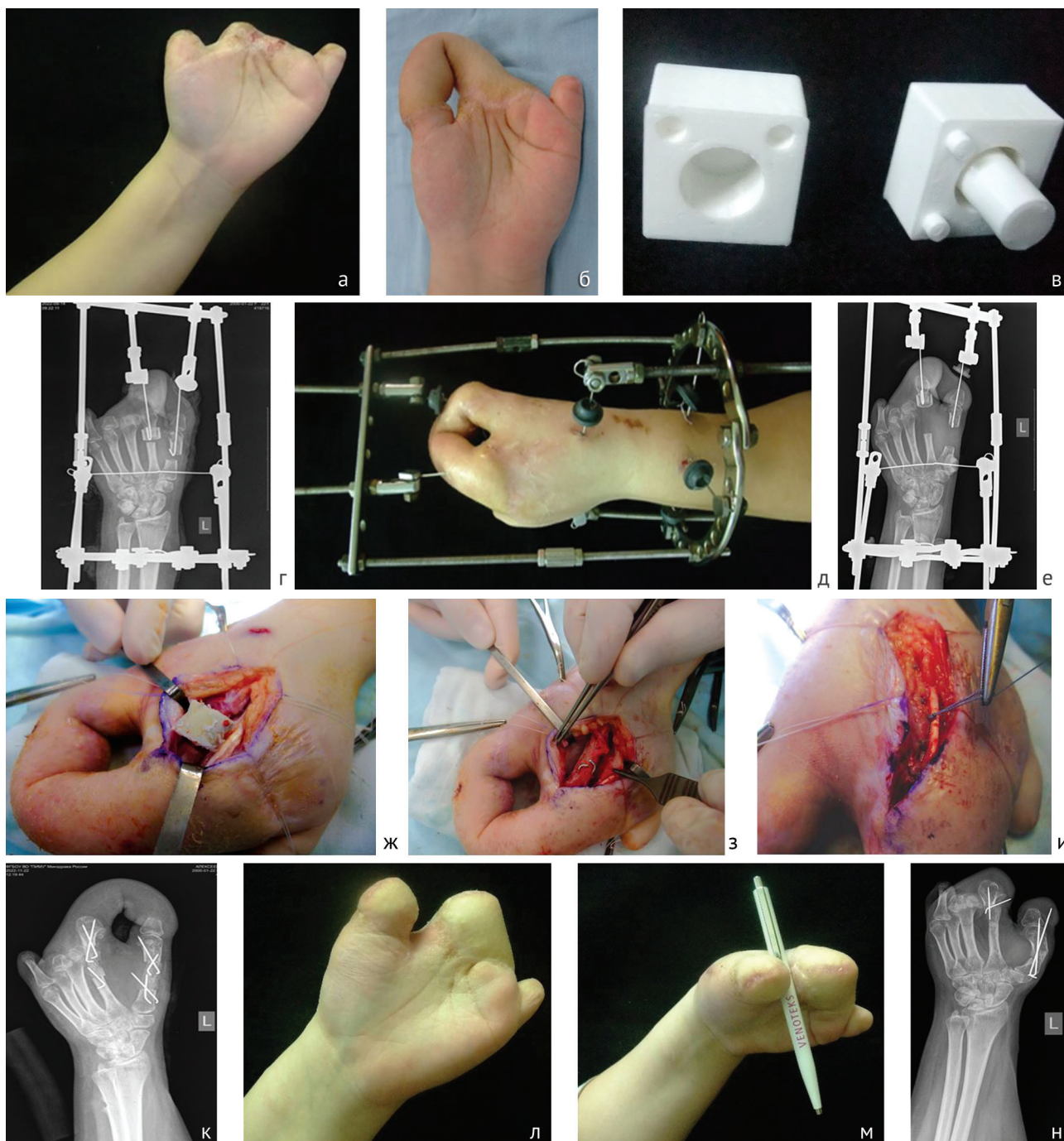


Рис. 3. Способ дистракционного удлинения культи пястной кости: а — внешний вид кисти до операции; б — внешний вид кисти после пересадки стебля Филатова; в — внешний вид матрицы для интраоперационного изготовления полого цилиндрического спейсера; г — рентгенограмма кисти до начала дистракции культи второй пястной кости вместе с цилиндрическим спейсером; д — внешний вид кисти после завершения дистракции в аппарате Илизарова; е — рентгенограмма кисти после завершения дистракции культи второй пястной кости вместе с цилиндрическим спейсером; ж — внешний вид цилиндрического спейсера из костного цемента после завершения дистракции; з — выполнено замещение дистракционного дефекта второй пястной кости кортикально-губчатым аллотрансплантатом, определяется хорошо выраженная индуцированная мембрана на всем протяжении дефекта; и — индуктивная капсула ушита над трансплантатом; к — рентгенограмма левой кисти после второго этапа реконструктивной операции; л — функция отведения культи первого луча; м — функция схвата кисти; н — рентгенограмма кисти через 6 месяцев после операции

После операции проведена постепенная дистракция фрагментов пястных костей по 1 мм в день (рис. 3, д). Достигнуто разведение костных фрагментов на 35 мм. 15.11.22 выполнен второй этап дистракционного удлинения, при этом снят аппарат внешней фиксации, выполнен разрез по послеоперационному рубцу. Отмечено, что образовалась хорошо выраженная гиперваскулярная индуцированная капсула на всем протяжении дистракционного дефекта с захождением ее на концы костных фрагментов на 0,5 см. Капсула на всем своем протяжении имела одинаковую равномерную толщину стенки, равную 2 мм. Образовавшаяся капсула рассечена продольно на всем протяжении дистракционного дефекта и концов фрагментов пястной кости. Удалены интрамедуллярные спицы и спейсер (рис. 3, ж). В области проксимального конца дистального фрагмента сформирован эндостально расположенный костный регенерат длиной 1,5 см. В области торца проксимального фрагмента определялись краевые пластинчатые костные регенераты длиной 1 см и зрелый регенерат в виде шипа, имевший костную структуру. Выполнена пластика дистракционного дефекта кортикально-губчатым аллотрансплантатом, поперечные размеры которого не превышали наружный диаметр спейсера (рис. 3, з). При этом сохранены образовавшиеся дистракционные регенераты в области дистального и проксимального фрагментов. Выполнен остеосинтез костных фрагментов и трансплантатов спицами. Ушита образовавшаяся остеогенная капсула узловыми рассасывающимися швами над трансплантатом и областью его контактов с фрагментами пястных костей (рис. 3, и). В результате трансплантат и область его контактов с фрагментами пястной кости полностью укрыты остеогенной капсулой. Послойно ушита подкожная клетчатка и кожа над остеогенной капсулой. Следует отметить, что на первой пястной кости дистракционный регенерат менее выражен. Выполнена также пластика дефекта кортикально-губчатым аллотрансплантатом с фиксацией спицами (рис. 3, к). Кисть иммобилизована гипсовой лонгетой сроком на пять недель. Раны зажили первичным натяжением. После снятия лонгеты отмечается консолидация костных фрагментов с трансплантатами по типу первичного заживления, больше выраженная на второй пястной кости. Через два месяца выполнено разделение петли стебля Филатова, сформированы дистальные отделы I и II пальцев. Большая осмотрена через шесть месяцев после операции. Длина первого луча составляет 8 см, второго — 9 см. Расстояние между торцами культей при отведении первого луча — 4 см (рис. 3, к). В результате проведенного лечения восстановлена функция двухстороннего схвата кисти (рис. 3, л). Удлиненные культы имели адекватное мягкотканное покрытие, без признаков пролабирования дистальных отделов. На R-граммах кисти определяли признаки консолидации и перестройки аллотрансплантатов (рис. 3, м).

ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность реконструктивного вмешательства предопределяется его адекватно проведенным планированием. Предоперационные 3D-модели для планирования реконструкции пальца представляют собой жесткую интегральную конструкцию, не позволяющую изменять размеры и положение отдельных его частей, имитирующих фаланги пальца, в различных плоскостях. Кроме того, известные предоперационные модели применяют при изолированном отсутствии I пальца, когда определения функционального положения суставов относительно остальных поврежденных пальцев не требуется [13, 14]. Это затрудняет выбор оптимальной позиции восстановленного пальца относительно сохранившихся сегментов кисти при ее тяжелой деформации. Известный способ планирования величины удлинения позволяет определить оптимальную длину I пальца при дистракционном удлинении его культы индивидуально в каждом конкретном случае, но лишено возможности определения функционально-выгодного положения формируемого пальца относительно сохранившихся пальцев [20]. При реализации нашего способа создается индивидуальная модель пальца с изменяемыми биомеханическими параметрами, обеспечивается активное участие самого пациента в планировании операции. Разработанная модель имеет регулируемые биомеханические параметры (длина I пальца, положение его фаланг в суставах и относительно продольной оси). Устройство представляет собой индивидуальную разборную конструкцию, компоненты которой в зависимости от характера дефекта кисти и метода реконструкции могут имитировать основную и ногтевую фаланги с возможностью изменения их положения в суставах и ротационного положения, а также изменения длины модели основной фаланги. Устройство позволяет избежать выполнения корригирующих вмешательств на восстановленном пальце по изменению его положения.

Проблема минимизации донорского изъяна при пластике лучевым лоскутом сохраняет актуальность. Наиболее значимой при этом является профилактика патологических переломов в области забора костного трансплантата, так как подобные осложнения являются сдерживающим фактором в широком применении метода. При реконструкции пальца с использованием кожно-костного лучевого лоскута особое значение для профилактики перелома имеет точное определение глубины выреза, не превышающего критических значений. С этой целью применяют различные подходы (скругление углов, стопорные отверстия, проведение спиц-ориентиров под контролем С-дуги, применение триммера Митчелла, измерителя глубины винта, защитной металлической ленты, расположенной в продольном разрезе и т.д.), не обеспечивающие достаточную прецизионность краевой остеотомии лучевой кости [21, 22]. Кроме того, плоскость остеотомии получается недостаточно ровной, особенно при формировании выреза ладьевидной формы из-за возможного соскальзывания полотна пилы с округлой поверхности диафиза кости. При этом существует риск повреждения осевого и септальных сосудов трансплантата лучевой ко-

сти. Случайное увеличение глубины выреза может значительно уменьшить прочность кости. Некоторые авторы во время операции используют созданную перед операцией модель краевого дефекта в качестве образца, эталона для подражания при остеотомии. [23]. Этому способу присущи аналогичные недостатки. При кожно-костной реконструкции пальца мы применяем 3D-технологии непосредственно при выполнении самого основного этапа операции — заборе кровоснабжаемого трансплантата и подготовке аллотрансплантата для пластики краевого дефекта лучевой кости. Создается инструмент одноразового использования для конкретного пациента. Трехмерное печатное приспособление для лучевой кости, предназначенное для конкретного пациента, обеспечивает точное предоперационное планирование. В доступной литературе мы не нашли специального инструментария для подобных вмешательств. При реализации нашего способа для краевой остеотомии мы создаем индивидуальный инструмент методом 3D-печати. Способ позволяет предотвратить подрез (перерез) кости, образуется ровная поверхность опиловки лучевой кости и трансплантата, что обеспечивает плотный их контакт по всей плоскости остеотомии. В случае вынужденного превышения критической глубины выреза устройство оптимизирует условия костной пластики за счет формирования трансплантата, прецизионно соответствующего величине, поверхности и форме краевого дефекта. Ровные поверхности остеотомии и аллотрансплантата обеспечивают их плотный контакт и оптимальные условия для сращения и перестройки при костной пластике, позволяют получить качественно новый результат, восстановить структуру донорской кости. В зависимости от клинической ситуации, направитель может быть создан для формирования трансплантата ладьевидной, прямоугольной или любой другой формы.

В последнее десятилетие при лечении дефектов костей различной этиологии получает распространение метод Masquelet [24–28]. В то же время некоторые авторы ставят под сомнение эффективность методики [29]. В литературе есть сообщения о преимуществах комбинирования метода дистракции и методики Masquelet при замещении костных дефектов. Так, известен также способ замещения дефекта кости, заключающийся в размещении спейсера из костного цемента в дефекте большеберцовой кости, в выполнении через 6–8 недель второго этапа операции, включающего остеотомию, перемещение с использованием аппарата Илизарова в образовавшуюся остеогенную капсулу кровоснабжаемого костного трансплантата и выполнение его остеосинтеза в зоне сформировавшейся остеоиндуктивной мембраны [30]. Однако возможности такого подхода при реконструкции пальцев кисти не изучены. При использовании интерпозиционного трансплантата всегда имеется опасность его несращения, перелома, пролабирования и инфицирования, особенно при рубцовых изменениях мягких тканей кисти [31, 32]. Необходимость вмешательств на мягкотканном футляре в подобных неблагоприятных условиях применения технологии Masquelet подчеркивается многими авторами [26]. При использовании нашего способа минимизируется опасность таких осложнений. Наш способ основан на разработке и имплантации нестандартного устройства — полого цилиндрического дистрагируемого спейсера из костного цемента. Способ обеспечивает восстановление адекватного мягкотканного покрытия культей, формирование остеогенной капсулы одновременно с дистракцией культи и образованием регенерата, в результате чего бессосудистый костный интерпозиционный трансплантат окружается на всем протяжении и в области контакта костных фрагментов уже сформированной остеогенной мембраной и кровоснабжаемыми тканями. В подобных случаях улучшаются условия консолидации, перестройки трансплантата, обеспечивается профилактика осложнений, сокращаются сроки лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение технологии 3D-печати при планировании реконструкции пальца различными методами, а также создании индивидуального хирургического инструментария при пластике кожно-костным лучевым лоскутом позволило повысить результаты лечения. Комбинированное применение метода дистракции и метода Masquelet при реконструкции пальцев кисти обеспечило адекватные функциональные результаты, профилактику осложнений в условиях обширного дефекта мягких тканей.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Diment LE, Thompson MS, Bergmann JHM. Clinical efficacy and effectiveness of 3D printing: a systematic review. *BMJ Open*. 2017;7(12):e016891. doi: 10.1136/bmjopen-2017-016891
2. Matter-Parrat V, Liverneaux P. 3D printing in hand surgery. *Hand Surg Rehabil*. 2019;38(6):338–347. doi: 10.1016/j.hansur.2019.09.006
3. Wixted CM, Peterson JR, Kadakia RJ, Adams SB. Three-dimensional Printing in Orthopaedic Surgery: Current Applications and Future Developments. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2021;5(4):e20.00230–11. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00230
4. Mohammadi A, Lavranos J, Zhou H, et al. A practical 3D-printed soft robotic prosthetic hand with multi-articulating capabilities. *PLoS One*. 2020;15(5):e0232766. doi: 10.1371/journal.pone.0232766
5. Oud TAM, Lazzari E, Gijssbers HJH, et al. Effectiveness of 3D-printed orthoses for traumatic and chronic hand conditions: A scoping review. *PLoS One*. 2021;16(11):e0260271. doi: 10.1371/journal.pone.0260271
6. O'Brien L, Cho E, Khara A, et al. 3D-printed custom-designed prostheses for partial hand amputation: Mechanical challenges still exist. *J Hand Ther*. 2021;34(4):539–542. doi: 10.1016/j.jht.2020.04.005
7. Bauermeister AJ, Zuriarrain A, Newman MI. Three-Dimensional Printing in Plastic and Reconstructive Surgery: A Systematic Review. *Ann Plast Surg*. 2016;77(5):569–576. doi: 10.1097/SAP.0000000000000671

8. Mulford JS, Babazadeh S, Mackay N. Three-dimensional printing in orthopaedic surgery: review of current and future applications. *ANZ J Surg.* 2016;86(9):648-653. doi: 10.1111/ans.13533
9. Keller M, Guebeli A, Thieringer F, Honigsmann P. Overview of In-Hospital 3D Printing and Practical Applications in Hand Surgery. *Biomed Res Int.* 2021;2021:4650245. doi: 10.1155/2021/4650245
10. Zhang D, Bauer AS, Blazar P, Earp BE. Three-Dimensional Printing in Hand Surgery. *J Hand Surg Am.* 2021;46(11):1016-1022. doi: 10.1016/j.jhsa.2021.05.028
11. Eltorai AE, Nguyen E, Daniels AH. Three-Dimensional Printing in Orthopedic Surgery. *Orthopedics.* 2015;38(11):684-687. doi: 10.3928/01477447-20151016-05
12. Tan H, Yang K, Wei P, et al. A Novel Preoperative Planning Technique Using a Combination of CT Angiography and Three-Dimensional Printing for Complex Toe-to-Hand Reconstruction. *J Reconstr Microsurg.* 2015;31(5):369-77. doi: 10.1055/s-0035-1546419
13. Zang CW, Zhang JL, Meng ZZ, et al. 3D Printing Technology in Planning Thumb Reconstructions with Second Toe Transplant. *Orthop Surg.* 2017;9(2):215-220. doi: 10.1111/os.12326
14. Xu L, Tan J, Wei P, et al. Clinical application of 3D printing technology for preoperative planning of thumb reconstruction. *Acta Orthop Bras.* 2021;29(4):211-218. doi: 10.1590/1413-785220212904235492
15. Lu H, Peng H, Peng Z, et al. The Application of Digital Design Combined with 3D Printing Technology in Skin Flap Transplantation for Fingertip Defects during the COVID-19 Epidemic. *Biomed Res Int.* 2021;2021:5554500. doi: 10.1155/2021/5554500
16. Gálvez JA, Gralewski K, McAndrew C, et al. Assessment and Planning for a Pediatric Bilateral Hand Transplant Using 3-Dimensional Modeling: Case Report. *J Hand Surg Am.* 2016;41(3):341-343. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.12.010
17. Александров Н.М., Вешаев И.Д. Устройство для предоперационного планирования реконструкции первого пальца кисти. Патент РФ на изобретение № 211603. 15.06.22. Бюл. № 17. Доступно по: https://new.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=211603&TypeFile=html. Ссылка активна на 13.02.2024.
18. Карякин Н.Н., Александров Н.М., Горбатов Р.О., Вешаев И.Д. Способ кожно-костной реконструкции пальца кисти и направление для его осуществления. Патент РФ на изобретение № 2747694. 12.05.21. Бюл. № 14. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2747694&TypeFile=html. Ссылка активна на 13.02.2024.
19. Александров Н.М. Способ дистракционного удлинения культи пястной кости. Патент РФ на изобретение № 2796438. 14.12.22. Бюл. № 15. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2796438&TypeFile=html. Ссылка активна на 13.02.2024.
20. Корюков А.А. Устройство для определения величины удлинения культи первого пальца. Патент РФ на изобретение № 84215. 10.07.09. Бюл. № 19. Доступно по: <https://www1.fips.ru/Archive/PAT/2009FULL/2009.07.10/DOC/RUNWU1/000/000/000/084/215/DOCUMENT.PDF>. Ссылка активна на 13.02.2024.
21. Avery CM. Review of the radial free flap: still evolving or facing extinction? Part two: osteocutaneous radial free flap. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2010;48(4):253-260. doi: 10.1016/j.bjoms.2009.09.017
22. Shnyder Y, Tsue TT, Toby EB, et al. Safe osteocutaneous radial forearm flap harvest with prophylactic internal fixation. *Craniomaxillofac Trauma Reconstr.* 2011;4(3):129-136. doi: 10.1055/s-0031-1279675
23. Capito AE, Hansen BK, Schmitt MW, et al. Osteocutaneous Radial Forearm Flap: Harvest Technique and Prophylactic Volar Locked Plating. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2023;11(11):e5449. doi: 10.1097/GOX.0000000000005449
24. Masquelet AC, Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. *Orthop Clin North Am.* 2010;41(1):27-37. doi: 10.1016/j.ocln.2009.07.011
25. Lasanianos N, Kanakaris N, Giannoudis P. Current management of long bone large segmental defects. *Orthopedics and Trauma.* 2010;24(2):149-163. doi: 10.1016/j.mporh.2009.10.003
26. Gupta G, Ahmad S, Mohd Zahid, et al. Management of traumatic tibial diaphyseal bone defect by "induced-membrane technique". *Indian J Orthop.* 2016;50(3):290-296. doi: 10.4103/0019-5413.181780
27. Ayoub G, Lemonne F, Kombate NK, et al. Interest of nailing associated with the Masquelet technique in reconstruction of bone defect. *J Orthop.* 2019;20:228-231. doi: 10.1016/j.jor.2019.12.014
28. Mi M, Papakostidis C, Wu X, Giannoudis PV. Mixed results with the Masquelet technique: A fact or a myth? *Injury.* 2020;51(2):132-135. doi: 10.1016/j.injury.2019.12.032
29. Morris R, Hossain M, Evans A, Pallister I. Induced membrane technique for treating tibial defects gives mixed results. *Bone Joint J.* 2017;99-B(5):680-685. doi: 10.1302/0301-620X.99B5.BJJ-2016-0694.R2
30. Борзунов Д.Ю., Моховиков Д.С., Колчин С.Н., Горбач Е.Н. Комбинированное применение несвободной костной пластики по Илизарову и техники Masquelet при реабилитации пациентов с приобретенными костными дефектами и ложными суставами. *Гений Ортопедии.* 2020;26(4):532-538. doi:10.18019/1028-4427-2020-26-4-532-538
31. Heo CY, Kwon S, Back GH, Chung MS. Complications of distraction lengthening in the hand. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008;33(5):609-615. doi: 10.1177/1753193408090767
32. Erdem M, Sen C, Eralp L, et al. Lengthening of short bones by distraction osteogenesis--results and complications. *Int Orthop.* 2009;33(3):807-813. doi: 10.1007/s00264-007-0491-x

Статья поступила 09.01.2024; одобрена после рецензирования 07.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 09.01.2024; approved after reviewing 07.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Николай Михайлович Александров — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, aleksandrov-chetai@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4432-9059>;

Иван Денисович Вешаев — аспирант.

Information about the authors:

Nikolay M. Alexandrov — Doctor of Medical Sciences, Leading Researcher, aleksandrov-chetai@rambler.ru, <https://orcid.org/0009-0004-4432-9059>;

Ivan D. Veshaeve — postgraduate.

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Клиническое наблюдение

УДК 616.728.4-018.46-002-089.843-053.6

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-438-445>



Эндопротезирование голеностопного сустава у подростка с последствием гематогенного остеомиелита большеберцовой кости

В.И. Зорин^{1,2✉}, А.И. Бердес³, Д.А. Глухов⁴, А.Ю. Мушкин^{5,6}

¹ Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

² Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, Санкт-Петербург, Россия

³ Городская поликлиника № 23, Санкт-Петербург, Россия

⁴ Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова СПбГУ, Санкт-Петербург, Россия

⁵ Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии, Санкт-Петербург, Россия

⁶ Первый Санкт-Петербургский медицинский университет им. акад. И.П. Павлова, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вячеслав Иванович Зорин, zoringlu@yandex.ru

Аннотация

Введение. Переход в хроническую стадию острого гематогенного остеомиелита у детей обусловлен различными причинами, одна из них — несвоевременность диагностики и лечения. Протяженные костные дефекты конечностей на фоне остеомиелитической деструкции являются редкими клиническими ситуациями в детской хирургии. С учетом преимущественно метаэпифизарной локализации остеомиелитических очагов с поражением структур крупных суставов возникает необходимость в сложном и длительном лечении с высокой вероятностью инвалидизации.

Цель работы — продемонстрировать клинический случай оказания помощи подростку с хроническим гематогенным остеомиелитом костей голени и обратить внимание на проблемы первичной диагностики и лечения.

Материалы и методы. Представлен клинический случай лечения подростка с распространенной деструкцией костей голени на фоне хронического гематогенного остеомиелита. Проведена клиническая и функциональная оценки эффективности на этапах лечения и наблюдения пациента.

Результаты. На фоне этапного хирургического лечения с первоначальной радикальной санацией очага хронического инфекционного процесса и последующего эндопротезирования достигнут положительный функциональный результат.

Обсуждение. Вероятной причиной развития хронического остеомиелита в исходе острого в представленном примере являлась выжидательная тактика на этапе первичного обращения в медицинское учреждение и последующего длительного наблюдения. В настоящее время отсутствует единое мнение о реконструкции либо замещении протяженных дефектов трубчатых костей, включающих суставной конец, на фоне хронической инфекции. Одним из вариантов может быть этапное лечение, включающее индивидуальное эндопротезирование.

Заключение. Этапное хирургическое лечение, включающее радикальную санацию и последующее отсроченное индивидуальное эндопротезирование, позволило восстановить удовлетворительный функциональный статус без признаков инфекционно-воспалительной активности на сроке наблюдения более года.

Ключевые слова: эндопротезирование, голеностопный сустав, остеомиелит, цементный спейсер, хирургическая инфекция, детская ортопедия, клинический случай

Для цитирования: Зорин В.И., Бердес А.И., Глухов Д.А., Мушкин А.Ю. Эндопротезирование голеностопного сустава у подростка с последствием гематогенного остеомиелита большеберцовой кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):438-445. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-438-445. EDN: UALCJB.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-438-445>



Total ankle arthroplasty in an adolescent who suffered hematogenous osteomyelitis of tibia

V.I. Zorin^{1,2}, A.I. Berdes³, D.A. Glukhov⁴, A.Yu. Mushkin^{5,6}

¹ H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russian Federation

² North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, Saint Petersburg, Russian Federation

³ Saint Petersburg City Polyclinic #23, Saint Petersburg, Russian Federation

⁴ Saint Petersburg State University Hospital, Saint Petersburg, Russian Federation

⁵ Saint Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, Saint Petersburg, Russian Federation

⁶ Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Vyacheslav I. Zorin, zoringlu@yandex.ru

Abstract

Introduction Acute hematogenous osteomyelitis can persist as chronic infection in pediatric patients due to delayed diagnosis and treatment. An extended bone defect of the limb caused by osteomyelitic destruction is a rare clinical scenario in pediatric surgery. Metaepiphyseal and articular involvement suggests specific and long-term treatment with a high risk of disability.

The objective was to report a clinical case of a teenager who suffered chronic hematogenous osteomyelitis of the tibial bones and raise awareness of primary diagnosis and treatment.

Material and methods A clinical case of a teenager treated for extensive destruction of the tibial bones caused by chronic hematogenous osteomyelitis is reported. Clinical and functional evaluation of the effectiveness was produced at the stages of treatment.

Results A positive functional result was achieved due to staged surgical treatment including radical debridement of the chronic infection nidus followed by total ankle arthroplasty.

Discussion Acute hematogenous osteomyelitis persisting as chronic infection could be caused either by a wait-and-see strategy when the patient first sought medical help or a long-term follow-up. There is no consensus on the use of reconstruction or replacement of large long bone defects extended to the joints caused by chronic infection. Staged treatment including total joint replacement with custom-made endoprosthesis can be one of the options.

Conclusion Staged surgical treatment including radical debridement followed by delayed total joint replacement with custom-made endoprosthesis provided satisfactory functionality for the limb without signs of infectious and inflammatory activity at a follow-up period of more than a year.

Keywords: joint replacement, ankle joint, osteomyelitis, cement spacer, surgical site infection, pediatric orthopaedics, clinical case

For citation: Zorin VI, Berdes AI, Glukhov DA, Mushkin AY. Total ankle arthroplasty in an adolescent who suffered hematogenous osteomyelitis of tibia. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):438-445. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-438-445

ВВЕДЕНИЕ

Острый гематогенный остеомиелит у детей является серьезным гнойно-септическим заболеванием, представляющим непосредственную угрозу жизни [1, 2, 3]. Даже несмотря на снижение частоты заболевания в последние годы и успехи антибактериальной терапии, риск перехода острого процесса в хронический остается достаточно высоким и оценивается в 30–40 % [2, 3]. В свою очередь, хроническая инфекция костей, вне зависимости от причины, остается одной из наиболее сложных проблем современной травматологии и ортопедии, купирование процесса в результате лечения нередко заканчивается стойкой инвалидизацией пациента вследствие тяжелых ортопедических последствий [4].

Представленный клинический случай наглядно демонстрирует проблемы своевременной диагностики, маршрутизации и лечения пациента подросткового возраста с острым гематогенным остеомиелитом большеберцовой кости и возникшими на его фоне ортопедическими осложнениями.

Цель работы — продемонстрировать клинический случай оказания помощи подростку с хроническим гематогенным остеомиелитом костей голени и обратить внимание на проблемы первичной диагностики и лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациент 17 лет, житель областного центра, поступил под наблюдение авторов с жалобами на боль, отек, свищ в области правой голени, невозможность опоры на правую нижнюю конечность.

Дебют заболевания произошел в возрасте 15 лет (2018 г.) в виде острого болевого синдрома, отека нижней трети правой голени, гипертермии до 38 °С. Осмотрен детским хирургом областной больницы, рекомендовано амбулаторное лечение: антибактериальная (амоксиклав + клавулановая кислота *per os*) и противовоспалительная терапии. Госпитализирован через пять суток на фоне сохранения жалоб с диагнозом «острый гематогенный остеомиелит правой большеберцовой кости». Согласно представленной документации, выполнена остеоперфорация дистального метадиафиза правой большеберцовой кости, назначена антибактериальная терапия (цефтриаксон, гентамицин, линкомицин, метронидазол). Данные о бактериологическом исследовании материала из зоны патологического очага в медицинской документации отсутствуют. После выписки из стационара наблюдался детским хирургом амбулаторно. В течение трех месяцев сформировался свищ в нижней трети голени. Больному проведены перевязки, повторные курсы антибактериальной терапии.

Через четыре месяца от начала заболевания пациент госпитализирован в детское хирургическое отделение многопрофильного стационара (Москва) с диагнозом «хронический гематогенный остеомиелит нижней трети правой голени». Согласно документации, повторно выполнены остеоперфорации, методом посева выделен *St. epidermidis* (данные о чувствительности не указаны), проведен курс антибактериальной терапии (цефтриаксон, амикацин, ципрофлоксацин). Пациент выписан с рекомендацией планового хирургического лечения (вид планируемого вмешательства не указан). В течение 18 мес. неоднократно консультирован детскими хирургами и ортопедами, онкологом, исключившим опухолевый процесс и рекомендовавшим проведение санирующего вмешательства.

Поступил под наблюдение авторов публикации через 22 мес. с начала заболевания. При поступлении: общее самочувствие удовлетворительное; клинических признаков системной воспалительной реакции нет; нормотермия; ходит на костылях без опоры на правую нижнюю конечность. Абсолютная длина нижних конечностей: D < S на 1 см за счет укорочения голени. Активные и пассивные движения в правом голеностопном суставе отсутствуют, попытки движений болезненны, опора из-за болей невозможна. В нижней трети правой голени и голеностопного сустава — выраженный отек мягких тканей, гиперестезия; по передневноутренней поверхности — свищ-язва со скудным серозно-геморрагическим отделяемым (рис. 1, а). Движения и чувствительность в пальцах стопы сохранены. По данным лучевого обследования (рентгенография, КТ): диффузное поражение дистального эпиметадиафиза правой большеберцовой кости с распространенной мелкоочаговой деструкцией, более крупными полостями с секвестрами, поражением суставной поверхности и сужением суставной щели (рис. 1, б).



Рис. 1. Фото и данные лучевых исследований пациента при поступлении: а — внешний вид конечности; б — рентгенограмма голени и голеностопного сустава в боковой проекции; в — сагиттальный срез КТ

РЕЗУЛЬТАТЫ

Учитывая характер заболевания и его длительность, патология расценена как хронический остеомиелит большеберцовой кости, сформировавшийся в исходе острого гематогенного остеомиелита. В связи с сохраняющимися местными признаками активного воспалительного процесса, выраженной функциональной недостаточностью голеностопного сустава и нарушением опорности нижней конечности принято решение о проведении этапного лечения. В качестве первого этапа определена радикальная санация. Пациенту выполнена остеонекрэктомия нижней трети голени, в том числе протяженная резекция дистального эпиметадиафиза большеберцовой кости в пределах здоровых тканей с установкой цементного спейсера с антибактериальным препаратом (гентамицин), иссечение свища-язвы области правого голеностопного сустава, стабилизация конечности спицестержневым аппаратом Илизарова в компоновке «стопа-голень» (рис. 2). Операционный материал (некротически измененная ткань кости) направлен на бактериологическое и гистологическое исследования.

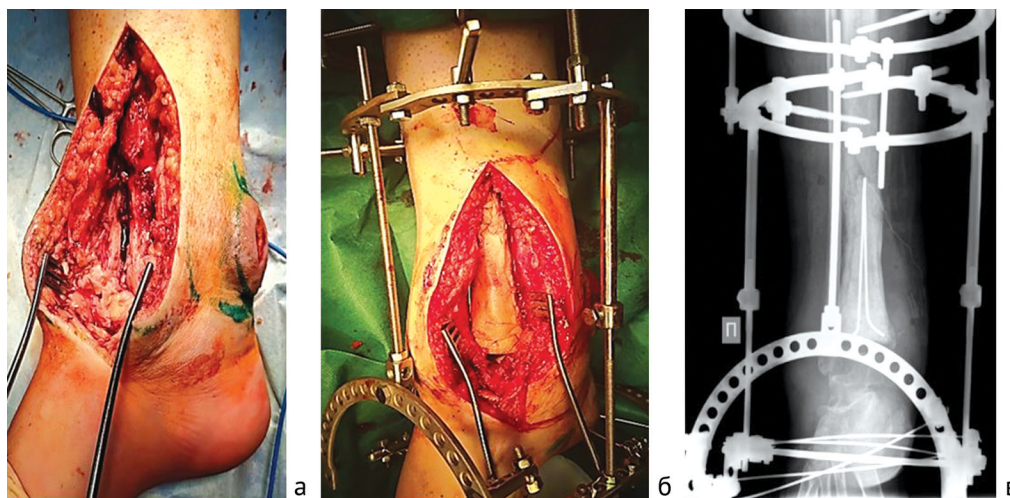


Рис. 2. Фото и рентгенограмма дистального отдела правой голени пациента: а — диффузные некротические изменения дистального эпиметадиафиза большеберцовой кости; б — цементный артикулирующий спейсер, установленный после остеонекрэктомии; в — послеоперационная рентгенограмма, конечность стабилизирована спицестержневым аппаратом «стопа-голень»

При бактериологическом исследовании рост микрофлоры не обнаружен. Гистологическое заключение: костная и хрящевая ткань с дистрофическими изменениями, фрагменты фиброзной и грануляционной ткани с умеренной лимфоплазмоцитарной инфильтрацией, лейкоцитами, картина хронического неспецифического остеомиелита (рис. 3).

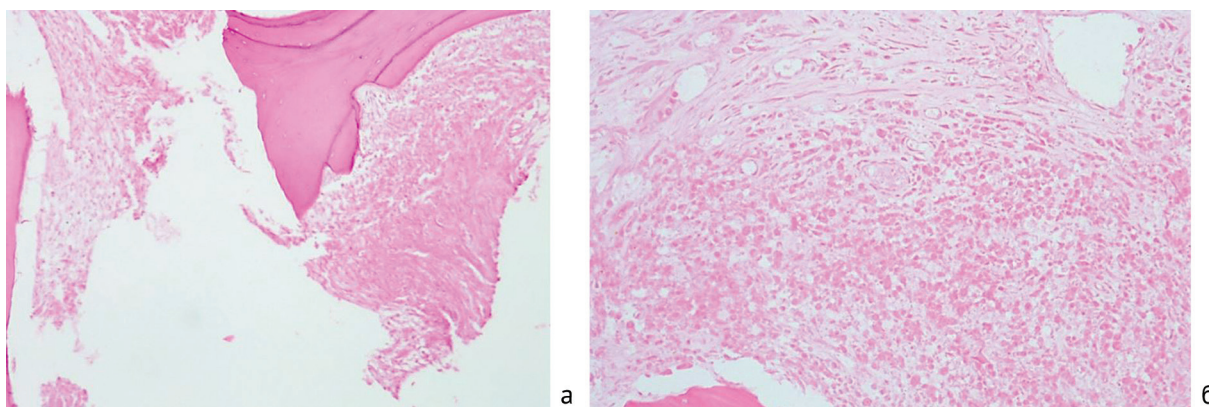


Рис. 3. Гистологические препараты операционного материала: а — дистрофические изменения костной ткани, очаги коагуляционного некроза без клеточной реакции, окр. гематоксилином и эозином, $\times 100$; б — воспалительный инфильтрат в межкостных ячейках, окр. гематоксилином и эозином, $\times 200$

В послеоперационном периоде на фоне антибактериальной терапии (цефазолин, рифампицин, метронидазол) в течение семи дней сохранялся гипертермический синдром. После консультации клинического фармаколога выполнена смена терапии с переводом на сочетание амоксициллина с клавулановой кислотой и ванкомицина. Гипертермический синдром купирован на пятые сутки. Общая длительность антибактериальной терапии составила 4 нед. с регрессом отека тканей и экссудативного процесса в зоне фистулеэктомии и заживлением послеоперационных ран.

Пациент получал медикаментозную терапию, влияющую на местные трофические процессы (пентоксифиллин, апротинин). Швы удалены на 20-е сутки. В течение 9 мес. после операции клинико-лабораторных признаков обострения воспалительного процесса не отмечали, что позволило приступить к следующему этапу хирургического лечения.

В рамках планирования реконструктивного этапа лечения с учетом протяженности (12 см) дефекта дистального эпиметадиафиза большеберцовой кости рассматривали два варианта восстановления опорности конечности: билочальный компрессионно-дистракционный остеосинтез с формированием артродеза голеностопного сустава и альтернативный вариант — эндопротезирование дистального отдела голени и голеностопного сустава. Возможные варианты тактики, потенциальные осложнения, риски и исходы обсуждены с пациентом и законными представителями, которые от билочального остеосинтеза и артродеза отказались.

Учитывая протяженный пострезекционный дефект, изготовили индивидуальный модульный связанный эндопротез голеностопного сустава и дистального метадиафиза большеберцовой кости (рис. 4).

На фоне подтвержденной длительной клинико-лабораторной ремиссии проведен демонтаж аппарата внешней фиксации, трепан-биопсия тканей нижней трети голени, таранной и большеберцовой костей. В результате бактериологического исследования биоптатов роста микроорганизмов не выявлено. Через 14 сут. после демонтажа аппарата внешней фиксации выполнено удаление цементного спейсера и эндопротезирование голеностопного сустава. Интраоперационно макроскопически признаки инфекционно-воспалительной активности не обнаружены. Ложе спейсера выстлано гипертрофизированной соединительнотканной мембраной (рис. 5, а). Проведена резекция диафиза большеберцовой кости и блока таранной кости на расчетную величину. После позиционирования примерочных компонентов проксимальный и дистальный модули установлены и фиксированы press-fit, связаны между собой (рис. 5, б, в). Послеоперационный период протекал без особенностей, заживление операционной раны — первичное. В результате бактериологического исследования операционного материала не выявлен рост микроорганизмов. Дозированная нагрузка на конечность разрешена через 2 нед. с последующим переходом к полной опоре через 1 мес. с момента операции.



Рис. 4. Схема планируемого эндопротезирования

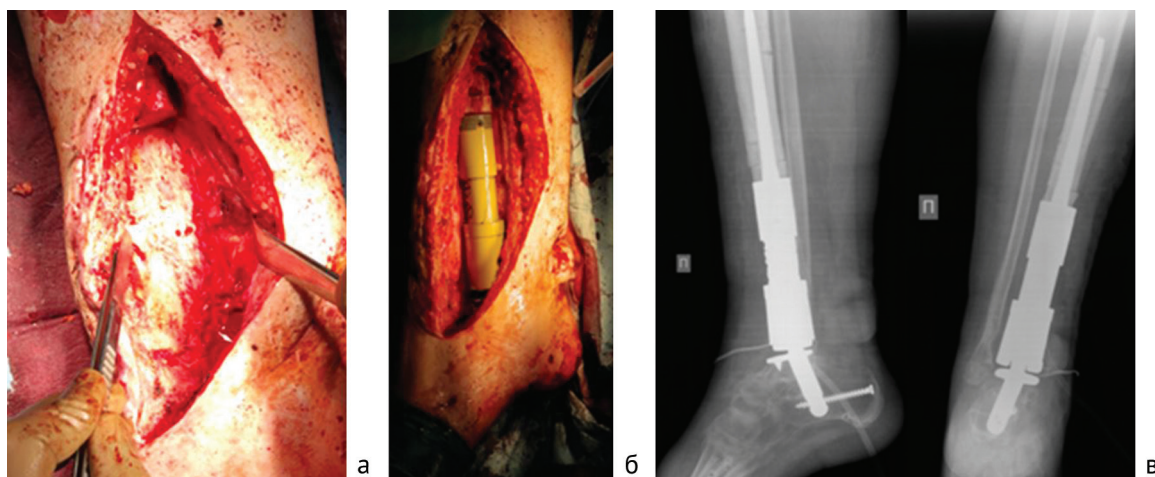


Рис. 5. Интраоперационные фотографии и рентгенограммы: а — ложе спейсера представлено гипертрофизированной соединительнотканной мембраной, б — имплантированный эндопротез, в — рентгенограммы голени в двух проекциях

Катамнез прослежен на сроке 14 мес.: пациент ходит без средств поддержки, при ходьбе на дистанции более 2 км периодически испытывает незначительное чувство дискомфорта. Локальных признаков воспаления нет, ось и длина конечности восстановлены. Рентгенологически положение имплантата правильное, признаков периимплантной костной резорбции не отмечается (рис. 6).

Оценка качества жизни по опроснику SF-36 [5] на момент первой госпитализации в клинику до хирургического лечения и через 14 мес. после эндопротезирования по домену физического статуса составила 25 и 49 баллов соответственно, по психологическому — 37 и 57 баллов. Оценка функции стопы по шкале AOFAS [6] до и после лечения — 50 и 77 баллов соответственно.



Рис. 6. Фотографии и рентгенограммы нижних отделов голеней и голеностопного сустава пациента через 14 мес. после эндопротезирования (3 года с начала заболевания)

ОБСУЖДЕНИЕ

Диагностика и лечение острого гематогенного остеомиелита у детей представлены в современных учебных и научных публикациях [2, 3], в то время как хронический неспецифический остеомиелит, особенно рецидивирующий, в педиатрической практике достаточно редок. Именно поэтому его развитие и прогрессирование нередко сопровождается задержкой в диагностике и трудностями в выборе лечебной тактики [4].

Большинство авторов придерживается мнения о необходимости при хроническом остеомиелите радикальной резекции измененной кости (остеонекрэктомии) с заполнением пострезекционной полости костно-пластическим материалом с антибиотиком(-ами) [7–9], что должно предотвращать формирование гематомы, являющейся питательной средой для микроорганизмов, создавать локальное депо антибактериального препарата в терапевтической концентрации и способствовать восстановлению костной ткани. Однако при обширных деструкциях, требующих протяженных резекций, образующиеся костные дефекты не поддаются полноценной костной пластике. На сегодняшний день это определяет необходимость реконструкции с применением различных технологий: биллокального остеосинтеза с использованием аппарата внешней фиксации [10], опционально в различных комбинациях с интрамедуллярным остеосинтезом [11, 12], техники Masquelet [13], а при дефектах мягких тканей – микрохирургической техники [14]. При поражении диафиза и/или метафиза трубчатой кости эти методики позволяют восстановить опороспособность и механическую ось конечности, сохранив пациенту возможность вернуться к обычному образу жизни. В случае вовлечения в деструкцию эпифиза нарушение функции сустава становится дополнительной проблемой, приводящей к инвалидизации.

T. Hikichi et al. представили клинический случай успешного устранения локального поражения инфекцией суставной поверхности пилона путем артропластики [15], в то время как обширные повреждения голеностопного сустава вынуждают хирургов прибегать к артродезированию [16]. Вместе с тем, развитие технологий эндопротезирования обеспечило им место в качестве альтернативы артродезу, а по мере усовершенствования материалов и моделей эндопротезов голеностопного сустава результаты обоих хирургических методов стали сопоставимыми [17–19]. Выживаемость имплантатов при этом составила 81–97,7 % на сроке 5 лет и 69–86 % на сроке 10 лет [20, 21]. К.С. Михайлов с соавт. на основе собственного опыта предложили алгоритм выбора между артродезированием и эндопротезированием [22]. Исследование статико-динамических показателей опороспособности и походки показало приближение последней к физиологичной через 24 мес. после эндопротезирования, что говорит о целесообразности сохранения подвижности в голеностопном суставе [23], при этом при возникновении осложнений эндопротезирования голеностопного сустава предлагается выполнение артродеза [24].

Проблема состоит в том, что весь представленный опыт относится к классическому эндопротезированию при первичных и вторичных крузартрозах, при которых, как правило, отсутствуют значительные костные деструкции. Замещение сегмента кости с одномоментным эндопротезированием сустава выполняют при онкологических процессах. А.В. Соколовский с соавт. на основании опыта использования модульных эндопротезов голеностопного сустава у 20 пациентов за 11 лет в 39,4 % случаев отметили механические и немеханические осложнения, потребовавшие повторных вмешательств, в том числе с полной заменой эндопротеза [25]. В свою очередь, В.Ю. Карпенко с соавт. за 10 лет в 3 (33,3 %) из 9 случаев установленных модульных эндопротезов голеностопного сустава были вынуждены провести этапные операции из-за нестабильности и инфекционных осложнений [26]. Следует обратить внимание и на то, что, по данным систематического обзора литературы, проведенного Z. Zhao et al., биологическая реконструкция дистального отдела большеберцовой кости с артродезом голеностопного сустава имеет лучшие функциональные результаты при сопоставимой частоте осложнений в сравнении с модульным эндопротезированием при опухолях [27].

Особенность проблемы эндопротезирования голеностопного сустава состоит также в том, что в доступной литературе мы не встретили данных о замещении этого сегмента при последствиях остеомиелита. В на-

шем случае биллокальный остеосинтез в аппарате внешней фиксации с артродезом голеностопного сустава представлялся наиболее очевидным способом восстановления опорности конечности. Тем не менее, пациент и его родители после разъяснения всех возможных осложнений выбрали именно альтернативный вариант, позволивший, по крайней мере, на период последующего наблюдения сохранить также и подвижность в суставе. В настоящее время пациент продолжает находиться под динамическим наблюдением и сохраняет риски развития поздних осложнений. Однако сам факт положительного результата позволяет расширить показания к эндопротезированию голеностопного сустава в сторону этиологической группы постинфекционных поражений и снизить возрастные ограничения к применению данного метода.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический случай демонстрирует актуальность проблемы организации помощи пациентам детского и подросткового возраста с инфекционно-деструктивными поражениями скелета. Несмотря на оказание амбулаторной и стационарной помощи в условиях многопрофильного медицинского учреждения (регионального и федерального центра), отмечена сложность в определении современной тактики специалистами и, как следствие, длительная диагностическая и лечебная пауза. Это привело к усложнению клинического статуса и хронизации первично острого гематогенного остеомиелита.

В то же время, полученный результат наглядно демонстрирует возможность сохранения опорной и двигательной функции голеностопного сустава благодаря эндопротезированию с применением индивидуального модульного протеза, выполненному после купирования распространенного гнойно-воспалительного процесса.

Безусловно, объективное суждение об оптимальности подобной тактики возможно только по мере накопления опыта и отслеживания отдаленных результатов эндопротезирования. В связи с этим, дизайн (клиническое наблюдение) и ограниченный после операции срок прослеженного катамнеза (14 мес.) следует рассматривать как ограничения достоверности представленной публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии финансирования.

Этическая экспертиза. Авторами получено информированное согласие пациента на обследование, лечение, сбор, хранение и анализ данных медицинской документации с использованием в научных и образовательных целях, их публикацию. Авторы подтверждают отсутствие в статье данных, не подлежащих публикации.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Эшонова Т.Д. Острый гематогенный остеомиелит у детей. Педиатрия. Журнал им. Г.Н. Сперанского. 2016;95(2):146-152.
2. Детская хирургия: национальное руководство. Под ред. Исаков Ю.Ф., Дронов А.Ф. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2009:1168.
3. Шамик В.Б., Новошинов Г.В., Биналиев И.О. и др. Основные принципы диагностики и лечения острого гематогенного остеомиелита длинных костей у детей в условиях хирургического стационара. *Современные проблемы науки и образования*. 2022;(6-1):124. doi: 10.17513/spno.32229
4. Зорин В.И., Зуев М.Е. Инфекционные осложнения в детской травматологии и ортопедии (анализ клинической серии). *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2023;11(3):361-370. doi: 10.17816/PTORS430201
5. Ware JE Jr, Sherbourne CD. The MOS 36-item short-form health survey (SF-36). I. Conceptual framework and item selection. *Med Care*. 1992;30(6):473-483.
6. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, et al. Clinical Rating Systems for the Ankle-Hindfoot, Midfoot, Hallux, and Lesser Toes. *Foot Ankle Int*. 1997;18(3):187-188. doi: 10.1177/107110079701800315
7. Ellur V, Kumar G, Sampath JS. Treatment of Chronic Hematogenous Osteomyelitis in Children With Antibiotic Impregnated Calcium Sulphate. *J Pediatr Orthop*. 2021;41(2):127-131. doi: 10.1097/BPO.0000000000001723
8. Lazzeri S, Montagnani C, Zanardi A, et al. Bioactive glass in the treatment of chronic osteomyelitis in children: Description of four consecutive cases and literature review. *Injury*. 2022;53(10):3317-3321. doi: 10.1016/j.injury.2022.07.014
9. Kojima KE, de Andrade E Silva FB, Leonhardt MC, et al. Bioactive glass S53P4 to fill-up large cavitary bone defect after acute and chronic osteomyelitis treated with antibiotic-loaded cement beads: A prospective case series with a minimum 2-year follow-up. *Injury*. 2021;52 Suppl 3:S23-S28. doi: 10.1016/j.injury.2021.05.030
10. Белокрылов Н.М., Белокрылов А.Н., Антонов Д.В., Щепалов А.В. Этапное лечение больного с огнестрельным ранением голени из ружья с дефектом кости и мягких тканей в условиях остеомиелита. *Пермский медицинский журнал*. 2019;36(6):95-101. doi: 10.17816/pmj36695-101
11. Бондаренко А.В., Плотников И.А., Гусейнов Р.Г. Лечение посттравматических дефектов диафиза большеберцовой кости методом комбинированного последовательного биллокального и блокирующего остеосинтеза. *Политравма*. 2020;(1):23-30. doi: 10.24411/1819-1495-2020-10004
12. Щепкина Е.А., Соломин Л.Н., Корчагин К.Л., Сабиров Ф.К. Сравнительная оценка замещения посттравматических дефектов бедренной и большеберцовой костей по Илизарову и поверх интрамедуллярного стержня. *Медико-биологические и социально-психологические проблемы безопасности в чрезвычайных ситуациях*. 2021;(2):80-88. doi: 10.25016/2541-7487-2021-0-2-80-88
13. Shi J, Yang X, Song M, et al. Clinical effects of early debridement, internal fixation, and Masquelet technique for childhood chronic haematogenous osteomyelitis of long bones. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):11. doi: 10.1186/s13018-022-03478-7

14. Кутянов Д.И., Родоманова Л.А. Использование технологий реконструктивно-пластической микрохирургии при лечении пациентов с патологией области голеностопного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2013;19(2):39-46.
15. Hikichi T, Matsubara H, Ugaji S, et al. Large Osteochondral Defects of the Distal Tibia Plafond After Septic Arthritis of the Ankle Joint Treated by Arthrodiastasis and Iliac Bone Graft: A Case Report. *J Foot Ankle Surg*. 2020;59(4):857-862. doi: 10.1053/j.jfas.2020.03.001
16. Hartmann R, Grubhofer F, Waibel FWA, et al. Treatment of hindfoot and ankle infections with Ilizarov external fixator or spacer, followed by secondary arthrodesis. *J Orthop Res*. 2021;39(10):2151-2158. doi: 10.1002/jor.24938
17. Стоянов А.В., Емельянов В.Г., Плиев Д.Г., Михайлов К.С. Эндопротезирование голеностопного сустава (обзор литературы). *Травматология и ортопедия России*. 2011;17(1):144-152. doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-1-144-152
18. Котельников Г.П., Иванов В.В., Николаенко А.Н. и др. Эндопротезирование голеностопного сустава. *Гений ортопедии*. 2021;27(5):645-657. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-5-645-657
19. Мирошников Д.Л., Сабодашевский О.В., Афаунов А.А. и др. Эндопротезирование и артродез голеностопного сустава. Сравнение результатов лечения. *Инновационная медицина Кубани*. 2018;(2):29-36.
20. Бобров Д.С., Артёмов К.Д., Эндопротезирование голеностопного сустава: особенности и исходы вмешательства (обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2021;44(2):30-40. doi: 10.17238/issn2226-2016.2021.2.30-40
21. Бурков Д.В., Мурылев В.Ю., Буркова И.Н. и др. Результаты эндопротезирования голеностопного сустава в раннем и среднесрочном периоде наблюдений. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2021;44(2):49-56. doi: 10.17238/issn2226-2016.2021.2.49-56
22. Михайлов К.С., Емельянов В.Г., Тихилов Р.М. и др. Обоснование выбора способа оперативного лечения пациентов с терминальными стадиями артроза голеностопного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2016;22(1):21-32. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-21-32
23. Павлов Д.В., Воробьева О.В. Клинико-биомеханическая оценка статико-динамических показателей после эндопротезирования голеностопного сустава. *Вопросы травматологии и ортопедии*. 2012;5(4):7-11.
24. Норкин И.А., Зуев П.П., Барабаш Ю.А. и др. Хирургическое лечение пациентов с тотальной неудачей эндопротезирования голеностопного сустава (систематический обзор). *Политравма*. 2021;(4):69-75. doi: 10.24412/1819-1495-2021-4-69-75
25. Соколовский А.В., Соколовский В.А., Алиев М.Д. Отдаленные результаты индивидуализированного первичного и повторного онкологического эндопротезирования области голеностопного сустава при поражении доброкачественными и злокачественными опухолями кости. *Саркомы костей, мягких тканей и опухоли кожи*. 2020;12(2-3):5-15. doi: 10.17650/2070-9781-2020-21-3-5-15
26. Карпенко В.Ю., Бухаров А.В., Курильчик А.А. и др. Эндопротезирование при опухолевом поражении дистальных отделов конечностей. *Онкология. Журнал им. П.А. Герцена*. 2017;6(5):31-36. doi: 10.17116/onkolog20176531-36
27. Zhao Z, Yan T, Guo W, et al. Surgical options and reconstruction strategies for primary bone tumors of distal tibia: A systematic review of complications and functional outcome. *J Bone Oncol*. 2018;14:100209. doi: 10.1016/j.jbo.2018.100209

Статья поступила 16.01.2024; одобрена после рецензирования 05.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 16.01.2024; approved after reviewing 05.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Вячеслав Иванович Зорин — кандидат медицинских наук, доцент, zoringlu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>, SPIN-код: 4651-8232;

Алексей Игоревич Бердес — кандидат медицинских наук, berdesa@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2257-274X>;

Дмитрий Александрович Глухов — кандидат медицинских наук, dmitriy.a.glukhov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6880-8562>, SPIN-код: 3376-2569;

Александр Юрьевич Мушкин — доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник, руководитель центра, <https://orcid.org/0000-0002-1342-3278>, SPIN-код: 9373-4335.

Information about the authors:

Vyacheslav I. Zorin — Candidate of Medical Sciences, Assistant Professor, zoringlu@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9712-5509>; SPIN-code: 4651-8232;

Aleksey I. Berdes — Candidate of Medical Sciences, berdesa@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0003-2257-274X>;

Dmitrii A. Glukhov — Candidate of Medical Sciences, dmitriy.a.glukhov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6880-8562>, SPIN-code: 3376-2569;

Alexander Yu. Mushkin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief Researcher, Head of the Center, <https://orcid.org/0000-0002-1342-3278>, SPIN-code: 9373-4335.

Вклад авторов:

Зорин В.И. — лечение пациента, сбор и анализ клинических данных, литературы, написание и редактирование статьи.

Бердес А.И. — лечение пациента, редактирование статьи.

Глухов Д.А. — анализ данных литературы, написание и редактирование статьи.

Мушкин А.Ю. — консультирование пациента, редактирование статьи.

Авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Клиническое наблюдение

УДК 616.728.48-002.4-77- 089.843

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-446-455>



Способ эндопротезирования голеностопного сустава при некрозе таранной кости, крузартрозе, эквино-варо-приведенной деформации стопы

В.В. Кузнецов^{1✉}, В.Г. Процко^{1,2}, С.К. Тамоев¹, С.А. Оснач¹, А.В. Мазалов¹, В.В. Платонов^{1,2}

¹ Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Василий Викторович Кузнецов, vkuznecovniito@gmail.com

Аннотация

Введение. Актуальность проблемы хирургического лечения пациентов с аваскулярным остеонекрозом таранной кости с посттравматическими деформациями заднего отдела стопы объясняется высоким уровнем заболеваемости, трудностью диагностики на ранних стадиях болезни, несоответствием уровня ожиданий пациентов и требований ортопедов к результатам оперативного лечения традиционными методами. Использование индивидуального эндопротезирования голеностопного сустава может стать потенциальным решением этой проблемы.

Цель работы — оценить результаты лечения пациентки с аваскулярным остеонекрозом таранной кости, крузартрозом и деформацией заднего отдела стопы оригинальным способом эндопротезирования голеностопного сустава и таранной кости.

Материалы и методы. Пациентке 30 лет с посттравматическим аваскулярным остеонекрозом таранной кости, крузартрозом, эквино-варо-приведенной деформацией стопы выполнено эндопротезирование голеностопного сустава и таранной кости предложенным авторами способом. Для диагностики использовали рентгенографический и томографический методы. Для оценки клинических и функциональных результатов использовали шкалу VAS, опросники AOFAS, FFI, EFAS, данные педобарографии.

Результаты. Полученные результаты лечения пациентки через 12 мес. показали сохранение достигнутой коррекции деформации стопы, стабильную установку индивидуальной конструкции без признаков расшатывания компонентов и остеолизиса. Клинический и функциональный результат показал снижение интенсивности боли в 8,5 раз по VAS, улучшение функционального состояния в 4,3 раза с учетом функционального индекса стопы (FFI) и 2,2 раза по шкале AOFAS в течение 12 мес. после оперативного вмешательства.

Обсуждение. В настоящее время ортопеды проводят исследования, направленные на сохранение движений в голеностопном суставе при лечении аваскулярного остеонекроза таранной кости. Серьезную проблему составляют сопутствующие деформации заднего отдела стопы, вследствие чего существующие стандартные конструкции эндопротезов не могут решить эту задачу.

Заключение. Разработанный хирургический способ лечения пациентки дал хорошие клинические и функциональные результаты, позволяя корректировать деформацию заднего отдела стопы в один этап, сокращая сроки лечения.

Ключевые слова: аваскулярный некроз, асептический некроз, остеонекроз, артродез, эндопротезирование, голеностопный сустав, таранная кость, индивидуальный протез таранной кости, эндопротез голеностопного сустава

Для цитирования: Кузнецов В.В., Процко В.Г., Тамоев С.К., Оснач С.А., Мазалов А.В., Платонов В.В. Способ эндопротезирования голеностопного сустава при некрозе таранной кости, крузартрозе, эквино-варо-приведенной деформации стопы. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):446-455. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-446-455. EDN: VNARRP.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-446-455>



Ankle joint replacement for necrosis of the talus, crurarthrosis, equinovarus and adducted foot

V.V. Kuznetsov¹✉, V.G. Protsko^{1,2}, S.K. Tamoev¹, S.A. Osnach¹, A.V. Mazalov¹, V.V. Platonov^{1,2}

¹ City Clinical Hospital named after. S.S. Yudina, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Vasily V. Kuznetsov, vkuznecovniito@gmail.com

Abstract

Introduction Surgical treatment of patients with avascular osteonecrosis of the talus and post-traumatic hindfoot deformity is associated with high morbidity, difficulty of early disease detection, the discrepancy between patient expectations and orthopaedic requirements for surgical outcomes due to traditional methods. The use of customized ankle joint replacement may be a potential solution to this problem.

The objective was to evaluate the results of treatment of a patient with avascular osteonecrosis of the talus, crurarthrosis and hindfoot deformity using an original replacement method for the ankle joint and the talus.

Material and methods A 30-year-old patient with post-traumatic avascular osteonecrosis of the talus, crurarthrosis, equinovarus and adducted foot underwent replacement of the ankle joint and talus using the method developed by the authors. Radiographic and tomographic methods were used for diagnosis. The VAS scale, AOFAS, FFI, EFAS questionnaires and pedobarography were used to assess clinical and functional results.

Results The results of treatment evaluated at 12 months showed maintained foot deformity correction, stability of a tailored construct with no signs of loosening and osteolysis. The clinical and functional result showed a 81/2 VAS decrease in pain, functional status improved by 4.3 times with functional foot index (FFI) improved by 2.2 times according to the AOFAS scale at 12 months.

Discussion Orthopaedic surgeons are conducting research aimed at preserving ankle motion in the treatment of avascular osteonecrosis of the talus. A serious problem is associated with concomitant deformities of the hindfoot and available implants fail to solve this problem.

Conclusion The surgical method offered for the patient provided good clinical and functional results with the hindfoot deformity corrected within one stage reducing the treatment time.

Keywords: avascular necrosis, aseptic necrosis, osteonecrosis, arthrodesis, arthroplasty, ankle joint, talus, custom-made talus prosthesis, ankle joint replacement

For citation: Kuznetsov VV, Protsko VG, Tamoev SK, Osnach SA, Mazalov AV, Platonov VV. Ankle joint replacement for necrosis of the talus, crurarthrosis, equinovarus and adducted foot. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):446-455. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-446-455

ВВЕДЕНИЕ

Аваскулярный остеонекроз таранной кости (АОТК) является тяжелым инвалидизирующим заболеванием. Диагностика остеонекроза таранной кости (ТК) различной этиологии на ранних стадиях затруднена, вследствие чего пациенты обращаются за помощью на поздних стадиях заболевания, когда уже сформировалась грубая деформация заднего отдела стопы, голеностопного сустава [1]. На сегодняшний день общепринятым является хирургическое лечение [2]. Массивная потеря костного вещества таранной кости, посттравматические изменения голеностопного сустава приводят к сложным фиксированным деформациям заднего отдела стопы, все это формирует препятствия для имплантации существующих первичных и ревизионных конструкций эндопротеза голеностопного сустава и, соответственно, ставит под вопрос сохранение движений в столь значимых суставах заднего отдела стопы. В исторической ретроспективе основным методом лечения аваскулярного некроза таранной кости различного генеза считали астрагалэктомию, рекомендованную в случаях самых тяжелых поражений таранной кости, таких как фрагментация, рассасывание, невозможность сохранения суставов, окружающих таранную кость [3]. Функциональные исходы этой операции не соответствуют современному уровню ожиданий пациентов и требований ортопедов к результатам оперативного лечения [4]. В настоящее время хирургическое лечение пациентов с остеонекрозом таранной кости различной этиологии и его последствиями обычно представлено большеберцово-таранно-пяточным артродезом, панартродезом стопы с массивной костной ауто- и аллопластикой дефектов, которые дополняют различными реконструктивными вмешательствами по показаниям [2]. Такой вид хирургического лечения, несмотря на свои достоинства, обладает рядом существенных недостатков: высокая травматичность, необратимая потеря движений в функционально значимых суставах заднего отдела стопы, высокий риск несращений, большая частота остаточных деформаций, необходимость длительных сроков иммобилизации конечности [5–8]. В настоящее время актуальна разработка способов лечения, направленных на сохранение биомеханики в суставах заднего отдела стопы при тотальном аваскулярном остеонекрозе таранной кости [9]. Развитие аддитивных технологий, взаимодействие между собой хирургов и инженеров, применение безопасных материалов и сплавов создают возможность разработки оригинальных конструкций и внедрения новых способов хирургического лечения с применением современных технологий [10].

Одной из важнейших проблем, которая возникает при определении показаний к проведению эндопротезирования голеностопного сустава, является не только наличие аваскулярного остеонекроза таранной кости, но также сопутствующая деформация заднего отдела стопы и голеностопного сустава. Это может стать абсолютным препятствием и противопоказанием к проведению первичных эндопротезирования голеностопного сустава с использованием существующих конструкций [11]. Ряд авторов предлагает многоэтапное хирургическое лечение, где первым этапом выполняют коррекцию деформации, остеотомию смежных костей, артродезы смежных суставов (подтаранного, таранно-ладьевидного, пяточно-кубовидного) с костной ауто- и аллопластикой дефектов [12]. Это позволяет создать условия для проведения второго этапа хирургического лечения — эндопротезирования голеностопного сустава, который возможен при сохранении структуры таранной кости. В противном случае сохраняется высокий риск развития нестабильности компонентов эндопротеза и инфекций в будущем. Возникает закономерный вопрос: как преодолеть существующие недостатки и улучшить результаты лечения пациентов с посттравматической эквино-варо-приведенной деформацией стопы и голеностопного сустава при остеонекрозе таранной кости различной этиологии, с посттравматическим остеоартрозом голеностопного сустава, сохранив движения в суставах заднего отдела стопы? На наш взгляд, потенциальным решением данной проблемы является создание индивидуальной конструкции эндопротеза таранной кости с применением аддитивных технологий, выполнение операции по разработанному нами способу эндопротезирования голеностопного, таранно-ладьевидного, подтаранного суставов оригинальным эндопротезом таранной кости, воспроизводящим ее утраченную нормальную анатомию и пространственную ориентацию в заднем отделе стопы, голеностопного сустава, адаптируя ее конфигурацию с сочленяющейся поверхностью фиксированного вкладыша и тиббиального компонента эндопротеза голеностопного сустава [13].

Цель работы — оценить результаты лечения пациентки с аваскулярным остеонекрозом таранной кости, крузартрозом и деформацией заднего отдела стопы оригинальным способом эндопротезирования голеностопного сустава и таранной кости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом исследования явились данные пациентки 30 лет с посттравматическим аваскулярным некрозом таранной кости, который привел к посттравматическому остеоартрозу голеностопного сустава и формированию приведенной эквино-варусной деформации стопы и голеностопного сустава. Для оперативного лечения применен оригинальный способ эндопротезирования голеностопного

сустава с использованием индивидуальных имплантов, полученных с помощью 3D-реконструкции, и моделирования неповрежденных таранной кости и голеностопного сустава контралатеральной стороны. Клиническая эффективность определена коррекцией деформации заднего отдела стопы, стабильностью эндопротеза и отсутствием признаков остеолитиза вокруг компонентов, регистрируемых на контрольном осмотре. В качестве критериев оценки использованы данные рентгенографии, мультиспиральной компьютерной томографии, статической и динамической педобарографии, опросники функционального и клинического состояния стопы и голеностопного сустава AOFAS (American Orthopedic Foot & Ankle Society), EFAS (European Foot and Ankle Society), FFI (Foot Function Index) и визуальная аналоговая шкала боли (VAS). Коллектив авторов получил от пациентки согласие на участие в исследовании и публикацию результатов без идентификации личности.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пациентка Ш., 1992 г. рождения, в 2022 г. поступила в 4 травматолого-ортопедическое отделение (отделение хирургии стопы и голеностопного сустава) Городской клинической больницы имени С.С. Юдина (Москва) с жалобами на боли, грубую деформацию заднего отдела правой стопы, стойкое ограничение объема движений в голеностопном, подтаранном, таранно-ладьевидном суставах, отек мягких тканей в области голеностопного сустава правой стопы. Анамнез заболевания: со слов пациентки, в 2014 г. получила травму в быту, упала с высоты собственного роста на правую стопу, получила открытый перелом шейки таранной кости правой стопы с вывихом в подтаранном, таранно-ладьевидном и голеностопном суставах, тип IV по классификации Hawkins [14] (рис. 1, а, б). По экстренным показаниям доставлена в травматологическое отделение стационара, где выполнено хирургическое лечение в объеме открытого вправления и металлоостеосинтеза правой таранной кости винтами (рис. 1, в, г). Послеоперационный период протекал без особенностей, заживление первичным натяжением, проведена иммобилизация оперированной нижней конечности гипсовой повязкой в течение трех месяцев. После консолидации костных фрагментов гипсовая иммобилизация прекращена, пациентка приступила к восстановительному консервативному лечению. В 2016 г. по месту жительства проведено удаление металлоконструкций, которое сопровождалось техническими трудностями (перелом винтов), конструкции убраны частично из-за высокой вероятности травматического повреждения таранной кости. С 2016 по 2022 г. у пациентки прогрессировал болевой синдром, появилась деформация заднего отдела стопы, присоединилось стойкое ограничение объема движений, отек мягких тканей в области голеностопного сустава. Клинически отмечено приведение и супинация правой стопы с вершиной деформации на уровне таранно-ладьевидного сустава с формированием фиксированной эквинусной установки стопы на уровне голеностопного сустава и варусной деформации пяточной кости на уровне подтаранного сустава, сопровождающейся стойкой болезненной контрактурой. Пациентка могла делать не более 5000 шагов в день.



Рис. 1. Рентгенограммы правого голеностопного сустава (прямая и боковая проекции): а, б — отмечается перелом шейки таранной кости с вывихом в подтаранном, таранно-ладьевидном и голеностопном суставах (2014 г.); в, г — вправленный переломовывих таранной кости, металлоостеосинтез в условиях внутренней фиксации винтами (2014 г.); д, е — исход АОТК, коллапс ТК, посттравматическая варусная деформация заднего отдела стопы, инородные тела (фрагменты винтов в теле правой ТК), посттравматический правосторонний крузартроз 3 ст. (2022 г.)

Консервативное лечение не привело к положительному результату, проведено комплексное клиничко-рентгенологическое обследование. Выполнена рентгенография обеих стоп и голеностопных суставов в прямой и боковой проекциях (рис. 1, д, е), отмечен коллапс ТК, посттравматическая варусная деформация ТК, инородные тела (фрагменты винтов в теле правой ТК), посттравматический правосторонний круартроз 3 ст.

Выполнена мультиспиральная компьютерная томография правого голеностопного сустава (рис. 2, а, б), определен исход посттравматического асептического некроза таранной кости, правый голеностопный сустав деформирован. Суставные поверхности нечеткие, неровные, отмечается субхондральный остеосклероз суставных поверхностей с кистовидной перестройкой. Суставная щель нитевидно сужена. Выполнена 3D-реконструкция голеностопной области с 3D-моделированием правой стопы, отмечена варусная деформация таранной кости, супинация и приведение стопы, коллапс таранной кости, инородные тела (фрагменты винтов в теле таранной кости).

Лучевые методы обследования (рентгенография, МСКТ голеностопного сустава) отражают несомненные признаки посттравматического аваскулярного некроза таранной кости и его осложнений в виде коллапса таранной кости, множественных кист большеберцовой, таранной костей и т.д. На основании клинических находок и данных инструментальных методов обследования установлен диагноз: посттравматический аваскулярный некроз таранной кости, коллапс блока таранной кости правой стопы, деформирующий остеоартроз голеностопного сустава 3 ст., фиксированная приведенная эквиноварусная деформация правой стопы с приведением переднего отдела. Для сохранения биомеханики движений в голеностопном, подтаранном, таранно-ладьевидном суставах, устранения деформации заднего отдела стопы, сокращения сроков реабилитации в послеоперационном периоде пациентке предложено хирургическое лечение с применением запатентованного нами способа (Пат. 2800562 РФ «Способ эндопротезирования голеностопного сустава при посттравматической эквино-варо-приведенной деформации стопы и голеностопного сустава при некрозе таранной кости различной этиологии с посттравматическим остеоартрозом голеностопного сустава») [13].

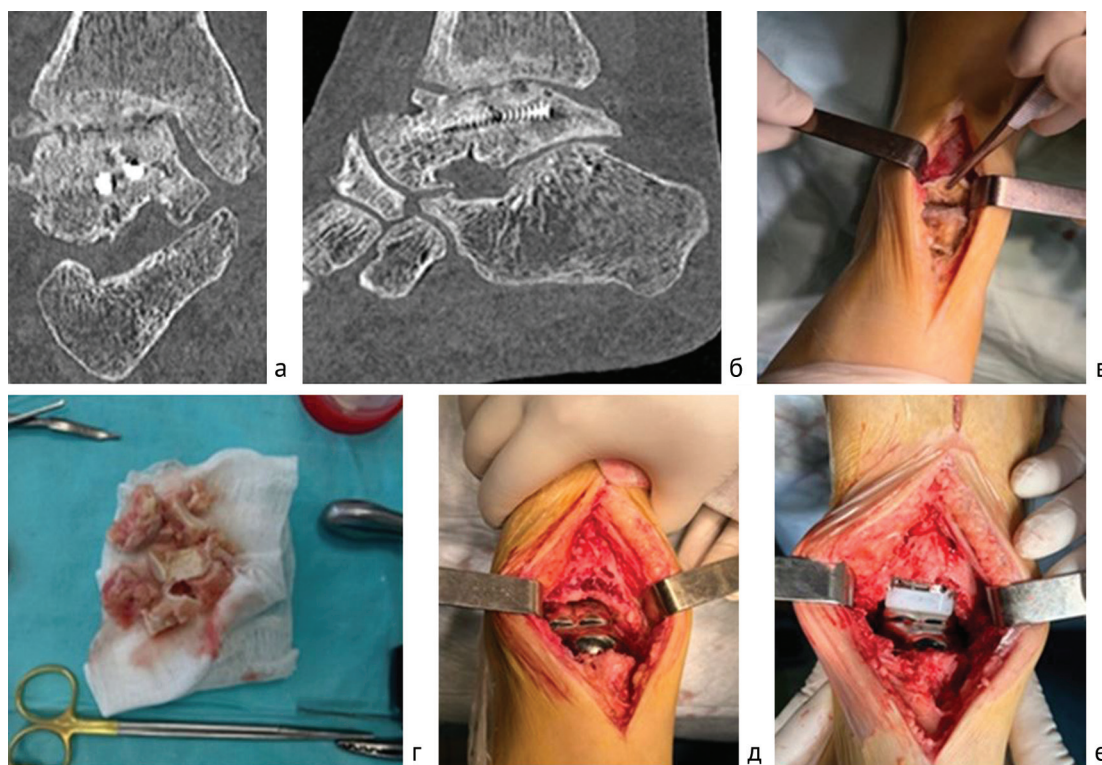


Рис. 2. Коронарный и сагиттальный МСКТ-сканы голеностопного сустава: а, б — исход посттравматического АОТК, коллапса таранной кости, множественные кисты большеберцовой, таранной костей. Интраоперационные фото: в — хирургического доступа к голеностопному суставу; г — фрагментированной, некротизированной таранной кости; д — имплантированного индивидуального эндопротеза таранной кости; е — собранной конструкции индивидуального эндопротеза голеностопного сустава и таранной кости с тиббиальным компонентом и полиэтиленовым вкладышем

Проведение операции с использованием предложенного способа эндопротезирования голеностопного сустава состояло из ряда этапов.

Предоперационное планирование. Проводили МСКТ-исследование контралатеральной здоровой таранной кости и выполняли ее зеркальную реконструкцию. После этого создавали индивидуальный имплант таранной кости с учетом таких показателей как форма, размеры, объем неповрежденной контралатеральной таранной кости, отзеркаленной и адаптированной к стороне планируемой имплантации. На блоке инди-

видуального импланта таранной кости формировали вырезку по типу «ласточкиного хвоста», подходящую по форме и размерам к полиэтиленовому вкладышу эндопротеза голеностопного сустава, на виртуальной модели оценивали результаты измерений, взаимоотношений и пространственной ориентации таранной кости в подтаранном, таранно-ладьевидном, голеностопном суставах, с оценкой таких показателей как тало-метатарзальный угол [15], ось таранной кости [16], таранно-пяточный угол (угол Кита) [17].

Оперативное вмешательство. Накладывали турникет, выполняли ахиллотомию, осуществляли доступ по передней поверхности голеностопного сустава в пространстве между сухожилиями длинного разгибателя 1 пальца и передней большеберцовой мышцы, послойно рассекали кожу, подкожно-жировую клетчатку до кости, защищая сосудисто-нервный пучок, выполняли субпериостальную диссекцию в латеральном и медиальном направлениях с обнажением пилона большеберцовой кости, шейки и головки таранной кости, голеностопного сустава, проводили иссечение синовиальной оболочки голеностопного сустава, резецировали остатки фрагментированной таранной кости и удаляли их — производили астрагалэктомию (рис. 2, в, г). В сформированное ложе устанавливали индивидуальный эндопротез таранной кости, адаптированный по форме и размеру к полиэтиленовому вкладышу и тиббиальному компоненту эндопротеза голеностопного сустава, производили установку тиббиального компонента голеностопного сустава, в тиббиальный компонент фиксировали импактор для впрессовывания полиэтиленового вкладыша, имплантировали полиэтиленовый вкладыш (рис. 2, д, е).

После снятия турникета выполняли гемостаз, рану послойно ушивали, накладывали асептическую повязку, проводили иммобилизацию глубокой задней гипсовой шиной. Дренаж удаляли на следующий день.

Послеоперационное лечение. Проводили перевязки и медикаментозное лечение, последующую иммобилизацию осуществляли съемным жестким ортезом. Пациентке рекомендовали ходьбу с костылями без опоры на оперированную нижнюю конечность сроком на 4 нед. Иммобилизация и антикоагулянтная терапия прекращены в запланированные сроки (4 нед.). Пациентка начала нагрузку на оперированную ногу с использованием костылей и постепенным отказом от них в течение месяца с контрольным осмотром. Назначали массаж, физиолечение, кинезиотерапию, лечебную физкультуру. Через 12 мес. после операции осуществлен динамический контрольный осмотр, на котором выполнены рентгенография и МСКТ-контроль оперированного голеностопного сустава и стопы (рис. 3, а–е).

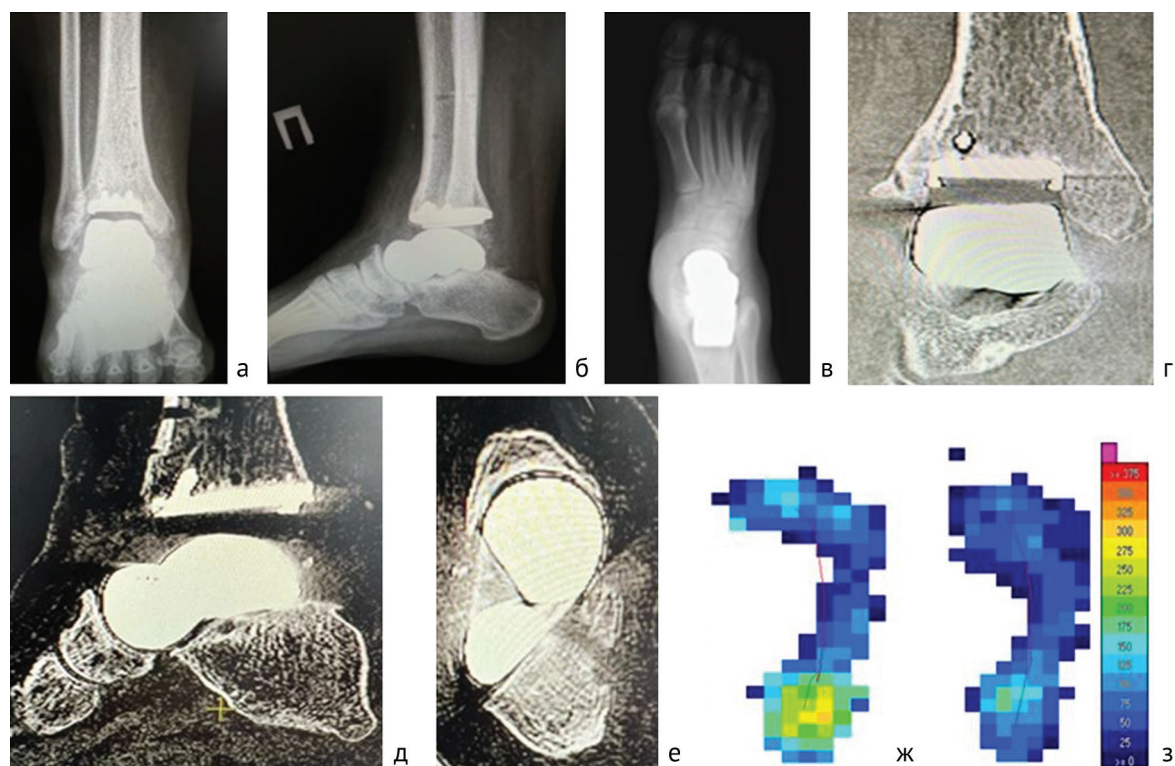


Рис. 3. Рентгенограммы правого голеностопного сустава в прямой и боковой проекциях (а, б), прямая проекция правой стопы с имитацией опоры (в) спустя 12 месяцев с момента операции. Коронарный, сагиттальный, аксиальный МСКТ-сканы правого голеностопного сустава и стопы (г, д, е). Точное взаимоотношение индивидуального имплантата таранной кости в подтаранном, таранно-ладьевидном суставах, а также конгруэнтность и соосность между имплантом, полиэтиленовым вкладышем и тиббиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава. Результаты педобарографии правой стопы: до проведения индивидуального эндопротезирования голеностопного сустава и таранной кости (ж), через 12 месяцев после эндопротезирования (з). Отмечается снижение перегрузки задних отделов стопы, равномерное распределение нагрузки между передним, средним и задним отделами стопы

В результате точного соответствия блока таранной кости и фиксированного полиэтиленового вкладыша в тибиальный компонент эндопротеза голеностопного сустава корректируется сопутствующая приведенная эквиноварусная деформация стопы, обеспечивается сохранность движений в голеностопном, подтаранном, таранно-ладьевидном суставах. Перед операцией и через 12 мес. после нее проводили анкетирование пациентки по визуальной аналоговой шкале боли VAS [18], оценивали функциональные показатели по AOFAS [19] и функциональному индексу стопы FFI [20], комплексную оценку по EFAS [21], результатам статической и динамической педобарографии. Полученные данные продемонстрировали существенное улучшение в виде снижения болевых ощущений, улучшения функционального состояния (табл. 1) и биомеханики стопы, снижения перегрузки задних отделов и увеличения равномерности распределения осевой нагрузки между передним, средним и задним отделами стопы (рис. 3, ж, з). К последнему контрольному визиту пациентка могла делать более 9000 шагов в день.

Таблица 1

Оценка клинического и функционального состояния стопы с использованием опросников

Шкала/ Опросник	До операции	Через 12 месяцев после операции
VAS	85	10
AOFAS	36	80
FFI	100	23
EFAS	12,5	31,5

Примечание: VAS — Visual Analogue Scale; AOFAS — American Orthopedic Foot & Ankle Society; FFI — Foot Function Index; EFAS — European Foot and Ankle Society

ОБСУЖДЕНИЕ

Грубо смещенные переломы и переломо-вывихи таранной кости (тип IV по Hawkins) должны быть своевременно, в короткие сроки после травмы, вправлены и фиксированы с использованием внешней фиксации или без нее для подготовки к дальнейшему хирургическому лечению — открытой репозиции и внутренней фиксации. При оперативном лечении следует с осторожностью относиться к удалению надкостницы, резекция которой необходима только для анатомичного вправления. Следует применять жесткую, стабильную внутреннюю фиксацию с использованием кортикальных винтов с потайной шляпкой, которые должны располагаться на уровне или ниже середины головки таранной кости, возможно дополнительное применение блокируемых пластин. Сроки проведения окончательной операции при смещенных переломах не влияют на риск развития остеонекроза, важно сохранить длину таранной кости и восстановить ее анатомию [22]. Однако, даже при отлично выполненной анатомической открытой репозиции и внутренней фиксации костных фрагментов, сохраняется риск развития посттравматического АОТК в отдаленной перспективе, по данным разных авторов достигающего от 50 до 100 % [23–25]. Единственным лучшим предиктором развития посттравматического аваскулярного некроза является величина первоначального смещения. Вследствие развития аваскулярного некроза в теле таранной кости формируются кисты, зоны рубцового перерождения, происходит коллапс и фрагментация, в результате этого зачастую развиваются грубые посттравматические деформации заднего отдела стопы и голеностопного сустава с образованием стойких контрактур, выраженного болевого синдрома. Наличие посттравматического АОТК, сопутствующих грубых деформаций заднего отдела стопы и голеностопного сустава является препятствием для проведения первичного эндопротезирования голеностопного сустава существующими на рынке конструкциями, так как жизнеспособность большого массива костной ткани таранной кости на фоне АОТК вызывает сомнения в ее регенераторном потенциале для будущего сращения костных фрагментов с имплантом, приводя, тем самым, к ранней нестабильности.

В настоящее время перспективным и актуальным решением является разработка новых способов хирургического лечения, направленных на сохранение биомеханики в суставах заднего отдела стопы у пациентов с тотальным поражением таранной кости аваскулярным остеонекрозом с сопутствующими деформациями заднего отдела стопы и голеностопного сустава. Лечение такой группы пациентов вызывает большие трудности у травматологов в свежих случаях, а у ортопедов — в результате исхода заболевания. Длительные сроки иммобилизации, несращение, укорочение нижней конечности, грубые деформации и т.д. приводят к инвалидизации пациентов, большинство которых составляет группу молодых и трудоспособных людей. Наш опыт и зарубежные публикации в области эндопротезирования таранной кости подтверждают хорошие отдаленные результаты применения таких сложных конструкций [26]. Успешные результаты замены таранной кости демонстрируют авторы при лечении пациентов с травматической экстррузией таранной кости как в педиатрической практике [27], так и у взрослых пациентов [28].

Возникает закономерное предложение о смене парадигмы в отношении подхода к лечению пациентов с травматической потерей таранной кости, ее переломовывихами, сопровождающимися массивной потерей костного вещества. На наш взгляд, потенциальным и перспективным решением является внедрение в травматолого-ортопедическую практику индивидуального подхода к таким пациентам, создание индивидуальных конструкций для эндопротезирования таранной кости с применением ад-

дитивных технологий, по показаниям — комбинация с эндопротезированием пилона большеберцовой кости, тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава и полиэтиленовым вкладышем, фиксированным с ним.

До сих пор не утихают дискуссии в отношении материалов пары трения индивидуального эндопротеза, отношения к капсульно-связочному аппарату голеностопного сустава, одно- или двухэтапному хирургическому лечению (1 этап — коррекция деформации заднего отдела стопы, 2 — эндопротезирование голеностопного сустава), цементной или бесцементной фиксации тибиального компонента, фиксации эндопротеза таранной кости в подтаранном суставе. На практике мы применяем в качестве материала для создания индивидуального имплантата таранной кости материалы двух видов: сплав Ti64ELI в первом случае и циркониевая керамика — во втором. В литературе описано применение имплантатов из стали, алюмооксидной керамики, сплавов титана и т.д. [26, 29]. Восстановление капсульно-связочного аппарата голеностопного сустава мы выполняли по показаниям в двух случаях (1 — дистальный межберцовый синдесмоз, 2 — передняя таранно-малоберцовая связка). Во всех наших клинических случаях эндопротез таранной кости не был фиксирован с окружающими его подтаранным и таранно-ладьевидным суставами.

Наличие сопутствующих деформаций заднего отдела стопы в клинической практике обуславливает определенные технические трудности при создании индивидуального импланта таранной кости. Обычная отзеркаленная модель неповрежденной таранной кости при посттравматических изменениях не соответствует по форме и размерам будущему месту ее имплантации, что, в свою очередь, можно смело утверждать, приведет к невозможному выполнению эндопротезирования таранной кости и голеностопного сустава. Если же получится имплантировать такой эндопротез, то сохранение после травматической деформации и болевого синдрома ставят под вопрос его выживаемость в отдаленной перспективе.

Техническим результатом предлагаемого нами и внедренного в практику изобретения является исправление деформации таранной кости, устранение болевого синдрома и сохранение объема движений в голеностопном, подтаранном и таранно-ладьевидном суставах за счет использования индивидуального импланта таранной кости в сочетании с тибиальным компонентом и фиксированным в нем полиэтиленовым вкладышем эндопротеза голеностопного сустава [13]. Особенностью в создании импланта было то, что мы учитывали форму, размер, объем неповрежденной таранной кости, адаптировали ее к параметрам измерений и пространственной ориентации в подтаранном, таранно-ладьевидном и голеностопном суставах, месту будущей имплантации, оценивали такие показатели как тало-метатарзальный угол, ось таранной кости, таранно-пяточный угол (угол Кита).

Все риски должным образом объяснены и обсуждены с пациенткой. Артродез голеностопного сустава представлен ей как альтернативная процедура, однако пациентка предпочла артропластику голеностопного сустава с использованием нашего способа. Через год после операции наша команда и пациентка довольны достигнутым результатом.

Каждый случай АОТК требует индивидуального дифференцированного подхода к лечению. С должным вниманием и осторожностью нужно подходить к лечению пациентов с сопутствующими деформациями заднего отдела стопы, которые однозначно нужно принимать во внимание и планировать подготовку имплантата должным образом, с учетом всех факторов, которые могут в будущем повлиять на его выживаемость. Нами за период 2019–2023 гг. выполнено 9 имплантаций индивидуальных конструкций предложенным способом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты лечения пациентки разработанным хирургическим способом показывают хорошие клинические и функциональные показатели, позволяя корректировать деформацию заднего отдела стопы в один этап, сокращая сроки лечения. Использование индивидуальных имплантатов таранной кости с учетом сопутствующих деформаций заднего отдела стопы и голеностопного сустава с применением аддитивных технологий позволяет корректировать сопутствующую деформацию заднего отдела стопы, делая возможным выполнение эндопротезирования голеностопного сустава, сохраняя биомеханику в столь значимых суставах заднего отдела стопы, достигая положительных ближайших и отдаленных результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hamoudi C, Doljencu A, Illes T. Avascular necrosis of the talus causing meniscoid lesions in the ankle joint: a case report. *J Med Case Rep.* 2022;16(1):83. doi: 10.1186/s13256-022-03298-7
2. Backus JD, Ocel DL. Ankle Arthrodesis for Talar Avascular Necrosis and Arthrodesis Nonunion. *Foot Ankle Clin.* 2019;24(1):131-142. doi: 10.1016/j.fcl.2018.11.004
3. Lampert C. Sprunggelenkprothese bei Knochendefekten [Ankle joint prosthesis for bone defects]. *Orthopäde.* 2011;40(11):978-83. (In German) doi: 10.1007/s00132-011-1826-2

4. Riesner HJ, Lübken FV, Förster S, et al. Aktuelle Therapieempfehlungen bei Talusluxationsfrakturen vom Typ IV nach Marti und Weber – ein Literaturreview [Current Recommendations for the Therapy of Dislocated Talus Fractures Weber and Marti Type IV - Literature Research]. *Z Orthop Unfall*. 2017;155(2):149-156. (In German) doi: 10.1055/s-0042-119866
5. Overley BD Jr, Rementer MR. Surgical Complications of Ankle Joint Arthrodesis and Ankle Arthroplasty Procedures. *Clin Podiatr Med Surg*. 2017;34(4):565-574. doi: 10.1016/j.cpm.2017.05.011
6. Manke E, Yeo Eng Meng N, Rammelt S. Ankle Arthrodesis - a Review of Current Techniques and Results. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2020;87(4):225-236.
7. Cooper PS. Complications of ankle and tibiotalar calcaneal arthrodesis. *Clin Orthop Relat Res*. 2001;(391):33-44. doi: 10.1097/00003086-200110000-00006
8. Cohen MM, Kazak M. Tibiocalcaneal Arthrodesis With a Porous Tantalum Spacer and Locked Intramedullary Nail for Post-Traumatic Global Avascular Necrosis of the Talus. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(6):1172-1177. doi: 10.1053/j.jfas.2015.01.009
9. Jennison T, Dalgleish JS, Davies M, et al. Total Talus Replacement: A Systematic Review of the Literature. *Foot Ankle Orthop*. 2022;7(4). doi: 10.1177/2473011421S00709
10. Mobarak MH, Islam MdA, Hossain N, et al. Recent advances of additive manufacturing in implant fabrication – A review. *Appl Surf Sci Adv*. 2023;18:100462. doi: 10.1016/j.apsadv.2023.100462
11. Hintermann B, Ruiz R. Ankle arthritis and the treatment with ankle replacement. *Rev Médica Clínica Las Condes*. 2014;25(5):812-823. doi: 10.1016/S0716-8640(14)70112-9
12. Hintermann B. *Total ankle arthroplasty: historical overview, current concepts and future perspectives*. Springer Publ.; 2005:200.
13. Оснач С.А., Кузнецов В.В., Процко В.Г. и др. Способ эндопротезирования голеностопного сустава при посттравматической эквин-варо-приведенной деформации стопы и голеностопного сустава при некрозе таранной кости различной этиологии с посттравматическим остеоартрозом голеностопного сустава. Патент РФ на изобретение № 2800562. 24.07.23. Бюл. № 21. Доступно по: https://www.fips.ru/register-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&DocNumber=2800562&TypeFile=html. Ссылка активна на 26.02.2024.
14. Alton T, Patton DJ, Gee AO. Classifications in Brief: The Hawkins Classification for Talus Fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(9):3046-9. doi: 10.1007/s11999-015-4136-x
15. Aebi J, Horisberger M, Frigg A. Radiographic Study of Pes Planovarus. *Foot Ankle Int*. 2017;38(5):526-531. doi: 10.1177/1071100717690440
16. Crim JR. *Imaging anatomy. Knee. Ankle. Foot*. Elsevier Publ.; 2017:624.
17. Chueire AJ, Carvalho Filho G, et al. Treatment of congenital clubfoot using Ponseti method. *Rev Bras Ortop*. 2016;51(3):313-318. doi: 10.1016/j.rboe.2015.06.020
18. Richter M, Zech S, Geerling J, et al. A new foot and ankle outcome score: questionnaire based, subjective, visual-analogue-scale, validated and computerized. *Foot Ankle Surg*. 2006;12(4):191-199. doi: 10.1016/j.fas.2006.04.001
19. Kitaoka HB, Alexander IJ, Adelaar RS, Nunley JA, Myerson MS, Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int*. 1994;15(7):349-353. doi: 10.1177/107110079401500701
20. Budiman-Mak E, Conrad KJ, Roach KE. The Foot Function Index: a measure of foot pain and disability. *J Clin Epidemiol*. 1991;44(6):561-570. doi: 10.1016/0895-4356(91)90220-4
21. Richter M, Agren PH, Besse JL, et al. EFAS Score - Multilingual development and validation of a patient-reported outcome measure (PROM) by the score committee of the European Foot and Ankle Society (EFAS). *Foot Ankle Surg*. 2018;24(3):185-204. doi: 10.1016/j.fas.2018.05.004
22. Clare MP, Maloney PJ. Prevention of Avascular Necrosis with Fractures of the Talar Neck. *Foot Ankle Clin*. 2019;24(1):47-56. doi: 10.1016/j.fcl.2018.09.003
23. Lédur S, Clare MP, Laflamme GY, Walling AK. Posttraumatic avascular necrosis of the talus. *Foot Ankle Clin*. 2008;13(4):753-765. doi: 10.1016/j.fcl.2008.09.004
24. Lindvall E, Haidukewych G, DiPasquale T, et al. Open reduction and stable fixation of isolated, displaced talar neck and body fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(10):2229-2234. doi: 10.2106/00004623-200410000-00014
25. Vallier HA, Nork SE, Benirschke SK, Sangeorzan BJ. Surgical treatment of talar body fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A Suppl 1(Pt 2):180-192. doi: 10.2106/00004623-200409001-00008
26. West TA, Rush SM. Total Talus Replacement: Case Series and Literature Review. *J Foot Ankle Surg*. 2021;60(1):187-193. doi: 10.1053/j.jfas.2020.08.018
27. Stevens BW, Dolan CM, Anderson JG, Bukrey CD. Custom talar prosthesis after open talar extrusion in a pediatric patient. *Foot Ankle Int*. 2007;28(8):933-938. doi: 10.3113/FAI.2007.0933
28. Magnan B, Facci E, Bartolozzi P. Traumatic loss of the talus treated with a talar body prosthesis and total ankle arthroplasty. A case report. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(8):1778-1782. doi: 10.2106/00004623-200408000-00024
29. Кузнецов В.В., Тамоев С.К., Оснач С.А. и др. Эндопротезирование таранной кости при лечении пациентов с аваскулярным остеонекрозом таранной кости: обзор литературы. *Гений ортопедии*. 2023;29(3):329-340. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-3-329-340. EDN: BQOXZV.

Статья поступила 16.01.2024; одобрена после рецензирования 08.02.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 16.01.2024; approved after reviewing 08.02.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Василий Викторович Кузнецов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, vkuznecovniito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>;

Виктор Геннадьевич Процко — доктор медицинских наук, профессор, врач травматолог-ортопед, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Саргон Константинович Тамоев — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Станислав Александрович Оснач — врач травматолог-ортопед, stas-osnach@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4943-3440>;

Алексей Витальевич Мазалов — травматолог-ортопед, президент Российской ассоциации хирургов стопы и голеностопного сустава RUSFAS, amazalov@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8031-984X>;

Валерий Витальевич Платонов — аспирант, врач травматолог-ортопед, platonov_ortho@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7135-3972>.

Information about the authors:

Vasiliy V. Kuznetson — Candidate of Medical Sciences, Orthopedic Surgeon, vkuznecovniito@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>;

Victor G. Protsko — Doctor of Medical Sciences, Professor, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Sargon K. Tamoev — Candidate of Medical Sciences, Orthopedic Surgeon, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Stanislav A. Osnach — Orthopedic Surgeon, stas-osnach@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4943-3440>;

Alexey V. Mazalov — Orthopedic Surgeon, President of the Russian Association of Foot and Ankle Surgeons RUSFAS, amazalov@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8031-984X>;

Valery V. Platonov — Postgraduate student, Orthopedic Surgeon, platonov_ortho@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-7135-3972>.

Клиническое наблюдение

УДК 616.718.1-001.5-089.22-06:616-005:616-089.193.4

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-456-463>



Развитие клиники илеофemorального тромбоза, вызванного мальпозицией илеосакрального винта

А.А. Гринь^{1,2✉}, Е.О. Дарвин¹, В.И. Комаров¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Тюменский государственный медицинский университет, Тюмень, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Алексеевич Гринь, aalex.grin@gmail.com

Аннотация

Введение. Лечение нестабильных повреждений костей таза является одной из нерешенных проблем современной травматологии. Нестабильность повреждений определяется характером разрушений заднего полукольца таза. Наиболее используемой методикой остеосинтеза переломов крестца при нестабильных повреждениях таза является илеосакральная фиксация винтами.

Цель работы — демонстрация клинического случая ятрогенного осложнения в виде илеофemorального тромбоза, обусловленного сдавлением внутренней подвздошной вены вследствие мальпозиции илеосакрального винта.

Материалы и методы. История болезни пациента 34 лет, получившего травму в результате ДТП (пассажир переднего сидения), поступившего из районной больницы на четвертые сутки после травмы с диагнозом: «Перелом поперечного отростка L2 позвонка слева. Закрытый перелом лонной, седалищной костей слева. Перелом боковой массы крестца справа. Алкогольное опьянение. Травматический шок 1 ст.». Результаты прослежены в течение стационарного и амбулаторного периодов лечения. Отдаленный результат наблюдения составил 6 мес.

Результаты. Своевременное подозрение на основании данных физикального осмотра с проведением КТ-ангиографии позволило исключить внутреннее кровотечение и в срочном порядке провести повторное оперативное вмешательство с устранением мальпозиции имплантата, реостеосинтезом тела S1 без потери репозиции, добиться регресса клинической картины илеофemorального тромбоза, а также в кратчайшие сроки активизировать пациента. В процессе стационарного лечения удалось достичь регресса симптоматики осложнения, пациент полностью активизирован, выписан на амбулаторное наблюдение.

Обсуждение. Вариабельность анатомии крестца и особенностей переломов затрудняет навигацию при проведении илеосакральных винтов, что в ряде случаев может привести к мальпозиции. Сдавление общей подвздошной вены без ее повреждения вызывает затруднение оттока крови и развитие клинической картины илеофemorального тромбоза в раннем послеоперационном периоде.

Заключение. Описанный клинический случай указывает на то, что рентгенологические изображения в стандартных проекциях не являются надежным методом диагностики повреждений крестца и не являются достаточными для предоперационного планирования, а использование стандартных проекций С-дуги не обеспечивает достаточную интраоперационную визуализацию для корректной оценки положения илеосакрального винта, особенно в случаях с дисморфией крестца. Функция 3D-реконструкции объемного изображения значительно повлияла на правильное восприятие анатомического строения костных структур таза пациента. Мальпозиция винта с выходом на переднюю поверхность крестца вызвала нарушение оттока по подвздошной вене с развитием тромбоза в раннем послеоперационном периоде.

Ключевые слова: илеосакральное блокирование, мальпозиция, илеофemorальный тромбоз

Для цитирования: Гринь А.А., Дарвин Е.О., Комаров В.И. Развитие клиники илеофemorального тромбоза, вызванного мальпозицией илеосакрального винта. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):456-463. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-456-463. EDN: VXBEMB.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-456-463>



Clinical development of ileofemoral thrombosis caused by malposition of the ileosacral screw

A.A. Grin^{1,2✉}, E.O. Darwin¹, V.I. Komarov¹

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Tyumen State Medical University, Tyumen, Russian Federation

Corresponding author: Alexey A. Grin, aalex.grin@gmail.com

Abstract

Introduction Treatment of unstable injuries of the pelvic bones is one of the unsolved problems in modern traumatology. The instability of the injuries is determined by the nature of the destruction of the posterior semi-ring of the pelvis. The most used technique for osteosynthesis of sacral fractures for unstable pelvic injuries is ileosacral screw fixation.

The purpose of the work was to demonstrate a clinical case of an iatrogenic complication: ileofemoral thrombosis caused by compression of the internal iliac vein due to malposition of the ileosacral screw.

Materials and methods Medical records of a 34-year-old patient injured in a traffic accident (front seat passenger) were studied, who was referred from a district hospital on the fourth day after the injury diagnosed with a fracture of the transverse process of L2 vertebra on the left, closed fracture of the pubic and ischial bones on the left, fracture of the lateral mass of the sacrum on the right. Alcohol intoxication. Traumatic shock stage 1. Treatment results were monitored throughout the inpatient and outpatient treatment periods. Long-term follow-up was 6 months.

Results Timely suspicion of the complication based on physical examination data with CT angiography that assisted to exclude internal bleeding and urgently carry out repeated surgical intervention to correct the implant malposition, reosteosynthesis of S1 body without loss of reduction, to achieve regression of the clinical picture of ileofemoral thrombosis, and also to mobilize the patient in the shortest possible time. During inpatient treatment, regression of the symptoms of the complication was achieved, the patient was fully activated, and was discharged for outpatient follow-ups.

Discussion Variability in the anatomy of the sacrum and the characteristics of fractures hinder the navigation while inserting iliosacral screws, which in some cases result in malposition. Compression of the common iliac vein without damaging it causes difficulty in blood outflow and the development of a clinical picture of ileofemoral thrombosis in the early postoperative period.

Conclusion This clinical case shows that X-ray images in standard views are not a reliable method for diagnosing sacral injuries and are not sufficient for preoperative planning. The use of standard C-arm did not provide sufficient intraoperative visualization to correctly assess the position of the iliosacral screw, especially in cases with sacral dysmorphism. The 3D volumetric image reconstruction significantly influenced the correct perception of the anatomical structure of the bony structures of the pelvis. Malposition of the screw and its exit to the anterior surface of the sacrum caused disruption of the iliac vein outflow and development of thrombosis in the early postoperative period.

Keywords: ileosacral blockage, malposition, ileofemoral thrombosis

For citation: Grin AA, Darwin EO, Komarov VI. Clinical development of ileofemoral thrombosis caused by malposition of the ileosacral screw. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):456-463. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-456-463

ВВЕДЕНИЕ

Лечение нестабильных повреждений костей таза является одной из нерешенных проблем современной травматологии. Нестабильность повреждений определяется характером разрушений заднего полукольца таза. Из всех возможных вариантов переломов заднего отдела таза наиболее часто встречаются переломы крестца [1, 2, 3] — 0,82–2,1 случая на 100 тыс. человек (около 3 % от всех переломов скелета) [4, 5, 6]. Наиболее используемой методикой остеосинтеза переломов крестца при нестабильных повреждениях таза является илеосакральная фиксация винтами [4, 7, 8]. Методика достаточно хорошо изучена и имеет различные вариации в зависимости от особенностей перелома [3, 7, 9, 10, 11, 12], однако является требовательной к уровню хирургических навыков и материально-технической базы медицинского учреждения.

Цель работы — демонстрация клинического случая ятрогенного осложнения в виде илеофemorального тромбоза, обусловленного сдавлением внутренней подвздошной вены вследствие мальпозиции илеосакрального винта.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Все материалы и методы представлены с информированного согласия законного представителя пациента и с соблюдением этических принципов Хельсинкской декларации пересмотра 2013 г. Материалом послужила история болезни пациента 34 лет, получившего травму в результате ДТП (пассажир переднего сидения), поступившего из районной больницы на четвертые сутки после травмы с диагнозом: «Перелом поперечного отростка L2 позвонка слева. Закрытый перелом лонной, седалищной кости слева. Перелом боковой массы крестца справа. Алкогольное опьянение».

Результаты прослежены в течение всего срока стационарного и амбулаторного периодов лечения. Отдаленный результат наблюдения составил 6 мес.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пациент госпитализирован в травматологическое отделение НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова на четвертые сутки после получения травмы. При поступлении по данным УЗДС сосудов нижних конечностей и физикального осмотра признаков тромбоза сосудов нижних конечностей нет. На Rg таза в трех проекциях при поступлении определен двойной перелом левой лонной кости, левой седалищной кости без смещения костных фрагментов (рис. 1). На компьютерных томограммах (КТ) подтверждены повреждения лонной и седалищной костей, дополнительно визуализирован перелом боковой массы крестца с контралатеральной стороны (рис. 2).



Рис. 1. Рентгенограммы таза при поступлении: а — обзорная; б — проекция inlet; в — проекция outlet

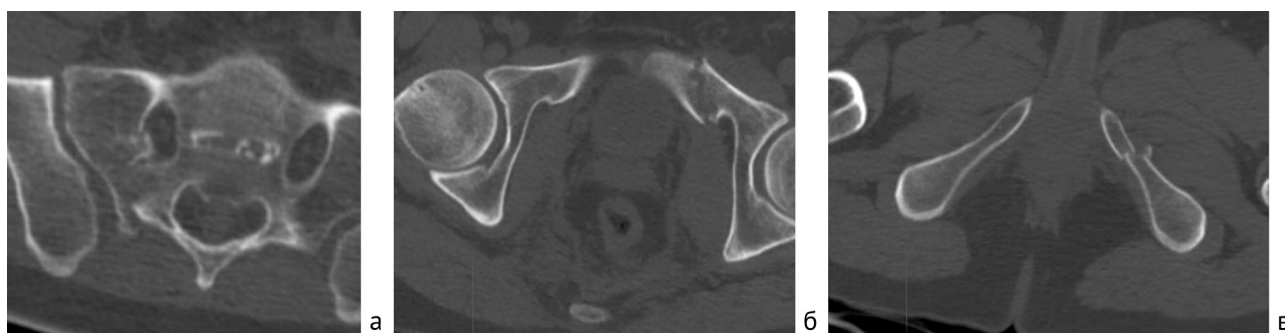


Рис. 2. КТ-срезы с визуализацией: а — перелом правой боковой массы крестца; б — перелом левой лонной кости; в — перелом левой седалищной кости

План оперативного вмешательства: учитывая наличие повреждения боковой массы крестца справа и разрыв передних отделов КПС слева, выполнить проведение двух илеосакральных винтов, фиксацию переднего полукольца таза аппаратом Илизарова. Пациенту назначены антикоагулянты в профилактической дозировке (Эноксапарин 0,4 п/к 1 р/сут.). Значимые данные лабораторного обследования на момент поступления: ПТИ — 106 %; гемоглобин — 107 г/л; эритроциты — $3,52 \times 10^{12}/л$; гематокрит — 32,7 %; тромбоциты — $181 \times 10^9/л$; лейкоциты — $6,5 \times 10^9/л$; СОЭ — 35 мм/ч.

Описание оперативного вмешательства. 10.05.23 под контролем ЭОП слева через подвздошную кость проведена спица в тело S1. По спице введен канюлированный винт 7/80 мм. Ход винта отклонялся кнутри в полость таза, изменить ход винта не удалось. Принято решение о проведении 1-го винта транссакрально справа. Под контролем ЭОП через подвздошную кость проведена спица в тело S1 транссакрально. По спице введен канюлированный винт 7,0 мм с шайбой. Рентгенконтроль: положение винта удовлетворительное во всех проекциях. В гребни подвздошных костей проведено по три стержня-шурупа. Выполнен монтаж передней рамы аппарата внешней фиксации. По причине трудностей в проведении винтов и этапности оперативного вмешательства длительность операции составила три часа. Кровопотеря — приблизительно 150 мл.

Первые сутки после оперативного вмешательства. Пациент вертикализирован, передвигается в пределах палаты самостоятельно с опорой на костыли. Жалобы — на умеренные боли в области оперативного вмешательства (ребрах подвздошных костей). На контрольных рентгенограммах показаны результаты оперативного вмешательства, позиционирование элементов аппарата наружной фиксации и илиосакрального винта в трех проекциях (рис. 3). Контрольную КТ костей таза в первые сутки после оперативного вмешательства не выполняли из-за отсутствия возможности, связанной с режимом работы учреждения. Лабораторные показатели: гемоглобин — 84 г/л; эритроциты — $2,67 \times 10^{12}/л$; гематокрит — 25,4 %; тромбоциты — $442 \times 10^9/л$; лейкоциты — $10 \times 10^9/л$. Соматически пациент стабилен, тахикардии, снижения артериального давления нет.

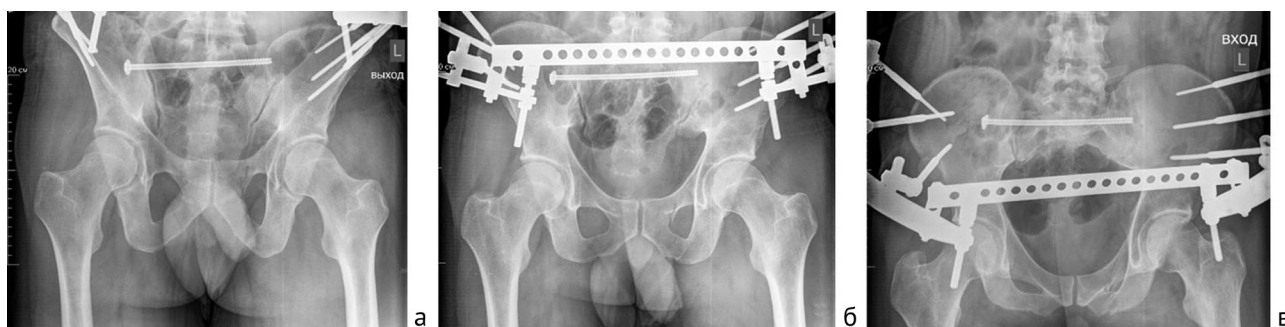


Рис. 3. Контрольные рентгенограммы после оперативного вмешательства: а — проекция outlet; б — обзорная проекция; в — проекция inlet

Вторые сутки после оперативного вмешательства. При осмотре пациента отрицательной динамики по соматическому состоянию не было, контроль анализа крови: гемоглобин — 80 г/л; эритроциты — $2,67 \times 10^{12}/л$; гематокрит — 24,8 %; тромбоциты — $412 \times 10^9/л$; лейкоциты — $7,1 \times 10^9/л$. Жалоб на момент осмотра пациент не предъявлял. Данные за продолжающееся кровотечение отсутствовали. Антикоагулянтную терапию получал в прежней дозировке (Эноксапарин 0,4 п/к 1 р/сут.).

Четвертые сутки после оперативного вмешательства. При физикальном осмотре определен выраженный отек левого бедра (+6 см). Выполнено УЗДС сосудов нижних конечностей. Заключение: эхо-признаки илеофemorального тромбоза слева, тромбофлебита левой БПВ верхней трети бедра, лимфаденопатии пахового узла слева. В просвете левой общей бедренной вены визуализированы эхогенные тромботические массы размером 25,4×9,6 мм; тромботические массы переходят в левую БПВ размером 19,4×5,1 мм с сохранением слабого пристеночного кровотока, компрессия вен неполная. Левые поверхностная, глубокие вены бедра, левая подколенная вена не визуализированы вследствие выраженного лимфостаза ПЖК. МПВ справа — 2,0 мм, ход прямолинейный, тромбов нет; слева — 2,1 мм, ход прямолинейный, тромбов нет. Выраженный лимфостаз ПЖК на всех уровнях левого бедра, левой подколенной ямки. Умеренно выраженный лимфостаз ПЖК на всех уровнях голени. Подвздошные сосуды (артерии и вены) не визуализированы из-за раздутых газом петель кишечника. Левые бедренная артерия, глубокая бедренная артерия не визуализированы из-за выраженного лимфостаза ПЖК. Стенки видимых артерий нижних конечностей ровные, КИМ не утолщен — до 0,6 мм, АСБ не визуализируется. Кровоток магистрального типа на всех уровнях нижних конечностях, скорость кровотока не снижена. Выполнена запланированная ранее КТ таза с целью оценки положения илиосакрального винта. На компьютерной томограмме (рис. 4) определено выступание конца винта на переднюю поверхность крестца слева до 1,5 см.



Рис. 4. Срез компьютерной томограммы с выступающим на переднюю поверхность крестца винтом

С целью исключения повреждения винтом подвздошных сосудов выполнена контрастная КТ-ангиография (рис. 5). Заключение: контрастирование артерий не нарушено; расширение, снижение контрастирования, нечёткость контуров левой наружной подвздошной вены (слева до 1,8 см, справа до 1,3 см), общей бедренной вены. Отёк мягких тканей левого бедра. Илеосакральный винт слева выступает в полость таза до 2 см. Явных признаков компрессии сосудистых структур не выявлено (выраженные артефакты от металлоконструкций). Несмотря на отсутствие явных признаков компрессии, на фоне артефактов от металлоконструкций, на наличие компрессии косвенно указывает расширение левой подвздошной вены дистальнее места выступания винта в полость таза. Данных за повреждение сосудов или продолжающееся кровотечение не было, кратность антикоагулянтной терапии увеличена до 2 р./сут.

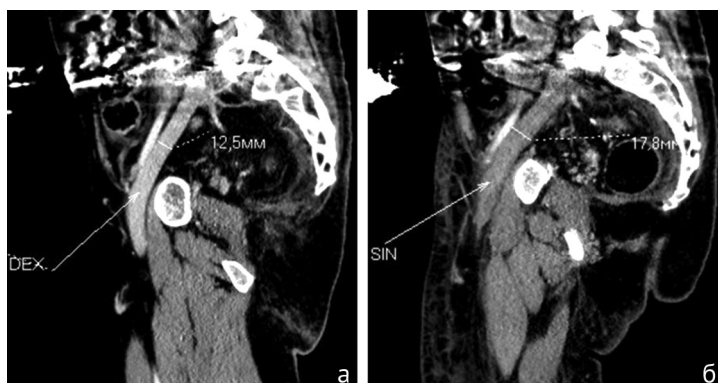


Рис. 5. Срезы компьютерных томограмм с контрастированием, отображающие: а — диаметр подвздошной вены справа; б — диаметр подвздошной вены слева

Учитывая данные инструментальных обследований, физикального осмотра, выставлены показания для проведения повторного оперативного вмешательства в объеме удаления илиосакрального винта, реостеосинтеза боковой массы крестца с проведением винта через коридор в S2. Учитывая высокие риски интраоперационного кровотечения из подвздошных сосудов и исходную анемию (гемоглобин — 80 г/л; эритроциты — $2,67 \times 10^{12}/л$; гематокрит — 24,8 %), выполнена превентивная гемотрансфузия 2 ЕД совместимой эритроцитной массы. На следующий день пациент взят в операционную. Контроль положения импланта в операционной осуществляли с помощью С-дуги. В послеоперационном периоде для оценки позиционирования винта выполнены рентгенограммы в четырех проекциях (рис. 6), компьютерная томография (рис. 7).

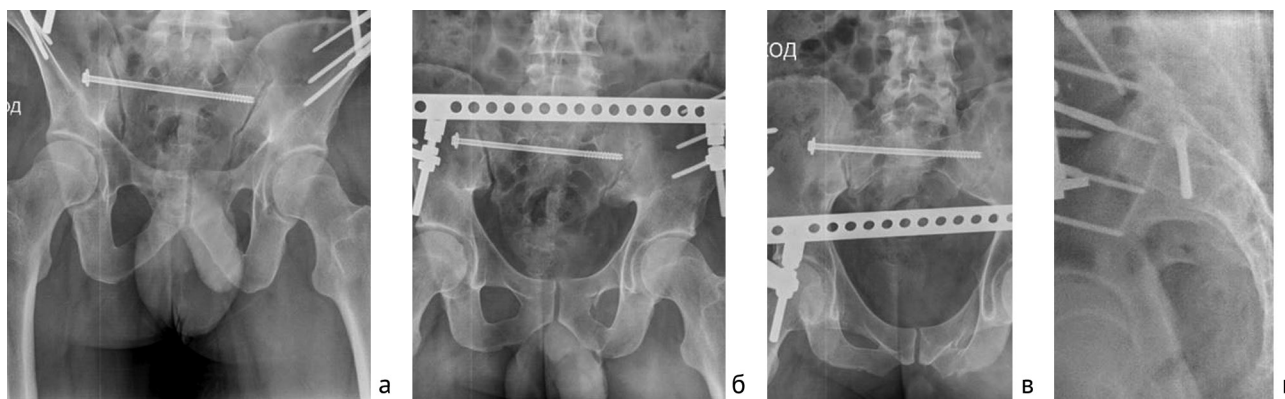


Рис. 6. Рентгенограммы таза в 4-х проекциях после повторного оперативного вмешательства: а — проекция outlet; б — обзорная проекция; в — проекция inlet; г — крестец в боковой проекции

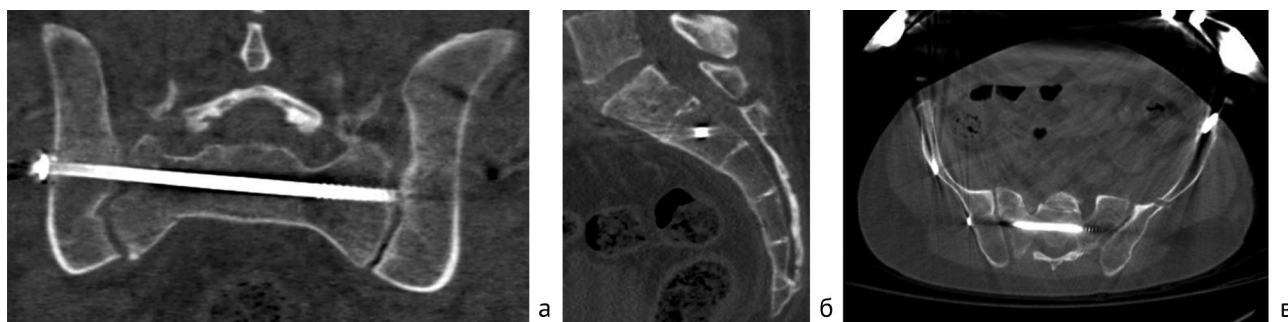


Рис. 7. Срезы мультипланарной реконструкции КТ таза, отображающие положение винта: а — фронтальная плоскость; б — сагиттальная плоскость; в — горизонтальная плоскость

Контроль анализа крови после повторного оперативного вмешательства: гемоглобин — 99 г/л; эритроциты — $3,34 \times 10^{12}/л$; гематокрит — 31 %; тромбоциты — $435 \times 10^9/л$; лейкоциты — $9 \times 10^9/л$. В послеоперационном периоде пациент вертикализирован на следующий день с исключением осевой нагрузки на левую конечность, антикоагулянты продолжал получать в прежней дозировке. Клинические проявления флеботромбоза регрессировали в течение первой недели. Контрольное УЗДС сосудов нижних конечностей проведено на седьмые сутки после повторного оперативного вмешательства. Заключение: эхо-признаки илеофemorального тромбоза слева, флеботромбоз левых поверхностной вены бедра, подколенной вены в слабой реканализации, тромбофлебита левой БПВ верхней трети бедра в стадии слабой реканализации, лимфаденопатии пахового узла слева.

Контрольный осмотр проведен амбулаторно через один месяц после оперативного вмешательства. Пациент жалоб не предъявлял, передвигался самостоятельно без дополнительных средств опоры с полной нагрузкой. Выполнено УЗДС сосудов нижних конечностей. На момент осмотра данных за острый тромбоз вен нижних конечностей не было. Выявлены эхо-признаки несостоятельности приустьевых клапанов БПВ слева. Аппарат внешней фиксации демонтирован спустя 1,5 месяца.

В процессе стационарного лечения удалось достичь регресса симптоматики осложнения, пациент полностью активизирован, выписан на амбулаторное наблюдение.

Пациент опрошен в сроки три и шесть месяцев после проведения оперативного вмешательства: вернулся к труду в полном объеме после заживления ран в местах проведения стержней-шурупов, жалоб не предъявлял.

ОБСУЖДЕНИЕ

Вариабельность анатомии крестца и особенностей переломов затрудняет навигацию при проведении илеосакральных винтов, что в ряде случаев может привести к их мальпозиции [11, 13, 14, 15]. Описаны случаи неврологических нарушений, связанных с проведением винтов в проекции крестцовых отверстий и сакрального канала [6, 15, 16], случай повреждения верхней ягодичной артерии со стороны введения винта [17], а также случаи мальпозиции, сопровождающейся выходом винта на внутреннюю поверхность крестца [17]. В доступной литературе мы не встретили описания развития клиники илеофemorального тромбоза, связанного с подобной мальпозицией илеосакрального винта. В большинстве случаев неправильного расположения винтов визуальный рентгенологический контроль с использованием стандартных проекций С-дуги удовлетворял оперирующих хирургов. Описанный клинический случай подтверждает, что рентгенологические изображения в стандартных проекциях не являются надежным методом диагностики повреждений крестца и не являются достаточными для предоперационного планирования [9, 18]. То же относится и к стандартным проекциям мультиспиральной компьютерной томографии (аксиальной, коронарной, сагиттальной). Совокупность данных исследований при травме таза является необходимой для оценки характера имеющихся повреждений костей таза и планирования реконструктивных операций, направленных на восстановление нормальной анатомии и надежной фиксации повреждений [7, 11, 19]. Функция 3D-реконструкции объемного изображения значительно помогает в правильном восприятии анатомического строения костных структур таза. При этом необходимость стандартизирования рентгенологического протокола исследования таза остается актуальной [8]. Наличие же возможности детального изучения хирургом объемного 3D-изображения путем изменения его положения в пространстве может значительно повысить эффективность его восприятия. Тем самым, тщательное предоперационное планирование, учитывающее анатомию конкретного пациента с целью определения допустимых коридоров для проведения илеосакральных винтов, поможет избежать неправильного их проведения. С целью предотвращения подобных осложнений предложено применение нестандартных рентгенологических проекций во время выполнения операции [17]. Альтернативным способом профилактики подобных осложнений является

использование навигационных систем [16, 20, 21, 22]. Целесообразно после подобных операций провести контрольное МСКТ-исследование. Сдавление общей подвздошной вены без ее повреждения вызывает затруднение оттока крови и развитие клинической картины илеофemorального тромбоза в раннем послеоперационном периоде. Своевременное подозрение на основании данных физикального осмотра с проведением КТ-ангиографии позволило исключить внутреннее кровотечение и в срочном порядке провести повторное оперативное вмешательство с устранением мальпозиции имплантата, реостеосинтезом тела S1 без потери репозиции, добиться регресса клинической картины илеофemorального тромбоза, а также в кратчайшие сроки активизировать пациента.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Использование стандартных проекций С-дуги не обеспечило достаточную интраоперационную визуализацию для корректной оценки положения илеосакрального винта в случае с дисморфией крестца. Не выявленная интраоперационно мальпозиция винта с выходом на переднюю поверхность крестца вызвала нарушение оттока по подвздошной вене с развитием тромбоза в раннем послеоперационном периоде. Пациенты после проведения малоинвазивных оперативных вмешательств по поводу переломов крестца требуют внимательного наблюдения врача. Целесообразно после подобных операций проводить контрольное МСКТ-исследование в наиболее ранние сроки.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Santolini E, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Sacral fractures: issues, challenges, solutions. *EFORT Open Rev.* 2020;5(5):299-311. doi: 10.1302/2058-5241.5.190064
2. Beckmann NM, Chinapuvvula NR. Sacral fractures: classification and management. *Emerg Radiol.* 2017;24(6):605-617. doi: 10.1007/s10140-017-1533-3
3. Zheng J, Feng X, Xiang J, et al. S2-alar-iliac screw and S1 pedicle screw fixation for the treatment of non-osteoporotic sacral fractures: a finite element study. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):651. doi: 10.1186/s13018-021-02805-8
4. Salari P, Moed BR, Bledsoe JG. Supplemental S1 fixation for type C pelvic ring injuries: biomechanical study of a long iliosacral versus a transsacral screw. *J Orthop Traumatol.* 2015;16(4):293-300. doi: 10.1007/s10195-015-0357-8
5. Halawi MJ. Pelvic ring injuries: Surgical management and long-term outcomes. *J Clin Orthop Trauma.* 2016;7(1):1-6. doi: 10.1016/j.jcot.2015.08.001
6. Perry K, Mabrouk A, Chauvin BJ. Pelvic Ring Injuries. 2022 Sep 25. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publ.; 2024.
7. Alvis-Miranda HR, Farid-Escorcia H, Alcalá-Cerra G, et al. Sacroiliac screw fixation: A mini review of surgical technique. *J Craniovertebr Junction Spine.* 2014;5(3):110-113. doi: 10.4103/0974-8237.142303
8. Кажанов И.В., Мануковский В.А., Самохвалов И.М. и др. Илеосакральная фиксация винтами у пострадавших с политравмой. *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(1):80-91. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-80-91
9. König MA, Jehan S, Boszczyk AA, Boszczyk BM. Surgical management of U-shaped sacral fractures: a systematic review of current treatment strategies. *Eur Spine J.* 2012;21(5):829-836. doi: 10.1007/s00586-011-2125-7
10. Yu T, Cheng XL, Qu Y, et al. Computer navigation-assisted minimally invasive percutaneous screw placement for pelvic fractures. *World J Clin Cases.* 2020;8(12):2464-2472. doi: 10.12998/wjcc.v8.i12.2464
11. Katsuura Y, Chang E, Sabri SA, et al. Anatomic Parameters for Instrumentation of the Sacrum and Pelvis: A Systematic Review of the Literature. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2018;2(8):e034. doi: 10.5435/JAOSGlobal-D-18-00034
12. Rommens PM, Ossendorf C, Pairen P, et al. Clinical pathways for fragility fractures of the pelvic ring: personal experience and review of the literature. *J Orthop Sci.* 2015;20(1):1-11. doi: 10.1007/s00776-014-0653-9
13. Chon CS, Jeong JH, Kang B, et al. Computational simulation study on ilio-sacral screw fixations for pelvic ring injuries and implications in Asian sacrum. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(3):439-444. doi: 10.1007/s00590-017-2061-2
14. Gras F, Gottschling H, Schröder M, et al. Transsacral Osseous Corridor Anatomy Is More Amenable To Screw Insertion In Males: A Biomorphometric Analysis of 280 Pelves. *Clin Orthop Relat Res.* 2016;474(10):2304-2311. doi: 10.1007/s11999-016-4954-5
15. Alzobi OZ, Alborno Y, Toubasi A, et al. Complications of conventional percutaneous sacroiliac screw fixation of traumatic pelvic ring injuries: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(7):3107-3117. doi: 10.1007/s00590-023-03543-9
16. van Zwienen CM, van den Bosch EW, Snijders CJ, van Vugt AB. Triple pelvic ring fixation in patients with severe pregnancy-related low back and pelvic pain. *Spine (Phila Pa 1976).* 2004;29(4):478-84. doi: 10.1097/01.brs.0000092367.25951.4a
17. Близнec Д.Г., Рунков А.В., Кочетков В.В. Использование индивидуальных проекций для интраоперационного контроля положения илиосакральных винтов и концепция коридоров безопасности. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(2). doi: 10.17513/spno.26294
18. Gänsslen A, Hüfner T, Krettek C. Percutaneous iliosacral screw fixation of unstable pelvic injuries by conventional fluoroscopy. *Oper Orthop Traumatol.* 2006;18(3):225-244. doi: 10.1007/s00064-006-1173-3
19. Эйдлиа Е.М., Рунков А.В., Шлыков И.Л. Мультиспиральная компьютерная томография при травмах таза: анализ изображений и формирование отчета. *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2013;(3):40-43.
20. Banierink H, Meesters AML, Ten Duis K, et al. Does 3D-Assisted Operative Treatment of Pelvic Ring Injuries Improve Patient Outcome?—A Systematic Review of the Literature. *J Pers Med.* 2021;11(9):930. doi: 10.3390/jpm11090930

21. Zwingmann J, Konrad G, Kotter E, et al. Computer-navigated iliosacral screw insertion reduces malposition rate and radiation exposure. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(7):1833-1838. doi: 10.1007/s11999-008-0632-6
22. Al-Naseem A, Sallam A, Gonnah A, et al. Robot-assisted versus conventional percutaneous sacroiliac screw fixation for posterior pelvic ring injuries: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(1):9-20. doi: 10.1007/s00590-021-03167-x

Статья поступила 26.01.2024; одобрена после рецензирования 14.03.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 26.01.2024; approved after reviewing 14.03.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Алексей Алексеевич Гринь — доктор медицинских наук, руководитель клиники, врач травматолог-ортопед, aalex.grin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5139-4715>;

Евгений Олегович Дарвин — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, врач травматолог-ортопед, eodarwin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0512-4595>;

Виктор Ильич Комаров — врач травматолог-ортопед, vikkom94@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5716-6188>.

Information about the authors:

Alexey A. Grin — Doctor of Medical Sciences, Head of the Clinic, orthopedic traumatologist, aalex.grin@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-5139-4715>;

Evgene O. Darwin — Candidate of Medical Sciences, Head of Department, orthopedic traumatologist, eodarwin@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-0512-4595>;

Viktor I. Komarov — orthopedic traumatologist, vikkom94@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-5716-6188>.

Вклад авторов:

Гринь А.А. — проведение исследования, редактирование текста статьи.

Дарвин Е.О. — проведение исследования.

Комаров В.И. — проведение исследования, написание текста статьи.

Клиническое наблюдение

УДК 616.711-007.55-089.22-035-053.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-464-471>



Результат использования корсета 3D немецкой школы в лечении пациентки с ювенильным идиопатическим сколиозом

В.Ф. Бландинский¹, Т.О. Могилянцева², Я.И. Павлова^{1✉}

¹ Ярославский государственный медицинский университет, Ярославль, Россия

² Городская больница № 40 Курортного района (Сестрорецк), Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Яна Игоревна Павлова, virine1@yandex.ru

Аннотация

Введение. Ювенильный идиопатический сколиоз (ЮИС) возникает у здоровых детей младше 10 лет и при естественном течении может привести к деформации позвоночника, требующей хирургической коррекции. В неоперативном лечении этих пациентов используют корсеты Milwaukee, Boston Scoliosis Brace, TLSO и другие с различной частотой успеха. Однако в настоящее время накоплен малый опыт в использовании корсета типа Chêneau, показавшего высокую эффективность у пациентов с adolescent idiopathic scoliosis (АИС).

Цель работы — продемонстрировать результат использования функционально-корректирующего корсета 3D немецкой школы в лечении пациентки с ЮИС в период от момента атаки деформации до наступления зрелости скелета.

Материалы и методы. Использована медицинская документация пациентки С., включавшая анамнестические, клинические и рентгенологические данные за период с 2018 по 2023 г., в течение которого она использовала корсет 3D немецкой школы (3D НШ). Дизайн корсета определён как 3CL/B2 согласно классификации сколиотических дуг Lehnert – Schroth в модификации Rigo.

Результаты. В результате лечения у пациентки 9 лет (Risser знак — 0) изначальная грудопоясничная левосторонняя сколиотическая дуга с углом 25° по Cobb уменьшилась к возрасту 16 лет (Risser знак — 5) до 12°.

Обсуждение. Диагноз ЮИС установлен у пациентки в возрасте 5 лет, корсетное лечение начато в возрасте 9 лет. Принцип корсета 3D НШ основан на идее коррекции сколиотической деформации по J. Chêneau. Режим ношения корсета — 20 час. в сут. Степень изначальной коррекции сколиотической дуги в корсете (in brace correction) составила 90 %. За шестилетний период корсетного лечения сколиотическая дуга у пациентки уменьшилась с 25° до 12° по Cobb. Необходимость хирургического лечения была предупреждена. В литературе мы встретили описания трёх клинических случаев с аналогичным результатом лечения детей с ЮИС корсетами Boston и типа Chêneau.

Заключение. Клинический случай демонстрирует высокую эффективность корсета 3D НШ как представителя нового поколения корсетов, разработанных на основе идеи J. Chêneau, позволяющих избежать хирургического лечения к моменту наступления зрелости скелета.

Ключевые слова: корсетирование, ювенильный идиопатический сколиоз, неоперативное лечение

Для цитирования: Бландинский В.Ф., Могилянцева Т.О., Павлова Я.И. Результат использования корсета 3D немецкой школы в лечении пациентки с ювенильным идиопатическим сколиозом. *Гений ортопедии*. 2024;30(3):464-471. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-464-471. EDN: YWKQKS.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-3-464-471>



A 3D German-designed brace used to treat adolescent idiopathic scoliosis

V.F. Blandinskij¹, T.O. Mogilyantseva², Ya.I. Pavlova^{1✉}

¹ Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russian Federation

² City Hospital No. 40 of Kurortny District (Sestroretsk), Saint Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Yana I. Pavlova, virgine1@yandex.ru

Abstract

Introduction Adolescent Idiopathic Scoliosis (AIS) is a condition that affects an otherwise healthy child 10 years of age or older and is the high risk of severe deformity and surgery. Different brace applications include the Milwaukee Brace, Boston Scoliosis Brace, TLSO and others, and the success rates of orthoses vary. With little experience in the use of the Chêneau-type corset, the brace provides an effective means for the active correction of scoliotic spinal deformity.

The objective was to demonstrate an outcome with a 3D functional corrective German-designed corset used to treat a patient with AIS in the period from the onset of the curve to the onset of skeletal maturity.

Material and methods The medical history of patient S. including anamnestic, clinical and radiological findings recorded 2018 and 2023 when she used a 3D German-designed (3D GD) corset. The corset design was defined as 3CL/B2 according to the Lehnert – Schroth scoliotic classification as modified by Rigo.

Results The left-sided thoracolumbar curve of a 9-year-old patient with a Risser sign of 0 and a Cobb angle of 25° at baseline decreased to 12° at the age of 16 years (Risser sign — 5) due to bracing.

Discussion The AIS was diagnosed in the patient at the age of 5 years and bracing was initiated at the age of 9. The curve correction using 3D GD brace was based on the principles offered by Chêneau. The patient used the corset for 20 hours per day. The initial brace correction was 90 %. The curve decreased from Cobb angle 25° to 12° over a six-year period of brace treatment with no need for surgery. Three cases with identical outcomes were reported with the use of the Boston and Chêneau braces in AIS.

Conclusion The clinical case showed effective use of the 3D GD corset as a new exponent of corsets developed on the principles offered by Chêneau to prevent surgical treatment by the time of skeletal maturity.

Keywords: corset, adolescent idiopathic scoliosis, nonsurgical treatment

For citation: Blandinskij VF, Mogilyantseva TO, Pavlova YaI. A 3D German-designed brace used to treat adolescent idiopathic scoliosis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(3):464-471. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-3-464-471

ВВЕДЕНИЕ

Идиопатический сколиоз — наиболее частая форма морфологического сколиоза, который развивается у практически здоровых детей в течение любого периода роста [1]. Сколиотическая дуга величиной более 10° , измеренная по Cobb, у пациента в возрасте младше 10 лет обозначена термином «ранняя атака сколиоза» вследствие плохого прогноза в сравнении со сколиозами у подростков [2].

Наиболее частыми видами нехирургического лечения пациентов с ювенильным идиопатическим сколиозом (ЮИС) являются наблюдение и корсетное лечение. Корсетное лечение применяют у детей с дугами величиной от 25° до 60° по Cobb с целью остановки прогрессирования деформации и предупреждения необходимости в хирургической коррекции [3–7]. Успешность корсетного лечения при ЮИС варьирует от 12,5 до 95 % из-за различий в методах исследования, дизайнах корсетов и продолжительности контроля [7–11], что свидетельствует об отсутствии консенсуса и единых рекомендаций в назначении этого лечения. Детям с ЮИС наиболее часто назначают корсеты Мильвоки (англ.: MB — Milwaukee Brace), Бостон (англ.: BSB — Boston Scoliosis Brace), грудно-пояснично-крестцовый ортез (англ.: TLSO — Thoraco-Lumbo-Sacral Orthosis) [5].

В последние десятилетия в Центральной Европе широкое распространение приобретает использование корсетов, разработанных на основе идеи J. Chêneau (Chêneau brace), в лечении пациентов с adolescentным идиопатическим сколиозом (АИС), изготовленных вручную или с применением системы компьютерного моделирования и производства (CAD/CAM) [12, 13]. Базовая идея такого типа корсетов — дизайн высоко специфичного контакта и зон экспансии на позитивной матрице тела пациента, обеспечивающих региональную деротацию позвонков в сколиотической дуге с краниальными и каудальными противоротационными силами. В определении индивидуального дизайна корсета для пациентов используют расширенную классификацию моделей сколиотических дуг по Lehnert – Schroth [14] и ее модификацию по Rigo [15]. Установлено, что применение корсета типа Chêneau в лечении пациентов с АИС предупреждает прогрессирование сколиотических дуг до величин, требующих хирургического лечения [16, 17]. Данный тип корсета используют при лечении пациентов с АИС в России [18] и в Республике Беларусь [19].

Цель работы — продемонстрировать результат использования функционально-корректирующего корсета 3D немецкой школы в лечении пациентки с ЮИС в период от момента атаки деформации до наступления зрелости скелета.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом данной работы явился клинический случай корсетного лечения пациентки С., 9 лет, с верифицированным диагнозом ЮИС. Анализ истории болезни, клинических и рентгенологических данных и инструментальные методы обследования пациентки выполнены в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации 1975 г., пересмотренными в 2013 г., и одобрены этическим комитетом учреждения. Законные представители пациентки дали добровольное информированное согласие на публикацию результатов исследования без раскрытия личности.

Использованная доступная медицинская документация отражала анамнез, динамику клинических и рентгенологических показателей тела и позвоночника пациентки под влиянием лечения с использованием корсета 3D немецкой школы (3D НШ) в период с 2018 по 2023 г. Корсет 3D НШ, который мы использовали в данном клиническом наблюдении, является функционально-корректирующим корсетом, отечественным дериватом так называемого корсета Chêneau. Дизайн корсета 3D НШ определен как 3CL/B2 по классификации моделей сколиотических дуг Lehnert – Schroth / Rigo. Назначен режим ношения корсета в течение 20 час. в сут.

Рентгенографию позвоночника проводили на аппарате для телерентгенографии фирмы Millenium до назначения корсета, в корсете и в дальнейшем в процессе лечения (1 раз в год) в положении стоя в задне-передней проекции. Угол сколиотической дуги определяли в градусах, измеренных по методике Cobb. Учитывая величину и направленность сколиотической дуги, пациентке выполнена магнитно-резонансная томография (МРТ) позвоночника.

Эффективность использования корсета оценивали по критериям SRS [20]. Улучшением считается уменьшение угла Cobb более чем на 5° ; стабилизацией — вариация угла Cobb от $+5^\circ$ до -5° , неблагоприятным результатом — увеличение угла Cobb более чем на 5° или значения угла по Cobb более 45° на момент наступления зрелости скелета, что является показанием к хирургическому лечению.

Зрелость скелета пациентки оценивали по знаку Risser (степень окостенения апофизов крыльев таза от 0 до 5) [21]. Пациентке начато лечение при знаке Risser = 0, что указывало на незрелость костной системы, а завершено — при знаке Risser = 5, что указывало на законченный рост костной системы. В процессе лечения в связи с ростом позвоночника и тела пациентке пришлось заменять корсет с сохранением его дизайна.

У пациентки С., 2006 г. рождения, со слов матери и по данным доступной медицинской документации, сколиоз выявлен в возрасте 5 лет. На рентгенограмме её позвоночника, со слов матери, определялась сколиотическая дуга величиной около 30° , но эта рентгенограмма была утеряна.

Пациентка с ноября 2016 г. (в возрасте 9 лет) находится на лечении под нашим контролем в клинике детской хирургии Ярославского государственного медицинского университета на базе медицинского центра «Родник здоровья» (Ярославль). При клиническом обследовании у неё выявлены асимметрия треугольников талии и выступание левой лопатки, а на рентгенограмме позвоночника определялась небольшая грудная правосторонняя (Th3–Th10) 6° и левосторонняя грудопоясничная сколиотическая дуга (Th10–L4) 25° по Cobb (рис. 1). Знак Risser = 0. По данным МРТ позвоночника патология спинного мозга исключена.

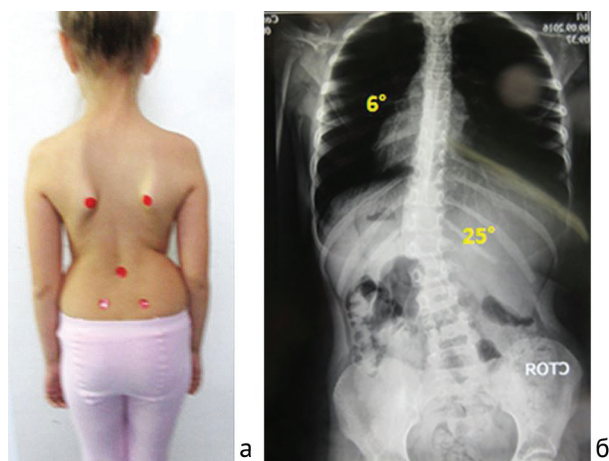


Рис. 1. Внешний вид (а) и рентгенограмма в прямой проекции позвоночника (б) пациентки С. в возрасте 9 лет (декабрь 2016 г.). Risser-знак = 0. Правосторонняя грудная Th3–Th10 (6°) и левосторонняя грудопоясничная Th10–L4 (25°) сколиотические дуги

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первоначально пациентке начато лечение корсетом модели Gensingen (корсет № 1) под контролем доктора H.R. Weiss. Но с 2018 г. оно продолжено нашим отечественным аналогом (корсет № 2 и № 3) — функционально-корректирующим корсетом 3D немецкой школы (корсет 3D НШ). Методика изготовления позитива корсета 3D НШ разработана Т.О. Могилянцевой (рис. 2). Через 1 мес. после начала ношения корсета пациентке произведена рентгенография позвоночника в корсете. Коррекция сколиотической дуги, достигнутая в корсете (in brace correction), представлена на рисунке 3. Пациентке предписан режим ношения корсета — 20 час. в сут.

В процессе лечения пациентку осматривали каждые 3–4 месяца. Клинически контролировали «работу» корсета и его состояние, при необходимости производили замену ремней и установку корректирующих пелотов. Степень коррекции сколиотической дуги оценивали рентгенологически (рис. 4).

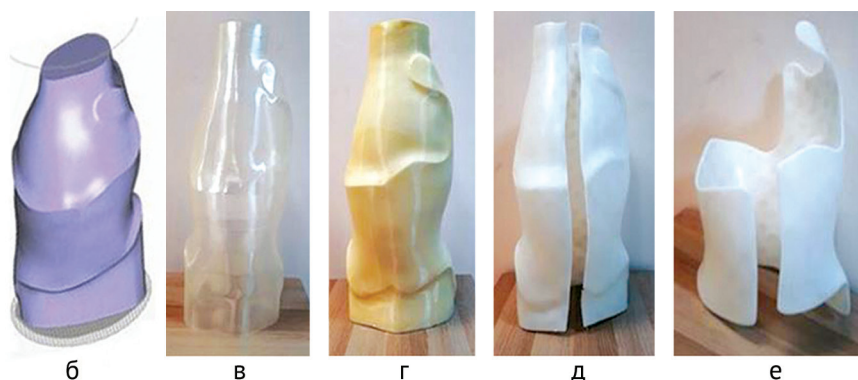


Рис. 2. Стадии изготовления корсета 3D НШ: лист замера (а); компьютерная модель (б); позитив модели, напечатанный на принтере (в); позитив модели, заполненный полиуретаном (г); модель после блокировки (д); корсет вырезанный (е)

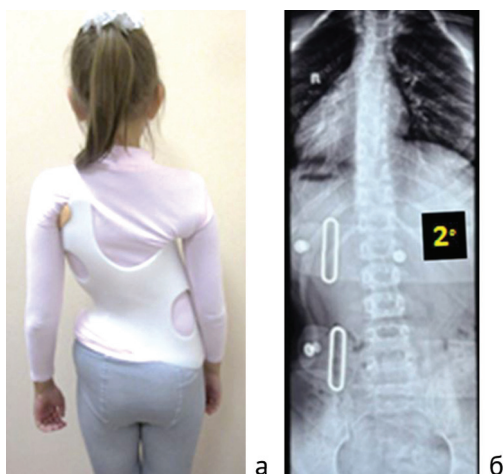


Рис. 3. Внешний вид (а) и рентгенограмма позвоночника (б) пациентки С. в корсете № 2 (дизайн 3CL/B2). Достигнута коррекция груднопоясничной дуги в корсете (in brace correction) на 90 %

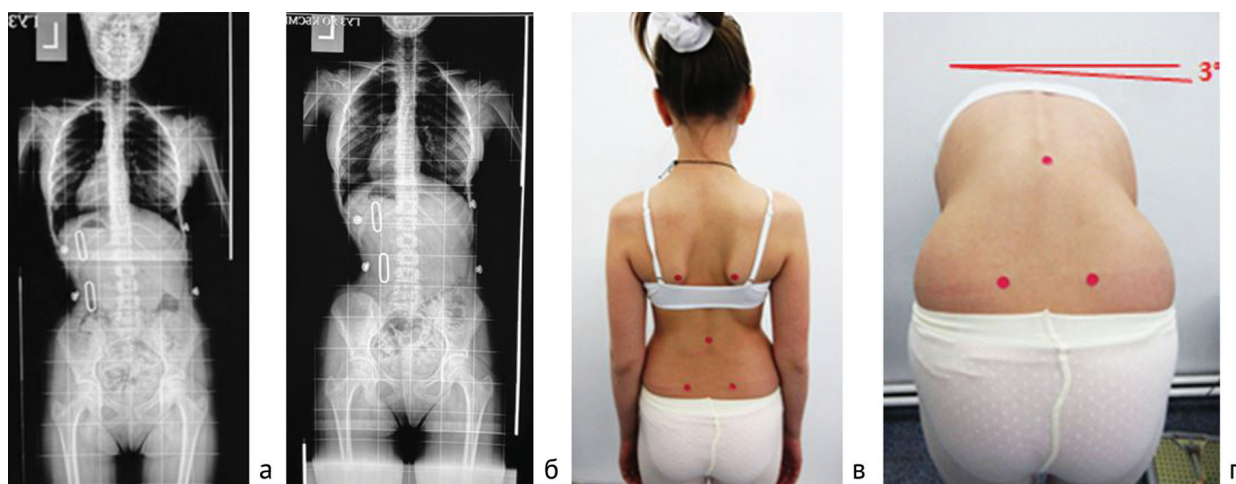


Рис. 4. Рентгенограммы позвоночника пациентки С. в корсете № 2 в сентябре 2018 г. (а) и в марте 2019 г. (б). Коррекция обеих дуг сохраняется. Внешний вид пациентки С. сзади в положении стоя (в) и анатомические ориентиры, используемые для измерения параметров поверхности спины при тестировании по Adam's (г), в марте 2019 г. (2,5 года от начала лечения)

К августу 2019 г. (возраст 13 лет, Risser-знак = 2) у пациентки произошёл резкий «ростовой скачок», потребовавший плановой замены корсета (корсет № 3). К этому времени у пациентки сколиотическая дуга вне корсета уменьшилась до 3° (рис. 5). В январе 2023 г., в возрасте 16 лет, она закончила лечение с остаточной сколиотической дугой 12° по Cobb (рис. 6).

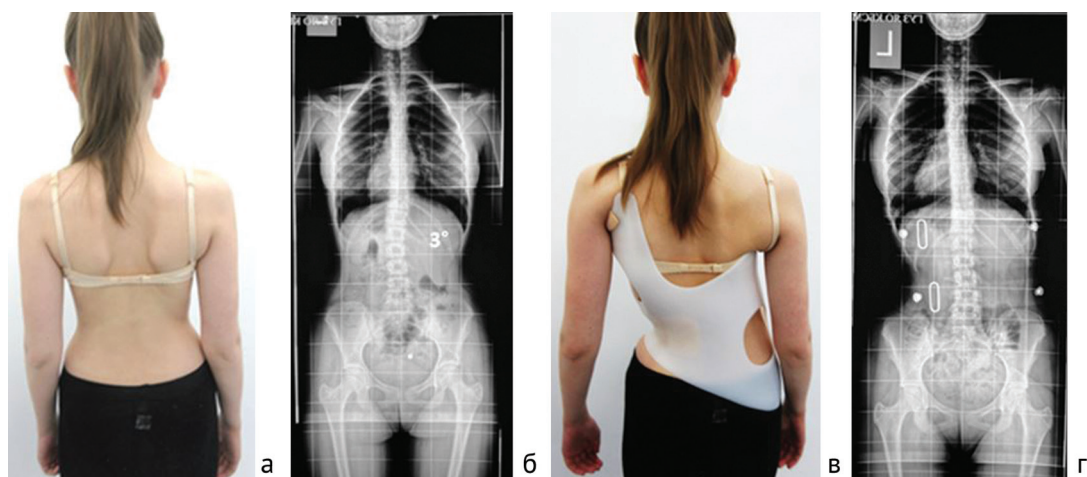


Рис. 5. Внешний вид (а) и рентгенограммы позвоночника пациентки С. (б) без корсета (август 2019 года, Risser-знак = 2). Коррекция груднопоясничной дуги удерживается (Th10–L4) на величине 3°. Внешний вид (в) и рентгенограмма в прямой проекции (г) позвоночника пациентки С. в корсете № 3 (декабрь 2020 г.). Коррекция обеих дуг сохраняется

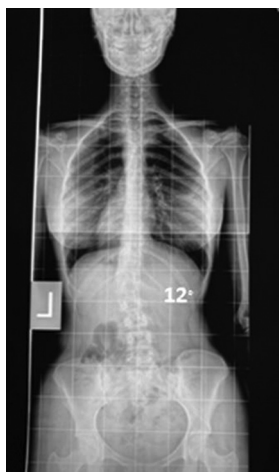


Рис. 6. Рентгенограмма в прямой проекции позвоночника пациентки С. в возрасте 16 лет (Risser-знак = 5) без корсета. Правосторонняя грудная сколиотическая дуга Th3–Th10 исчезла, левосторонняя грудопоясничная дуга Th10–L4 не превышает 12°

ОБСУЖДЕНИЕ

Пациентка С. начала получать корсетное лечение в возрасте 9 лет с величиной сколиотической дуги 25° по Cobb. Эти параметры дают основание считать такой сколиоз ювенильным. Так как прогрессирование ЮИС происходит со скоростью 4–7° в год [6], то сведения из анамнеза о том, что его атака случилась в возрасте 5 лет, являются достоверными. Мы не можем утверждать, что изначальная сколиотическая дуга у пациентки составляла 30°, в связи с потерей рентгенограммы.

Согласно критериям SRS, наличие сколиотической дуги 25° по Cobb у детей и подростков является показанием к корсетному лечению [5]. В связи с этим начало лечения у нашей пациентки можно признать своевременным.

Верификация ЮИС у пациентки, имеющей левостороннюю направленность сколиотической дуги величиной более 20°, потребовала проведения МРТ позвоночника для исключения интраспинальной патологии [22]. В результате этого исследования гидромиелия у нашей пациентки не обнаружена.

В выборе дизайна корсета мы руководствовались отсутствием консенсуса по корсетному лечению пациентов с ЮИС, а также возможностью выбора наиболее эффективных вариантов корсета. Согласно данным авторов из Центральной Европы, наибольшую эффективность в коррекции сколиотической деформации у пациентов с АИС проявил корсет типа Chêneau, в частности корсет модели Gensingen [17].

Второй автор данной статьи прошла обучение у доктора H.R. Weiss, который является учеником J. Chêneau и продолжателем развития этого направления. С 2018 г. лечение пациентки продолжено корсетом 3D НШ — полным отечественным аналогом корсета Gensingen. В знак признательности разработчику классификации моделей сколиотических дуг и соответствующих дизайнов корсетов мы назвали наш корсет — «корсет 3D немецкой школы». По конструкции и воздействию на тело и позвоночник пациента он полностью соответствует базовым принципам, разработанным J. Chêneau и его учеником H.R. Weiss [23]. В изготовлении использована технология CAD/CAM, позволяющая в отличие от гипсовых слепков тела максимально точно учесть контуры тела пациентки для индивидуализации корсета и точного воздействия сил давления на соответствующие области тела в корсете. Производство корсета 3D НШ организовано вторым автором данной статьи в «Центре немецких технологий лечения сколиоза» (Санкт-Петербурге, Россия).

Корсет 3D НШ предусматривает разные дизайны и конструкции для лечения пациентов согласно моделям сколиотических дуг по результатам рентгенографии. У пациентки С., согласно расширенной классификации сколиоза по моделям дуг Lehnert – Schroth [12] в модификации Rigo [13], утверждён дизайн корсета 3CL/B2, который не менялся в процессе лечения.

По данным литературы, наилучший эффект получен при полно-временном ношении корсета (23 часа в сутки) [13]. Практически, этот режим ношения корсета соблюдался у пациентки С.

Рентгенограмма в корсете показывала степень коррекции (in brace correction) и потенциал ожидаемого лечебного эффекта [24]. У нашей пациентки этот показатель составил 90 % и явился хорошим прогностическим знаком для успешности лечения.

В литературе мы встретили три клинических случая с описанием пациентов с ЮИС, лечившихся с использованием корсетов Boston [6] и типа Chêneau [18, 25]. Авторы этих публикаций сообщили об успешной коррекции сколиотической деформации у пациентов к моменту наступления зрелости скелета, исключаящей необходимость хирургической коррекции. Наш клинический случай демонстрирует успешный результат лечения пациентки с ЮИС с помощью функционально-корректирующего корсета 3D НШ.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный клинический случай демонстрирует высокую эффективность корсета 3D НШ как представителя нового поколения корсетов, разработанных на основе идеи J. Chêneau, при коррекции деформации у пациентки с ЮИС, позволяющего при своевременном начале и полноценной продолжительности лечения избежать необходимости хирургического вмешательства к моменту наступления зрелости скелета.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Работа поддержана программой МЗ РФ в рамках государственного задания ФГБОУ ВО «Ярославский государственный медицинский институт» Минздрава России для выполнения НИР на 2023–2024 гг.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Negrini S, Donzelli S, Aulisa AG, et al. 2016 SOSORT guidelines: orthopaedic and rehabilitation treatment of idiopathic scoliosis during growth. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:3. doi: 10.1186/s13013-017-0145-8
2. Skaggs D, Guillaume T, El-Hawary R, et al. Early onset scoliosis consensus statement, SRS Growing Spine Committee 2015. *Spine Deform.* 2015;3(2):107. doi: 10.1016/j.jspd.2015.01.002
3. Masso PD, Meeropol E, Lennan E. Juvenile-onset scoliosis followed up to adulthood: orthopaedic and functional outcomes. *J Pediatr Orthop.* 2002;22(3):279-284.
4. Dobbs MB, Weinstein SL. Infantile and juvenile scoliosis. *Orthop Clin North Am.* 1999;30(3):331-341. doi: 10.1016/s0030-5898(05)70090-0
5. Lenke LG, Dobbs MB. Management of juvenile idiopathic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(Suppl_1):55-63. doi: 10.2106/JBJS.F.00644
6. Aulisa AG, Guzzanti V, Marzetti E, et al. Brace treatment in juvenile idiopathic scoliosis: a prospective study in accordance with the SRS criteria for bracing studies - SOSORT award 2013 winner. *Scoliosis.* 2014;9:3. doi: 10.1186/1748-7161-9-3
7. Khoshbin A, Caspi L, Law PW, et al. Outcomes of bracing in juvenile idiopathic scoliosis until skeletal maturity or surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(1):50-55. doi: 10.1097/BRS.0000000000000669
8. Babaee T, Kamyab M, Ganjavian MS, et al. Success Rate of Brace Treatment for Juvenile-Onset Idiopathic Scoliosis up to Skeletal Maturity. *Int J Spine Surg.* 2020;14(5):824-831. doi: 10.14444/7117
9. Robinson CM, McMaster MJ. Juvenile idiopathic scoliosis. Curve patterns and prognosis in one hundred and nine patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1996;78(8):1140-1148. doi: 10.2106/00004623-199608000-00003
10. Tolo VT, Gillespie R. The characteristics of juvenile idiopathic scoliosis and results of its treatment. *J Bone Joint Surg Br.* 1978;60-B(2):181-188. doi: 10.1302/0301-620X.60B2.659460
11. Kahanovitz N, Levine DB, Lardone J. The part-time Milwaukee brace treatment of juvenile idiopathic scoliosis. Long-term follow-up. *Clin Orthop Relat Res.* 1982;(167):145-151.
12. Weiss H.R. "Brace technology" thematic series - the Gensingen brace™ in the treatment of scoliosis. *Scoliosis* 2010 5:22. doi: 10.1186/1748-7161-5-22.
13. Rigo M, Jelačić M. Brace technology thematic series: the 3D Rigo Chêneau-type brace. *Scoliosis Spinal Disord.* 2017;12:10. doi: 10.1186/s13013-017-0114-2
14. Weiss HR, Turnbull D, Seibel S, Kleban A. First end-result of a prospective cohort with AIS treated with a CAD Chêneau style brace. *J Phys Ther Sci.* 2019;31(12):983-991. doi: 10.1589/jpts.31.983
15. Rigo MD, Villagrana M, Gallo D. A specific scoliosis classification correlating with brace treatment: description and reliability. *Scoliosis.* 2010;5(1):1. doi: 10.1186/1748-7161-5-1
16. Weinstein SL, Dolan LA, Wright JG, Dobbs MB. Effects of bracing in adolescents with idiopathic scoliosis. *N Engl J Med.* 2013;369(16):1512-1521. doi: 10.1056/NEJMoa1307337
17. Taghi Karimi M, Rabczuk T, Kavyani M. Evaluation of the efficiency of the Chêneau brace on scoliosis deformity : A systematic review of the literature. *Orthopade.* 2018;47(3):198-204. doi: 10.1007/s00132-018-3529-4
18. Николаев В.Ф., Барановская И.А., Андриевская А.О. Результаты применения функционально-корректирующего корсета типа Шено в комплексной реабилитации детей и подростков с идиопатическим сколиозом. *Гений ортопедии.* 2019;25(3):368-377. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-368-377
19. Тесаков Д.К. Корсетное лечение детей и подростков с деформациями позвоночника IV степени. *Хирургия позвоночника.* 2010;(2):25-34. doi: 10.14531/ss2010.2.25-34
20. Richards BS, Bernstein RM, D'Amato CR, Thompson GH. Standardization of criteria for adolescent idiopathic scoliosis brace studies: SRS Committee on Bracing and Nonoperative Management. *Spine (Phila Pa 1976).* 2005;30(18):2068-2075; discussion 2076-2077. doi: 10.1097/01.brs.0000178819.90239.d0
21. Wang SF, Qiu Y, Zhu ZZ, et al. Assessment of the residual spine growth potential in idiopathic scoliosis by risser sign and histological grading. *Zhonghua Yi Xue Za Zhi.* 2008;88(7):461-464. (In Chin.)
22. Gupta P, Lenke LG, Bridwell KH. Incidence of neural axis abnormalities in infantile and juvenile patients with spinal deformity. Is a magnetic resonance image screening necessary? *Spine (Phila Pa 1976).* 1998;23(2):206-210. doi: 10.1097/00007632-199801150-00011
23. Weiss HR. Spinal deformities rehabilitation - state of the art review. *Scoliosis.* 2010;5:28. doi: 10.1186/1748-7161-5-28
24. Weiss HR, Rigo M. Expert-driven Chêneau applications: Description and in-brace corrections. *Physiother Theory Pract.* 2011;27(1):61-67. doi: 10.3109/09593985.2010.503991
25. Sauvagnac R, Rigo M. Evolution of Early Onset Scoliosis under Treatment with a 3D-Brace Concept. *J Clin Med.* 2022;11(5):1186. doi: 10.3390/jcm11051186

Статья поступила 13.12.2023; одобрена после рецензирования 31.01.2024; принята к публикации 08.04.2024.

The article was submitted 13.12.2023; approved after reviewing 31.01.2024; accepted for publication 08.04.2024.

Информация об авторах:

Валерий Фёдорович Бландинский — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, oblandinskaya@yandex.ru, SPIN-код: 1297-5052, Author ID: 911669, <https://orcid.org/0000-0002-9392-0904>;

Татьяна Олеговна Могилянцева — заведующая отделением, Tatiana_mog@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8146-9602>;

Яна Игоревна Павлова — врач травматолог-ортопед, соискатель, virgine1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7502-5654>.

Information about the authors:

Valery F. Blandinskij — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, oblandinskaya@yandex.ru, SPIN-code: 1297-5052, Author ID: 911669, <https://orcid.org/0000-0002-9392-0904>;

Tatiana O. Mogilyantseva — Head of Department, Tatiana_mog@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0006-8146-9602>;

Yana I. Pavlova — orthopedic traumatologist, applicant, virgine1@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7502-5654>.

Вклад авторов:

Бландинский В.Ф. — написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Могилянцева Т.О. — сбор и обработка материала, редактирование, ответственность за целостность всех разделов статьи.

Павлова Я.И. — сбор и обработка материала, ответственность за целостность всех разделов статьи.

Кафедре усовершенствования врачей по чрескостному остеосинтезу в травматологии и ортопедии в городе Кургане — 45 лет

В 2024 году исполняется 45 лет со дня основания кафедры травматологии, ортопедии и смежных дисциплин НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова, правопреемника кафедры усовершенствования врачей по чрескостному остеосинтезу, являющейся на протяжении всего времени существования кузницей научных и профессиональных кадров.

История возникновения кафедры тесно переплетена с историей Центра Илизарова. Гениальная идея Гавриила Абрамовича Илизарова привела к качественному прорыву в лечении травматолого-ортопедических больных, дала толчок научным изысканиям, а метод Илизарова заслужено стал одним из величайших достижений современной мировой медицины.

В 70-х годах прошлого века начался исторический период популяризации метода академика Илизарова. КНИИЭКОТ (Курганский научно-исследовательский институт экспериментальной и клинической ортопедии и травматологии, далее — институт) вошел в рейтинг ведущих научных учреждений Советского Союза. Врачи из различных регионов СССР направляли в Минздрав РСФСР и Минздрав СССР письма с просьбами организовать курсы усовершенствования врачей травматологов-ортопедов для освоения метода чрескостного остеосинтеза по Илизарову. Остро встал вопрос обучения и специалистов растущего молодого коллектива самого института.

Шла длительная дискуссия о необходимости и возможности обучения травматологов-ортопедов новой дисциплине — чрескостному остеосинтезу по Илизарову непосредственно в г. Кургане. Этому препятствовало отсутствие в Курганской области высшего образовательного медицинского учреждения. С учетом ситуации Министерствами здравоохранения СССР и РСФСР 27 апреля 1979 г. было принято компромиссное решение о создании кафедры травматологии и ортопедии факультета усовершенствования врачей Свердловского мединститута на базе КНИИЭКОТ.

Первым заведующим кафедрой был утвержден д.м.н., профессор Анатолий Дмитриевич Ли. По согласованию с Г.А. Илизаровым был сформирован коллектив преподавателей кафедры: заведующий травматологическим отделением к.м.н. Б.К. Константинов; к.м.н., доцент В.Г. Трохова; к.м.н. В.А. Сафонов; к.м.н. В.К. Камерин; врач В.М. Канаев; врач А.П. Бочанов.



Академик РАН, д.м.н., профессор Г.А. Илизаров — основатель метода чрескостного остеосинтеза и нового научного направления в травматологии и ортопедии



Первый заведующий кафедрой травматологии и ортопедии КНИИЭКОТ профессор А.Д. Ли и первый состав кафедры усовершенствования врачей при КНИИЭКОТ (1979 г.)



Первая группа курсантов (1979 г.)

Все преподаватели кафедры были практикующими врачами и активно занимались научно-исследовательской деятельностью. Принцип синтеза теоретического, практического и научно-исследовательского обоснования метода по настоящее время реализуется сотрудниками кафедры в образовательном процессе, позволяя обучающимся получать теоретические знания, практический опыт и развиваться в научной сфере.

Согласно планам и учебным программам, циклы для молодых специалистов были рассчитаны на 3 месяца, а для специалистов, имеющих опыт работы по травматологии и ортопедии, — на 1,5 месяца.

Первый цикл усовершенствования знаний и навыков по чрескостному компрессионно-дистракционному остеосинтезу для отечественных специалистов, в котором приняли участие 26 врачей, был проведен в сентябре 1979 г.

Программа циклов усовершенствования включала участие курсантов в утренних конференциях, лекции, клинические обходы, практические занятия в трех отведенных кафедре помещениях, работу в операционной, аппаратной, перевязочной, семинарские занятия.

География участников была обширна: Ярославль, Калуга, Тамбов, Томск, Орловская область, Ленинградская область, Пермская область, Красноярский край, Белорусская ССР, Казахская ССР, Чечено-Ингушская АССР, Дагестанская АССР, Украинская ССР, Узбекская ССР, Монгольская Народная Республика.

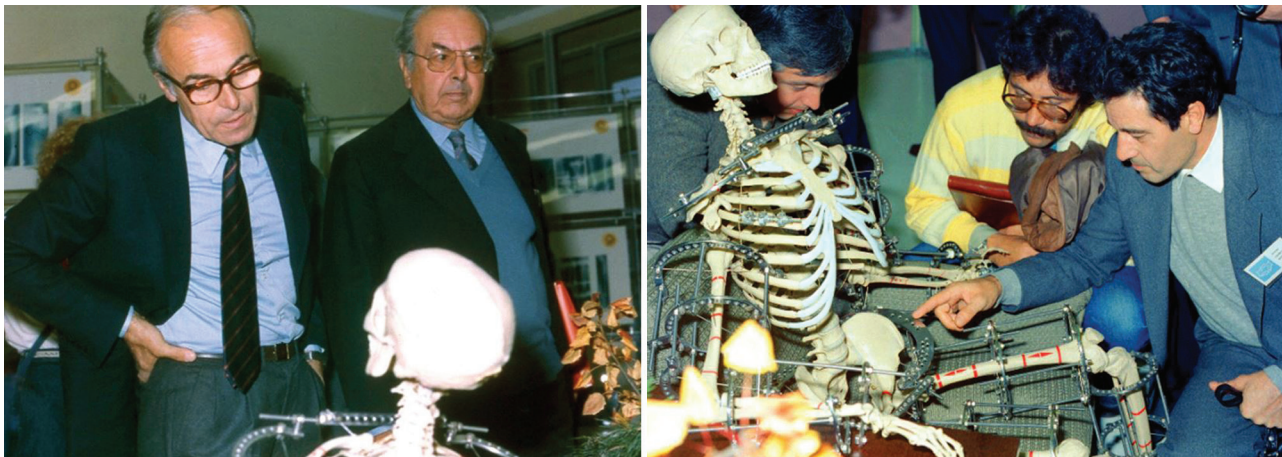
В процесс обучения курсантов под руководством профессоров Г.А. Илизарова и А.Д. Ли были дополнительно вовлечены специалисты разных направлений: А.А. Свешников, В.А. Щуров, Ю.Н. Бахлыков, Л.А. Попова, В.Д. Макушин, Ф.Н. Зусманович, С.Б. Либерман.

Желающих пройти курс обучения оказалось так много, что на некоторое время было создано две кафедры постдипломной подготовки — кафедра травматологии и кафедра ортопедии. Вопросы травматологии курировал профессор А.Д. Ли, ортопедии — сам профессор Г.А. Илизаров.

В 1983 г., когда об успехах Г.А. Илизарова стало известно в Европе, в институт приехала группа итальянцев (профессор А. Бьянки-Майокки, молодой врач Маурицию Катаньи, ныне известный в мире ортопед, врач Анжело Вилла и профессор Н. Бенедетти).

Г.А. Илизаров занимался с ними лично, проводил предоперационные разборы больных и операции. Работники кафедры и другие сотрудники обеспечивали демонстрацию больных в процессе лечения и после него. Но итальянцы попросили провести установку аппарата Илизарова на макетах костей с подробным объяснением каждой манипуляции. Для этого специалисты опытного завода в течение суток изготовили стенд для обучения работе с аппаратом. Всё увиденное потрясло итальянцев, та-

ких результатов лечения больных с травмами и ортопедическими патологиями они никогда и нигде не встречали. После возвращения этой делегации в итальянских газетах появились публикации о том, что в России произошла вторая революция, и теперь это революция в травматологии и ортопедии, а сам Г.А. Илизаров был назван Микеланджело ортопедии.



Итальянские специалисты в процессе обучения

Выезды за рубеж для чтений лекций и проведения показательных операций Г.А. Илизаров всегда считал образовательным процессом, поэтому в своих лекциях очень подробно описывал технологические приемы. Гавриилу Абрамовичу поступали приглашения из разных стран, и он охотно делился своим опытом использования аппарата и применения метода.

Информация о достижениях Г.А. Илизарова дошла и до США, и первым обучающимся из этой страны стал ныне всемирно известный доктор D. Paley. Он посетил институт два раза в 1986 г., затем в 1987 и 1988 гг. Уезжая домой, он сказал профессору В.И. Шевцову: «Я занимался переломами, эндопротезированием и другими банальными операциями. Теперь я буду работать только с аппаратом Илизарова и стану американским Илизаровым». Его мечта сбылась.

В конце 80-х годов институт посетил профессор Стюарт Грин. Он очень подробно изучил метод Г.А. Илизарова и в 1990 г. при издании монографии Г.А. Илизарова на английском языке в издательстве Springer был назначен редактором текста.



Г.А. Илизаров с иностранными специалистами

Именно работа с иностранными специалистами значительно стимулировала образовательный процесс, позволила лучше организовать его, добавив больше практических занятий, которые всегда вызвали искренний интерес.

Количество заявок на обучение методу Илизарову от зарубежных и отечественных коллег с каждым годом росло. Результатом обращения профессора Г.А. Илизарова в Министерство здравоохранения СССР стало решение увеличить количество курсантов одного цикла до 50, а затем до 100 человек. В связи с этим к реализации образовательных программ кафедры было привлечено большое количество ведущих сотрудников института.

Для курсантов были созданы условия комфортного получения знаний: им предоставляли общежитие, оснащенные аудитории и залы, организовывали культурно-развлекательную программу. Занятия проводили в специально оборудованных учебных аудиториях, тренажерном зале, операционном блоке в различных формах: лекции, семинарские и практические занятия, мастер-классы. На мастер-классах с помощью учебных пособий и наглядных материалов курсанты отрабатывали процедуры проведения, монтажа, демонтажа спиц. После изучения конкретной темы в рамках семинара и практических занятий обучающиеся закрепляли полученные знания и умения авторского метода Илизарова в операционных. Такое полное погружение в клиническую деятельность способствовало практическому освоению техники метода чрескостного остеосинтеза при лечении пациентов.

Две кафедры функционировали до 1984 г. Слушатели не очень приветствовали такое разделение, их больше привлекало занятие ортопедией. Поэтому обе кафедры снова объединили в одну по постдипломной подготовке по травматологии и ортопедии.

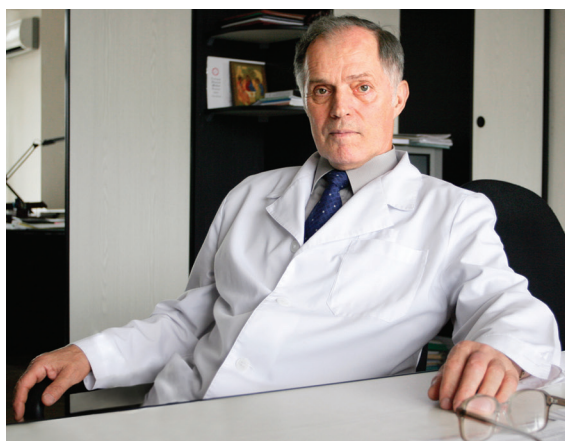
В 1985–1987 гг. коллектив кафедры пополнился новыми специалистами высшей категории: Н.М. Ключиным, В.К. Носковым, Н.М. Мурзиковым, В.М. Шигаревым, И.А. Катаевым, Г.Е. Карагодиным, С.Я. Зыряновым, А.Г. Карасевым, Д.И. Шахматовым, В.Д. Шатохиным и др. Все сотрудники кафедры проводили занятия как с отечественными, так и с зарубежными специалистами.

Работа кафедры не ограничивалась стенами института, сотрудники кафедры взаимодействовали с образовательными, научными и медицинскими организациями в СССР и за рубежом, участвуя в научно-практических конференциях различного уровня, стажировках, курсах повышения квалификации, проводили масштабные исследования в области реабилитации больных, имеющих врожденные нарушения развития опорно-двигательного аппарата. Все это обеспечивало получение передового опыта в науке и клинической практике и формировало новые подходы к обучению слушателей технологиям лечения пациентов с костной патологией.

В связи с необходимостью систематизации и расширения научных исследований на базе института, а также удовлетворения кадровой потребности в квалифицированных специалистах в области травматологии и ортопедии были открыты клиническая ординатура и аспирантура (Приказ Министерства высшего и среднего специального образования СССР от 1 февраля 1984 г. № 73). Ответственной за организацию аспирантуры была назначена к.м.н. В.Г. Трохова, ответственным за ординатуру — доцент, к.м.н. В.К. Камерин.

Кафедра продолжала развиваться и вскоре приобрела статус международной. В 1988 г. на базе ВКНЦ «ВТО» (Центр) были проведены I и II международные курсы по удлинению конечностей. В последующие годы такие курсы проводили для специалистов Польши, США, Португалии, Италии, Мексики, Индии, Англии и других стран. В 1989 г. были проведены переговоры и подписано соглашение о сотрудничестве с МЗ Польши. По итогам переговоров на базе Центра прошли подготовку много специалистов из Польши, а работники кафедры неоднократно выезжали в Польшу для проведения курсов.

В 1991 г. заведующим кафедрой травматологии и ортопедии был назначен ученик и продолжатель метода Илизарова профессор, д.м.н. Сергей Иванович Швед. В период его работы большое внимание уделялось обучению и научно-исследовательским работам по лечению больных с множественными и сочетанными травмами, усовершенствованию первичной специализированной помощи пострадавшим, проведению первичной хирургической отработки открытых и огнестрельных переломов, в том числе в возрастном аспекте.



Профессор С.И. Швед



Разбор клинического случая

Кафедра, как и весь Центр, пережили достаточно тяжелые времена: в 1992 г. умер основатель метода академик Гавриил Абрамович Илизаров, произошел развал Советского Союза, все это значительно осложнило работу Центра, ограничило финансирование, но не охладило пыл исследователей, врачей и преподавателей.

Огромный вклад в сохранение Центра и развитие кафедры травматологии и ортопедии в это тяжелое время внес генеральный директор РНЦ «ВТО» (1992–2009 гг.) член-корр. РАМН, профессор, д.м.н. Владимир Иванович Шевцов. В период его работы Центр вышел на новый этап развития, разработки и внедрения инновационных методов диагностики и реабилитации пациентов, что позволило не только сохранить, но расширить и усовершенствовать образовательные процессы. Появились новые направления лечения и, соответственно, образовательные программы: микрохирургия и реплантация, эндопротезирование и артроскопия. Были внедрены передовые технологии внутреннего остеосинтеза и высокоэффективные комбинации чрескостных и погружных методик.

Центром были подписаны соглашения с фирмой «Ричардс Медикал», США (представители — Н. Зеленский и Р. Виггинтон), Токийским университетом, Япония (представитель — профессор Т. Курокава), Южнокорейской компанией «Сеул Медитек» (представитель — господин Донг), бразильской ASAMI. По условиям договоров из этих стран приезжали по 25–30 специалистов два раза в год, а из Бразилии — по 55–60 ортопедов один раз в два года. Продолжительность обучения составляла 7–10 дней, помимо краткосрочных курсов функционировали и курсы продолжительностью от 3 до 6 месяцев.

В 2005 г. ВКНЦ «ВТО» был переименован в Российский Научный Центр «Восстановительная травматология и ортопедия» имени академика Илизарова, ему был присвоен федеральный статус. Российское законодательство претерпевало изменения, снова встал вопрос о том, что в Кургане нет высшего медицинского образовательного учреждения, и легитимность деятельности кафедры Центра оказалась под угрозой. Выходом стало предложение Тюменского медицинского института открыть филиал их кафедры травматологии на базе Центра. Несколько лет курсанты обучались технологиям чрескостного остеосинтеза в Кургане и получали документы Тюменского вуза. Это не снизило эффективности подготовки врачей и позволило сохранить замечательный профессорско-преподавательский состав.



Коллектив кафедры



Рабочие моменты проведения курсов

Во время занятий сотрудники кафедры всегда организовывали для курсантов культурные программы: игру в русские городки, футбольные матчи, лыжные соревнования, посещение русской бани и выезды на природу, что очень нравилось иностранным гостям.



Перед стартом международного матча по футболу между командами КНИИЭКот (Россия) и Smith & Nephew (USA)

Японские специалисты осваивают русские городки

Менялось время, менялись и государственные требования к образовательным программам. В 2015 г. кафедра Центра Илизарова и ее образовательные программы впервые прошли государственную аккредитацию образовательной деятельности. В 2016 г. программы дополнительного профессионального образования Центра были утверждены Минздравом России и размещены на портале непрерывного медицинского и фармацевтического образования.

С 2012 г. до настоящего времени заведующим кафедрой травматологии и ортопедии является д.м.н., профессор Ю.П. Солдатов.

Юрий Петрович ведет клиническую и организационную работу, совмещая это с трудом по подготовке научных кадров, развитию кафедры и образования в целом. Именно он является руководителем и составителем новых образовательных программ для аспирантуры и ординатуры, повышения квалификации врачей, реализуемых очно и посредством портала НМФО.



Профессор Ю.П. Солдатов в процессе обучения специалистов

В 2020 г. Центр Илизарова стал «Национальным медицинским исследовательским центром травматологии и ортопедии (НМИЦ ТО) имени академика Илизарова». Под организационно-методическим руководством Центра находятся 27 субъектов Российской Федерации от Уральских гор до Курильских островов. Этот факт значительно повышает роль и ответственность кафедры как важного звена постдипломного образования по специальности «травматология и ортопедия».

Расширение спектра учебных дисциплин потребовало увеличения преподавательского состава. Сегодня на кафедре трудятся 16 преподавателей, их них 8 — на должности профессора (д.м.н. А.В. Бурцев, д.м.н. А.Г. Карасев, д.м.н. Д.А. Попков, д.м.н. Е.В. Жданова, д.б.н. Е.Н. Щурова, д.б.н. М.В. Стогов, д.м.н. О.К. Чегуров, д.м.н. А.В. Губин); 5 — на должности доцента (д.м.н. К.А. Дьячков, д.м.н. О.Г. Прудникова, к.б.н. Т.А. Силантьева, к.м.н. А.С. Судницын, д.м.н. А.А. Гринь); 2 — на должности ассистента (к.в.н. А.А. Еманов и д.м.н. С.А. Лукин).

На базе Центра функционирует аккредитационно-симуляционный центр, где работают преподаватели учебного отдела д.м.н., профессор А.В. Попков, к.м.н. А.В. Каминский, И.В. Сутягин, О.Ю. Герман.

Сотрудники кафедры, опираясь на накопленный опыт, развивают современные и инновационные образовательные технологии. Отработаны все нюансы подачи материала слушателям с опорой на практическое использование и формирование хирургических навыков. Учащиеся погружаются в атмосферу работающего коллектива. На обходах в отделениях, при разборах больных, планировании операций и, конечно, в операционной с ними работают не только кафедральные работники, но и врачи — сотрудники Центра. Возможность изучить различные хирургические техники и подходы к решению сложных клинических задач значительно расширяет кругозор наших курсантов, ординаторов и аспирантов и показывает многогранность метода Илизарова и других образовательных направлений.

В настоящее время обучение проводится по образовательным программам аспирантуры по четырем группам специальностей: клиническая медицина, медико-биологические науки, биологические науки, фундаментальная медицина (специальности — травматология и ортопедия, патологическая физио-

логия, физиология человека и животных, клеточная биология); профильной программе ординатуры по специальности «Травматология и ортопедия»; 27 программам дополнительного профессионального образования. Образовательные программы всех направлений сертифицированы и имеют государственную аккредитацию.

За 45 лет работы кафедры проведено 754 цикла обучения травматологов-ортопедов, в которых участвовали 10 343 курсанта из 75 стран мира. В период с 1984 по 2023 г. 146 молодых ученых окончили аспирантуру и 283 врача — ординатуру.

Сегодня работа кафедры и учебного отдела ФГБУ «НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова» Минздрава России востребована как никогда. В условиях травматической эпидемии специальной военной операции технологии Центра жизненно необходимы врачам по всей стране. Восстановление длины, опороспособности и функции конечностей с использованием технологий Илизарова и его последователей из невозможных становятся обычными, повседневными задачами врачей травматологов-ортопедов.

Дополнительное подтверждение востребованности метода Илизарова и в мировом сообществе подтвердил конгресс ASAMI (Ассоциации по изучению и применению метода Илизарова), который прошел 29–31 марта 2024 г. в Индии с участием сотен врачей разных стран. Метод Илизарова остается конкурентоспособным и широко используемым во всем мире, ведутся разработки новых аппаратов и устройств для удлинения конечностей и коррекции деформаций.



Поздравляем кафедру травматологии, ортопедии и смежных дисциплин Центра Илизарова с 45-летним юбилеем. Пройден сложный, самобытный путь, и он продолжается. Появляются новые горизонты, востребованные яркие программы, современные подходы к образованию.

*д.м.н., профессор, член-корреспондент РАН, Почетный профессор
НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова В.И. Шевцов*

д.м.н., профессор Ю.П. Солдатов

д.м.н., профессор А.М. Аранович

к.м.н. А.В. Каминский

Редакционная коллегия журнала «Гений ортопедии»

Главный редактор А.В. Бурцев

Компьютерная верстка М.А. Беляева

Перевод Т.А. Малкова, И.А. Саранских

Информационная поддержка сайта журнала О.Б. Борзунова, Е.А. Дворянцева

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи,
информационных технологий и массовых коммуникаций
ПИ № ФС77-68207 от 30 декабря 2016 года

Территория распространения: Российская Федерация, зарубежные страны

Подписано в печать 18.06.2024. Дата выхода 28.06.2024

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 18,6

Тираж 75 экз. Заказ № 11162. Свободная цена

Адрес издателя, редакции журнала «Гений ортопедии»

640014, Россия, г. Курган, ул. М. Ульяновой, 6

<http://ilizarov-journal.com>

Отпечатано в Типографии «Эталон». 198097, г. Санкт-Петербург, ул. Трефолева, 2 литера БН, помещение 3-Н, офис 1