

Гений Ортопедии

Orthopaedic Genius

Том 30
№ 6
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)
 Миromanов 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)
 Скрыбин 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!



Предлагаем вашему вниманию завершающий этот год номер нашего журнала.

Раздел «Клинические исследования» открывает работа авторского коллектива из Самары (О.М. Семенкин и соавт.), где представлены принципы оперативного лечения отсроченного синдрома запястного канала (ОСЗК) при неправильно сросшихся переломах дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЛК). Изучив результаты лечения 33 пациентов, авторы пришли к заключению, что при неправильно сросшихся переломах лучевой кости корригирующая остеотомия и остеосинтез ладонной блокируемой пластиной — надежный и эффективный способ лечения. При умеренной и выраженной степени ОСЗК, сочетающегося с промежуточной и преимущественно тыльной деформацией ДМЛК, лучшие результаты дает открытый релиз запястного канала из отдельного ограниченного доступа. При легкой степени ОСЗК, а также при преимущественно ладонной деформации ДМЛК декомпрессию срединного нерва допустимо производить из основного продленного доступа лучевого сгибателя запястья.

Результаты интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах костей предплечья у детей в зависимости от срока их возникновения представляют в своей публикации авторы из Узбекистана А.А. Косимов и И.Ю. Ходжанов. Анализ исходов лечения 48 детей показал, что успех повторного заживления зависит от стадии костной регенерации в момент возникновения рефрактуры предплечья. В ранней стадии повторного перелома процесс регенерации происходит более успешно.

Проблеме первичного и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины посвящена работа М.Ю. Удинцевой с соавторами (Екатеринбург, Курган). На основании анализа результатов лечения 93 пациентов авторы делают вывод, что длительное и безболезненное функционирование эндопротеза тазобедренного сустава при дефектах вертлужной впадины возможно при восстановлении сферической формы acetabulum и центра ротации сустава в истинной вертлужной области, при адекватном восполнении дефицита костной ткани и надежной первичной фиксации чашки протеза с обеспечением условий для вторичной стабилизации за счет остеоинтеграции. Дефекты вертлужной впадины в своих анатомических проявлениях многообразны, что создает определенные трудности при выборе тазовых компонентов, аугментов, способов их фиксации к тазовой кости.

Результаты интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста у 105 пациентов при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава демонстрируют в своей работе В.Ю. Мурылев с соавторами (Москва, Стамбул). Авторы отмечают, что тест продемонстрировал 96,39 % специфичности, 89,52 % точности и 63,64 % чувствительности. Он обладает высокими диагностическими показателями в рамках интраоперационной верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава, позволяя своевременно скорректировать тактику лечения. Случаи «сухого сустава», использование синовиальной жидкости, не соответствующей требованиям выполнения теста, а также слабовирулентная коагулазонегативная микрофлора, в том числе в составе микробных ассоциаций, являются ограничениями применения альфа-дефензин экспресс-теста.

Клинические результаты применения серебросодержащего препарата в составе антимикробного спейсера при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава приводят в своей работе авторы из Санкт-Петербурга (С.А. Божкова с соавт.). Полученные результаты исследования показали, что при выполнении санирующего этапа двухэтапного лечения хронической ППИ ТБС, обусловленной грамположительными бактериями, антимикробный спейсер с добавлением высокодисперсного серебра показал высокую эффективность, однако требуется дальнейшая разработка новых комбинаций для импрегнации костного цемента с целью расширения спектра антимикробной активности устанавливаемых спейсеров.

Результаты применения малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с аутологичным концентратом костного мозга (АККМ) при лечении 86 пациентов с асептическим остеонекрозом головки бедренной кости представлены в работе Д.А. Найда с соавторами (Москва, Волгоград, Чебоксары). Авторы отмечают, что методика малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с АККМ является эффективным способом лечения на преколлаптоидных стадиях АНГБК и способствует улучшению качества жизни пациентов, однако не позволяет добиться регресса структурных изменений кости.

А.В. Лычагин с соавторами (Москва) в своей работе обсуждают проблему кинематического выравнивания при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава. На основании полученных данных при лечении 47 пациентов авторы отмечают, что персонализированный подход к то-

тальному эндопротезированию коленного сустава с применением активной роботической установки позволяет эффективно выполнить кинематическое выравнивание оси нижней конечности с точностью до 2° у 87,3 % пациентов.

Оптимальный метод латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости на основании томографического исследования стоп 250 пациентов представляют в своей работе С.М. Гуди с соавторами (Новосибирск). Результаты исследования показали, что способ остеотомии пяточной кости Hintermann может быть успешно применен среди населения России с наименьшими осложнениями, в частности меньшим количеством повреждений суставных фасеток подтаранного сустава.

Теоретические исследования представлены в номере тремя публикациями.

Влияние трансфизарного интрамедуллярного стержня на формирование дистракционного регенерата голени и ее последующий рост у ягнят изучили в своем исследовании Н.А. Кононович с соавторами (Курган). Авторы отмечают, что выраженный периостальный остеогенез и дополнительная стабилизация положения костных фрагментов при использовании трансфизарного ригидного титанового стержня способствуют быстрейшему формированию и созреванию костного регенерата. Отсутствуют признаки угнетения спонтанного роста удлиняемого сегмента и формирования рентгеновских признаков эпифизиодеза на уровне расположения трансфизарной конструкции. Центральное расположение трансфизарного стержня относительно плоскости ростковой зоны и площади его сечения менее 5 % площади физиса можно считать условиями, при которых эпифизиодез не развивается.

Высвобождение антибиотиков из материалов для замещения постостеомиелитических дефектов кости изучили в своем исследовании авторы из Кургана (М.В. Стогов с соавт.). Проведен *in vitro* сравнительный анализ кинетики высвобождения цефотаксима, ванкомицина и меропенема из двух материалов: на основе полимеров полиуретанового ряда (серия РК) и на основе полиметилметакрилата (серия ПММА). Полученные авторами результаты показали, что длительность высвобождения изученных антибиотиков в эффективных концентрациях из материала на основе полимеров полиуретанового ряда выше, чем из материала на основе ПММА.

Bayan Jabr Hussein и Ban A. Ghani (Ирак) изучили распределение остеокальцина при заживлении повреждений костей путем местного применения коллагена и бета-трикальцийфосфата у крыс. На основании полученных данных авторы отмечают, что комбинация коллагена с β -ТСР показала наибольшую эффективность ускорения заживления костной ткани и увеличения остеогенной способности за счет повышенной иммунореактивности остеокальцина.

Раздел «Новые технологии» представлен публикацией В.В. Скребцова с соавторами (Москва). Авторами представлена оригинальная модель гемизендопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии. Представлен клинический случай лечения пациента 74 лет с диагнозом: остеоартрит первого плюснефалангового сустава 3 стадии. Авторы отмечают, что гемизендопротезирование первого плюснефалангового сустава с использованием имплантата из циркониевой керамики оригинальной модели показало эффективность при лечении пациентов с hallux rigidus 3–4 стадии. Продемонстрированная методика является хорошей альтернативой артродезу данного сустава.

Два обзора литературы, завершающие номер, посвящены современным тенденциям лечения пациентов с дегенеративным поясничным спинальным стенозом с использованием прямого бокового спондилодеза с непрямой декомпрессией корешков спинного мозга (И.Д. Исаков с соавт., Новосибирск) и пациентов со стенозирующим лигаментитом пальцев кисти (Г.П. Котельников с соавт., Самара).

От имени редакционного совета поздравляю читателей с наступающим Новым годом и желаю всех благ и новых творческих успехов.

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

Оригинальные статьи

- Принципы оперативного лечения отсроченного синдрома запястного канала при неправильно сросшихся переломах дистального метаэпифиза лучевой кости 773
О.М. Семенкин, С.Н. Измалков, А.Н. Братийчук, А.К. Усов
- Результаты интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах костей предплечья у детей в зависимости от срока их возникновения 788
А.А. Косимов, И.Ю. Ходжанов
- Первичное и ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины 797
М.Ю. Удинцева, Е.А. Волокитина, Д.А. Колотыгин, С.М. Кутепов
- Результаты интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста при выполнении второго этапа РЭТС 811
В.Ю. Мурылев, Д. Парвизи, А.И. Руднев, Г.А. Куковенко, П.М. Елизаров, А.В. Музыченков, С.С. Алексеев, Д.О. Голубкин, К.Г. Яковлев, А.О. Угольников
- Клинические результаты применения серебросодержащего препарата в составе антимикробного спейсера при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава 822
С.А. Божкова, М.Ш. Гаджимагомедов, Р.М. Тихилов, В.А. Артюх, А.П. Антипов, А.В. Афанасьев, С.С. Торпов, Ю.В. Муравьева
- Результаты применения малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с аутологичным концентратом костного мозга в лечении пациентов с асептическим остеонекрозом головки бедренной кости 831
Д.А. Найда, Б.В. Тюлькевич, Д.А. Маланин, В.В. Кондрашенко, М.В. Демещенко, Н.Н. Чирков
- Кинематическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава 845
А.В. Лычагин, А.А. Грицюк, Е.Б. Калинин, Я.А. Рукин, М.П. Елизаров, А.А. Грицюк, М.Я. Гавловский, К.Х. Томбоиди, М.Л. Бабаева
- Оптимальный метод латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости: томографическое исследование среди населения России 855
С.М. Гуди, Д.А. Семенова, К.О. Васильев, Л.К. Скуратова, М.Д. Лучшев, И.А. Пахомов
- Влияние трансфизарного интрамедуллярного стержня на формирование дистракционного регенерата голени и ее последующий рост у ягнят 863
Н.А. Кононович, С.С. Леончук, Е.С. Горбач, Е.Н. Горбач, Д.А. Попков
- Высвобождение антибиотиков из материалов для замещения постостеомиелитических дефектов кости 873
М.В. Стогов, А.Л. Шастов, Е.А. Киреева, Н.В. Тушина
- Локализация остеокальцина в процессе заживления костной ткани при местном применении коллагена и бета-трикальцийфосфата у крыс 881
Bayan Jabr Hussein, Ban A. Ghani

Новые технологии

- Оригинальная модель гемизендопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии 889
В.В. Скребцов, В.Г. Процко, А.В. Скребцов, С.К. Тамоев, В.К. Никитина

Обзоры литературы

- Прямой боковой спондилодез с непрямой декомпрессией корешков спинного мозга у пациентов с дегенеративным поясничным спинальным стенозом 897
И.Д. Исаков, А.Д. Сангинов, Ш.А. Ахметьянов, Е.А. Мушкачев, А.Н. Сорокин, А.В. Пелеганчук
- Стенозирующий лигаментит пальцев кисти 906
Г.П. Котельников, А.С. Панкратов, А.Н. Николаенко, А.П. Борисов, А.С. Ключников, В.В. Пискун, Н.А. Князев, Д.В. Люкин

Юбилеи

- Шлыков Игорь Леонидович (к 60-летию со дня рождения) 916
 Кутепов Сергей Михайлович (к 75-летию со дня рождения) 917

Original Articles

- Principles of surgical treatment of delayed carpal tunnel syndrome in malunion of the distal metaepiphysis of the radius 773
O.M. Semenkin, S.N. Izmailov, A.N. Bratiichuk, A.K. Usov
- Intramedullary osteosynthesis for pediatric forearm re-fractures depending on the time of occurrence 788
A.A. Kosimov, I.Yu. Hodzhanov
- Compensation of acetabular defects in primary and revision hip arthroplasty 797
M.Yu. Udintseva, E.A. Volokitina, D.A. Kolotygin, S.M. Kutepov
- Results of the intraoperative alpha defensin lateral flow test in the second stage of revision hip arthroplasty 811
V.Yu. Murylev, J. Parvizi, A.I. Rudnev, G.A. Kukovenko, P.M. Elizarov, A.V. Muzychenkov, S.S. Alekseev, D.O. Golubkin, K.G. Yakovlev, A.O. Ugolnikova
- Clinical results of using a silver-containing preparation as part of an antimicrobial spacer in the treatment of periprosthetic hip joint infection 822
S.A. Bozhkova, M.Sh. Gadzhimagomedov, R.M. Tikhilov, V.A. Artyukh, A.P. Antipov, A.V. Afanasyev, S.S. Toropov, Yu.V. Muravyeva
- Results of minimally invasive core decompression and autologous bone grafting in combination with autologous bone marrow aspirate concentrate in the treatment of patients with aseptic osteonecrosis of the femoral head 831
D.A. Naida, B.V. Tyulkevich, D.A. Malanin, V.V. Kondrashenko, M.V. Demeshchenko, N.N. Chirkov
- Kinematic alignment in robotic total knee arthroplasty 845
A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk, E.B. Kalinsky, Y.A. Rukin, M.P. Elizarov, A.A. Gritsyuk, M.Ya. Gavlovsky, K.Kh. Tomboidi, M.L. Babaeva
- The optimal method of lateral lengthening osteotomy of the calcaneus: CT study in the Russian population 855
S.M. Gudi, D.A. Semenova, K.O. Vasiliev, L.K. Skuratova, M.D. Luchshev, I.A. Pakhomov
- Impact of transphyseal intramedullary nailing on tibial distraction regenerate and subsequent tibial growth in sheep: an experimental study 863
N.A. Kononovich, S.S. Leonchuk, E.S. Gorbach, E.N. Gorbach, D.A. Popkov
- Release of antibiotics from the materials for post-osteomyelitic bone defect filling 873
M.V. Stogov, A.L. Shastov, E.A. Kireeva, N.V. Tushina
- Localization of osteocalcin in bone healing treated by local application of collagen and beta-tricalcium phosphate in rats 881
Bayan Jabr Hussein, Ban A. Ghani

New technologies

- Original first metatarsophalangeal hemiarthroplasty and installation technique in treatment of grade 3–4 hallux rigidus 889
V.V. Skrebtsov, V.G. Protsko, A.V. Skrebtsov, S.K. Tamoev, V.K. Nikitina

Literature reviews

- Direct lateral interbody fusion with indirect decompression of the spinal roots in patients with degenerative lumbar spinal stenosis 897
I.D. Isakov, A.J. Sanginov, Sh.A. Akhmetyanov, E.A. Mushkachev, A.N. Sorokin, A.V. Peleganchuk
- Stenosing tenosynovitis 906
G.P. Kotelnikov, A.S. Pankratov, A.N. Nikolaenko, A.P. Borisov, A.S. Klyuchnikov, V.V. Piskun, N.A. Knyazev, D.V. Lukshin

Anniversaries

- Shlykov Igor Leonidovich (60th birthday anniversary) 916
- Kutepov Sergey Mikhailovich (75th birthday anniversary) 917

Научная статья

УДК 616.833.35-001.35:616.717.56]-001.5-089.227.84

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-773-787>

Принципы оперативного лечения отсроченного синдрома запястного канала при неправильно сросшихся переломах дистального метаэпифиза лучевой кости

О.М. Семенкин^{1,2}, С.Н. Измалков², А.Н. Братийчук^{2✉}, А.К. Усов^{2,3}¹ Клинический госпиталь ИДК, Самара, Россия² Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия³ Самарская областная клиническая больница им. В.Д. Середавина, Самара, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Александр Николаевич Братийчук, brat59@bk.ru

Аннотация

Введение. Отсроченный синдром запястного канала (ОСЗК) у пациентов с неправильно сросшимся переломом дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЛК) развивается через несколько недель или месяцев после травмы. Основным методом лечения — корригирующая остеотомия и остеосинтез лучевой кости. Целесообразность декомпрессии срединного нерва и способы ее выполнения дискуссионны.

Цель работы — выработать концепцию лечения пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК и ОСЗК в зависимости от способа декомпрессии срединного нерва на основании оценки отдаленных результатов оперативного лечения.

Материалы и методы. Результаты лечения изучили у 33 пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК, осложненным ОСЗК, которым выполняли корригирующую остеотомию ДМЛК и остеосинтез ладонной пластиной с угловой стабильностью. Дополнительно пациентам первой группы через отдельный ограниченный хирургический доступ проводили открытый релиз запястного канала (ОСТР, $n = 19$), пациентам второй группы — декомпрессию срединного нерва через продленный доступ лучевого сгибателя запястья (ЕFCR, $n = 14$). Пациентов обследовали до операции и через один год клиническими, рентгенологическими и электромиографическими методами; сравнивали степень выраженности ОСЗК и деформации ДМЛК.

Результаты. После операции у пациентов обеих групп наступило улучшение клинических, рентгенологических и ЭНМГ-показателей. Средние сроки сращения составили 12 нед. Более благоприятные результаты получили у пациентов первой группы: достоверно увеличился силовой захват кисти, возросла повседневная активность и амплитуда М-ответа короткой мышцы, отводящей большой палец. Наиболее значимые благоприятные изменения произошли при умеренной и выраженной тяжести ОСЗК, а также при промежуточной и преимущественно тыльной деформации ДМЛК.

Обсуждение. Вопросы о целесообразности симультанной декомпрессии срединного нерва у пациентов с ОСЗК и о характере соответствующих доступов не имеют однозначного ответа. Большинство авторов полагает, что достаточно выполнить только корригирующую остеотомию и остеосинтез. Проведенное нами исследование показало важность дифференцированного подхода к решению данной проблемы.

Заключение. При неправильно сросшихся переломах лучевой кости корригирующая остеотомия и остеосинтез ладонной блокируемой пластиной — надежный и эффективный способ лечения. При умеренной и выраженной степенях ОСЗК, сочетающегося с промежуточной и преимущественно тыльной деформацией ДМЛК, лучшие результаты дает открытый релиз запястного канала из отдельного ограниченного доступа. При легкой степени ОСЗК, а также при преимущественно ладонной деформации ДМЛК декомпрессию срединного нерва допустимо производить из основного ЕFCR-доступа.

Ключевые слова: синдром запястного канала, неправильно сросшийся перелом дистального метаэпифиза лучевой кости, оперативное лечение

Для цитирования: Семенкин О.М., Измалков С.Н., Братийчук А.Н., Усов А.К. Принципы оперативного лечения отсроченного синдрома запястного канала при неправильно сросшихся переломах дистального метаэпифиза лучевой кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):773-787. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-773-787. EDN: WQEBDG.



Principles of surgical treatment of delayed carpal tunnel syndrome in malunion of the distal metaepiphysis of the radius

O.M. Semenkin^{1,2}, S.N. Izmalkov², A.N. Bratiichuk^{2✉}, A.K. Usov^{2,3}

¹ Clinical Hospital IDK, Samara, Russian Federation

² Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

³ Samara Regional Clinical Hospital Named after V.D. Seredavin, Samara, Russian Federation

Corresponding author: Aleksandr N. Bratiichuk, brat59@bk.ru

Abstract

Introduction Delayed carpal tunnel syndrome (DCTS) in patients with malunited fracture of the distal metaepiphysis of the radius (DMR) develops from several weeks to months after the injury. The main treatment method for these patients is corrective osteotomy and fixation of the radius bone. However, the necessity and methods of median nerve decompression still remain controversial.

Purpose To evaluate long-term results of surgical treatment of patients with a malunited distal radius fractures and concurrent delayed carpal tunnel syndrome, depending on the method of median nerve decompression, and to develop a treatment concept.

Methods The results of treatment were studied in 33 patients (30 women and three men, average age 54.6 years) with malunited DMR fracture complicated by DCTS. All patients underwent corrective osteotomy of the distal radius and osteosynthesis with a volar locking plate. Open carpal tunnel release (OCTR) was performed in the first group of patients through a separate limited surgical approach ($n = 19$), while decompression of the median nerve was carried out through an extended flexor carpi radialis (EFCR) approach in the second group ($n = 14$). Patients were evaluated clinically (wrist range of motion, hand strength, VAS pain level, DASH score), radiographically, and electromyographically before surgery and one year after it. DCTS severity and DR deformity were compared.

Results After the operation, patients in both groups showed improvement in clinical, radiographic and ENMG parameters. The average union time was 12 weeks. Better results were achieved in the first group: the hand grip strength increased significantly, as did daily activity and the amplitude of the M-response of the short muscle abducting the thumb. The most significant changes were observed in moderate and severe DCTS cases, as well as in the intermediate and predominantly dorsal DR deformity.

Discussion The questions about the advisability of simultaneous decompression of the median nerve in patients with OCTR and the nature of the corresponding approaches do not have a clear answer. Most authors believe that it is sufficient to perform only corrective osteotomy and osteosynthesis. Our study showed the importance of a differentiated approach to solving this problem.

Conclusions Corrective osteotomy and volar locking plate osteosynthesis in carpal tunnel release are reliable and effective treatments for malunited DMR fractures with concurrent delayed carpal tunnel syndrome. The best results were obtained after open carpal tunnel release from a separate limited approach in patients with moderate and severe deformity of the distal metaepiphysis of the radius, combined with “intermediate” and “predominantly dorsal deformity. In mild DCTS cases, as well as in cases of predominantly palmar DMR deformity, decompression of the median nerve can be performed from the main EFCR approach.

Keywords: distal radius fracture, malunion, osteotomy, delayed carpal tunnel syndrome, carpal tunnel release, limited open approach, extended flexor carpi radialis approach, median nerve

For citation: Semenkin OM, Izmalkov SN, Bratiichuk AN, Usov AK. Principles of surgical treatment of delayed carpal tunnel syndrome in malunion of the distal metaepiphysis of the radius. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):773-787. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-773-787

ВВЕДЕНИЕ

Неправильное сращение переломов дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЛК) может сопровождаться вовлечением в регенераторный процесс мягкотканых структур, проходящих через запястный канал [1]. При этом особо страдает подвергаемый сдавлению срединный нерв, что предрасполагает к формированию синдрома запястного канала (СЗК). По времени возникновения СЗК разделяют на острый, появляющийся в течение нескольких часов и дней после перелома (5,4–8,6 %), подострый или преходящий (4 % случаев) и отсроченный или хронический, возникающий через несколько недель или месяцев после травмы (0,5–22 %) [2, 3].

Формирование отсроченного СЗК (ОСЗК) происходит в процессе консолидации фрагментов лучевой кости и в большинстве случаев в ходе неправильного их сращения [4–10]. По данным H.D. Stewart et al., через 3 мес. после перелома частота ОСЗК достигает 17 %, а через 6 мес. — 12 % [11]. Непосредственными причинами ОСЗК считают уменьшение объема пространства запястного канала, остаточное тыльное или ладонное смещение дистального фрагмента, отек, теносиновит, длительную иммобилизацию кисти в положении Cotton – Loder и избыточные размеры костной мозоли [12–17].

Вопросы о показаниях к декомпрессии срединного нерва при неправильном сращении ДМЛК и о предпочтительных ее способах остаются открытыми [18, 19]. Рассматривая эти вопросы из системных позиций, условно можно выделить два типа хирургических доступов, применяемых с целью оперативного устранения ОСЗК.

Первый тип доступов — через продольный разрез в нижней трети предплечья по передней ее поверхности длиной 3 см, с углообразным отклонением в лучевую сторону в проекции ладонных складок запястья, через сухожилие лучевого сгибателя кисти, с отсечением наружных листков *retinaculum flexorum*. Данный тип доступа впервые описан R.A. Weber et al. [20] и применен авторами только для декомпрессии срединного нерва. В дальнейшем этот доступ адаптирован F.W. Gwathmay et al. [21] для профилактического выполнения декомпрессии срединного нерва с одновременным остеосинтезом ДМЛК за счет удлинения кожного разреза до 7–8 см. Также подобный доступ, отличающийся длиной 8–10 см, но используемый только для операций на ДМЛК, применяли J.L. Orbay et al. [22]. Для обобщенного обозначения доступов такого типа, выполняемых только с целью декомпрессии срединного нерва, мы, с некоторой долей условности, применили известный среди специалистов по хирургии кисти термин EFCR-доступ (*англ.*: Extended Flexor Carpi Radialis Approach) [23]. Таким образом, доступы первого типа предполагают выполнение одного разреза, но для достижения двух целей — для высвобождения срединного нерва и для реконструктивного вмешательства на ДМЛК.

Второй тип — сочетанные доступы, предполагающие выполнение двух разрезов: первого — для декомпрессии срединного нерва в области ладонной поверхности запястья, получившего среди специалистов по хирургии кисти наименование OCTR-доступа (*англ.*: Open Carpal Tunnel Release) [24], и второго, — для корригирующей остеотомии и остеосинтеза ДМЛК в нижней трети предплечья. Таким образом, доступы второго типа предполагают выполнение двух разно локализованных разрезов, каждого со своей конкретной целью.

В настоящем исследовании мы изучили эффективность доступов обоих типов с целью выяснения лечебного потенциала каждого из них и возможности их дифференцированного применения при разной степени ОСЗК и разной величине наклона суставной поверхности ДМЛК при неправильно сросшемся его переломе.

Цель работы — выработать концепцию лечения пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК и ОСЗК в зависимости от способа декомпрессии срединного нерва на основании оценки отдаленных результатов оперативного лечения.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 01.01.2006 по 31.12.2022 г. под нашим наблюдением находилось 33 пациента (30 женщин и трое мужчин) в возрасте от 36 до 71 года (в среднем 54,6 года) с неправильно сросшимися переломами ДМЛК и ОСЗК. Сроки от момента травмы до операции варьировали от 3 до 16 мес. (в среднем — 4,8 мес.).

Характеристика исследования — проспективное, рандомизированное, контролируемое в параллельных группах, многоцентровое. Предмет исследования — ОСЗК, развившийся вследствие неправильно сросшегося перелома ДМЛК. Объект исследования — пациенты, страдающие ОСЗК вследствие неправильного сращения перелома ДМЛК. Критерий включения — наличие у пациента неправильного сращения ДМЛК с клиническими признаками ОСЗК. Критерии исключения — сопутствующий сахарный диабет, выраженный остеопороз, фиксированное смещение запястья.

Первичная конечная точка исследования — оценка эффективности оперативного лечения ОСЗК за счет применения сочетанного хирургического доступа, включающего разрез в нижней трети предплечья для коррекции неправильно сросшегося перелома и остеосинтеза ДМЛК, и мини-разрез на ладонной поверхности запястья для декомпрессии срединного нерва, эпинеуротомии и неврилиза (ОСТР-доступ), с выработкой рекомендаций по дифференцированному оперативному лечению в зависимости от степени тяжести ОСЗК и величины ладонного наклона суставной поверхности лучевой кости.

Вторичные конечные точки исследования — клинические показатели (интенсивность боли при нагрузке, общий объем активных движений в кистевом суставе, силовой захват кисти, повседневная активность), рентгенологические показатели (лучелоктевой угол, ладонный наклон суставной поверхности лучевой кости, лучелоктевой индекс), ЭНМГ-показатели (амплитуда М-ответа короткой мышцы, отводящей большой палец, дистальная латентность моторных волокон срединного нерва, скорость проведения импульса по моторным волокнам срединного нерва, скорость проведения импульса по сенсорным волокнам срединного нерва).

Всех пациентов распределили на две клинические группы. Рандомизацию проводили случайным образом. В первую группу вошли 19 пациентов, которым применили сочетанный доступ: из первого мини-разреза на ладонной поверхности запястья выполнили декомпрессию срединного нерва путем рассечения поперечной связки запястья, эпинеуротомии и неврилиз (ОСТР-доступ), а из второго разреза в нижней трети предплечья выполнили корригирующую остеотомию и остеосинтез ДМЛК. Во вторую группу вошли 14 пациентов, которым применили доступ в виде только одного разреза в нижней трети предплечья, через который произвели корригирующую остеотомию, остеосинтез ДМЛК и декомпрессию срединного нерва (ЕFCR-доступ) без эпинеуротомии и неврилиза.

Клинические группы являлись сопоставимыми по возрасту, типу перелома ДМЛК, степени тяжести ОСЗК, величине ладонного наклона суставной поверхности лучевой кости, срокам выполнения реконструктивной операции (табл. 1).

Таблица 1

Характеристика пациентов групп исследования

Характеристики		Клинические группы				p
		первая (n = 19)		вторая (n = 14)		
		абс.	%	абс.	%	
Возраст	До 50 лет	5	26,3	4	28,6	> 0,05
	51–60 лет	11	57,9	6	42,8	> 0,05
	Более 60 лет	3	15,8	4	28,6	> 0,05
Тип перелома	Тип «А»	10	52,6	7	50,0	> 0,05
	Тип «В»	3	15,8	2	14,3	> 0,05
	Тип «С»	6	31,6	5	35,7	> 0,05
Сроки выполнения реконструктивной операции после травмы	< 6 мес.	14	73,6	9	64,3	> 0,05
	6 < 12 мес.	4	21,0	5	35,7	> 0,05
	≥ 12 мес.	1	5,4	–		> 0,05
Степень тяжести ОСЗК	Легкая	12	63,2	5	35,7	> 0,05
	Средняя	2	10,5	4	28,6	> 0,05
	Тяжелая	5	26,3	5	35,7	> 0,05
Величина ладонного наклона суставной поверхности лучевой кости (РТ)	РТ ≥ (+)11°	1	5,3	4	28,6	> 0,05
	РТ = от (+)10° до (–)10°	7	36,8	4	28,6	> 0,05
	РТ ≤ (–)11°	11	57,9	6	42,8	> 0,05

При определении показаний к операции учитывали, прежде всего, жалобы на боль в кисти, преимущественно в ночное время, чувство онемения I, II и III пальцев кисти, деформацию и боль в запястье при нагрузке, снижение силы кисти, ограничение подвижности в лучезапястном суставе. Кроме этого, принимали во внимание изменения рентгенометрических показателей: дефицит ладонной инклинации суставной поверхности лучевой кости более 20°, значение лучелоктевого угла менее 10°, увеличение лучелоктевого индекса более 2 мм, внутрисуставное смещение более 2 мм. Противопоказаниями к корригирующей остеотомии считали некомпенсированный сахарный диабет, выраженный остеопороз и фиксированное смещение запястья.

Предоперационное планирование проводили на основе рентгенограмм кистевых суставов в стандартных проекциях — переднезадней и сагиттальной. Компьютерную томографию выполняли на КТ-сканерах Toshiba Aquillion 32 и Philips Brilliance 190 P (Нидерланды) в режиме спирального сканирования

при толщине реконструируемого среза 0,5 мм и шаге реконструкции 0,3 мм. Измеряли величину смещения отломков ДМЛК в мм и °, определяли уровень остеотомии, форму и размеры костного дефекта.

Эффективность хирургического лечения оценивали по следующим критериям:

- клинические
 - интенсивность боли при нагрузке по шкале VAS;
 - общий объем активных движений в кистевом суставе TRAM;
 - величина силового захвата кисти GS (англ.: Grip strength);
 - выраженность повседневной активности DASH-score;
- рентгенологические величины:
 - лучелоктевой угол RI (англ.: Radial inclination);
 - ладонный наклон суставной поверхности лучевой кости PT (англ.: Palmar tilt);
 - укорочение лучевой кости относительно локтевой;
 - лучелоктевой индекс UV (англ.: Ulnar variance);
- ЭНМГ-показатели:
 - амплитуда М-ответа короткой мышцы, отводящей большой палец (CMAP, мВ);
 - дистальная латентность моторных волокон срединного нерва (DML, мс);
 - скорость проведения импульса по моторным (MCV, м/с) и сенсорным волокнам срединного нерва (SCV, м/с).

Все указанные показатели изучили перед операцией и через один год после нее.

Степень тяжести ОСЗК определяли по A. Żyluk et al. [25]. На основе величины амплитуды М-ответа короткой мышцы, отводящей большой палец (CMAP), выделили пациентов с легкой (> 4 мВ), умеренной (4–2 мВ) и выраженной (< 2 мВ) степенью ОСЗК.

По величине PT всех пациентов условно разделили на лиц с преимущественно ладонной деформацией ($PT \geq (+)11^\circ$), промежуточной ($PT (+)10^\circ - (-)10^\circ$) и преимущественно тыльной ($PT \leq (-)11^\circ$) ДМЛК.

Для статистического анализа использовали пакет IBM SPSS Statistics (США, лицензия № 5725-A54). Описательные статистики представлены средним и стандартным отклонением ($M \pm SD$). В работе применены дисперсионный анализ Краскела – Уоллиса, критерии Манна – Уитни, парный критерий Вилкоксона.

Хирургическая техника

Операцию производили под общим обезболиванием и регионарным обескровливанием, располагая верхнюю конечность в положении супинации на рентген-прозрачном боковом столике. У пациентов первой группы выполняли открытую декомпрессию срединного нерва, используя ограниченный открытый доступ (OCTR-доступ). Для этого нанесли Z-образный разрез длиной 3,5–4 см на ладонной поверхности запястья. Кожу и клетчатку рассекали на уровне локтевой части запястного канала, а ладонный апоневроз — с его лучевой стороны. Линию разреза поперечной ладонной связки проводили косо от тыльно-лучевой до ладонно-локтевой стороны канала. Мобилизовали срединный нерв и его моторную ветвь, производили эпинеуротомию и невролиз. Ушивали ладонный апоневроз и кожу. После этого, применяя разрез в нижней трети предплечья по его ладонно-лучевой поверхности, как это делали J.L. Orbay et al. [22], выполняли корригирующую остеотомию и остеосинтез ДМЛК (рис. 1).

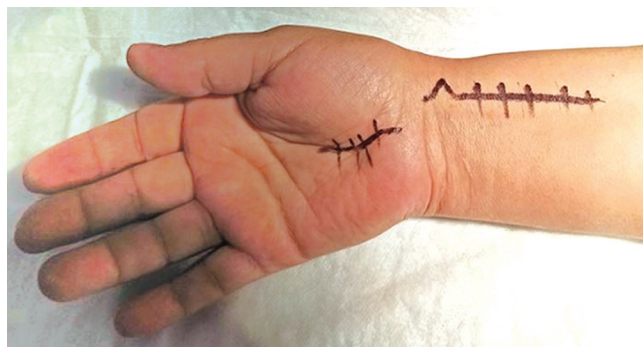


Рис. 1. Планирование разрезов для открытой декомпрессии срединного нерва на запястье и корригирующей остеотомии и остеосинтеза ДМЛК

У пациентов второй группы декомпрессию срединного нерва производили, используя доступ на предплечье, симультанно выполняя корригирующую остеотомию и остеосинтез, как это делали F.W. Gwathmay et al. [21]. Для этого на его ладонно-лучевой поверхности в нижней трети в проекции сухожилия лучевого сгибателя запястья выполняли линейный разрез длиной 7–8 см и в виде Z-образной кривой продлевали его дистально на 7–10 мм (EFCR-доступ) (рис. 2, а). Затем вдоль сухожилия лучевого сгибателя запястья мобилизовали и рассекали поверхностный листок удерживателя сгибателей. Ладон-

ную ветвь лучевой артерии перевязывали и пересекали либо отводили в сторону. Сухожилие лучевого сгибателя запястья отводили радиально, после чего рассекали глубокий листок связки. После локтевого отведения сухожилия длинного сгибателя большого пальца окончательно рассекали поверхностный и глубокий листки поперечной связки запястья от бугорка ладьевидной кости и от кости трапеции (рис. 2, б). Для подхода к лучевой кости мышцу квадратного пронатора отсекали от кости в наружном и дистальном отделах, отводили в локтевую сторону. Z-образно рассекали сухожилие плечелучевой мышцы. При этом становилась доступной деформированная поверхность лучевой кости.

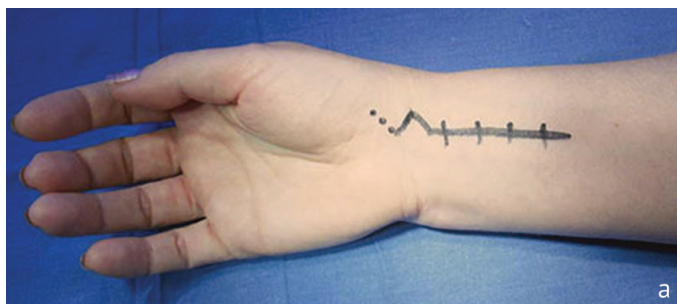
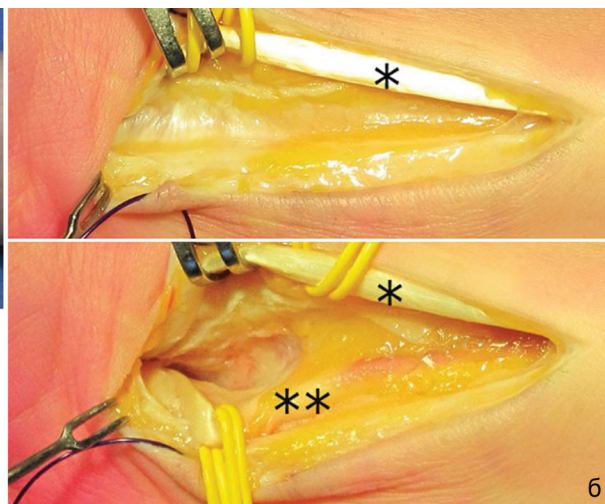


Рис. 2. Планирование ECTR-доступа (а); б — вид операционной раны после рассечения поверхностного листка удерживателя сухожилий, сухожилие лучевого сгибателя запястья отведено в лучевую сторону (*), после рассечения глубокого листка удерживателя, сухожилие длинного сгибателя большого пальца отведено в локтевую сторону (**)



У пациентов с преимущественно тыльным отклонением дистального фрагмента лучевой кости ($n = 17$) наносили дополнительный тыльный мини-разрез величиной до 4 см для полноценной мобилизации и удержания дистального фрагмента лучевой кости [26]. Проксимальную часть удерживателя разгибателей Z-образно рассекали, лоскуты разводили в стороны. Применяя прецизионную хирургическую технику, в периостальной костной мозоли идентифицировали костно-фиброзные каналы разгибателей. Рассекали первый, второй, третий и четвертый каналы, сухожилия разгибателей отводили в стороны. Особое внимание обращали на сохранность сухожилия длинного разгибателя I пальца. В соответствии с предоперационным планированием, под контролем операционного стеноскопа выполняли остеотомию лучевой кости, попеременно используя как ладонный, так и тыльный разрезы. Проводили прямую репозицию костных фрагментов, восстанавливая нормальные анатомические соотношения ДМЛК. Костный дефект заполняли аутокостью или синтетическим остеопластическим материалом на основе β -3 кальций фосфата. Пластины индивидуально подобранный размера располагали на ладонной поверхности лучевой кости так, чтобы она не выступала за дистальный и ладонный края «линии водораздела» ДМЛК. Под контролем операционного стеноскопа устанавливали блокируемые и кортикальные винты (рис. 3). Восстанавливали непрерывность сухожилия плечелучевой мышцы, целостность квадратного пронатора и удерживателя разгибателей. Сухожилие длинного разгибателя большого пальца оставляли в подкожной клетчатке. Раны послойно ушивали, устанавливая активный дренаж.

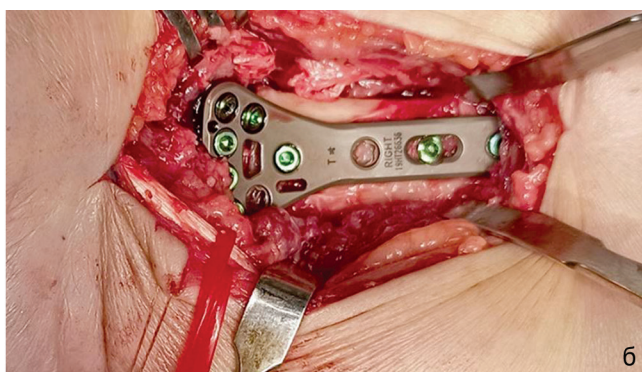
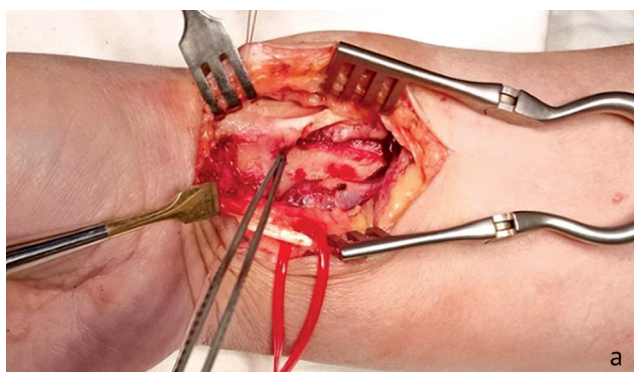


Рис. 3. Вид операционной раны: а — перед корректирующей остеотомией; б — после остеотомии с установленной ладонной пластиной

В течение 2–3 нед. проводили иммобилизацию съемной ладонной гипсовой лонгетой в функциональном положении запястья. В течение последующих четырех недель применяли съемный ортез. Лечебную гимнастику для пальцев кисти начинали со второго послеоперационного дня. Через 5–6 нед.

после операции активно проводили восстановительное лечение. Полную нагрузку разрешали после консолидации костных фрагментов, но не ранее 12 нед. после операции.

Все пациенты подписали информированное согласие, исследование одобрено Комитетом по биоэтике при Самарском государственном медицинском университете (протокол от 03.05.2024 № 285).

РЕЗУЛЬТАТЫ

В ходе проведенного лечения всем пациентам полностью устранили или значительно уменьшили деформацию ДМЛК. При этом сращение костных фрагментов констатировали в среднем на 12 нед.

Кроме этого, существенно улучшились клинические показатели. Так, интенсивность боли при нагрузке (VAS) снизилась на 66 %, общий объем движений в кистевом суставе (TRAM) возрос в среднем на 43 %, а силовой захват кисти (GS) увеличился на 82 %, повседневная активность (DASH-score) улучшилась на 58 % (табл. 2).

Положительный характер имели изменения рентгенологических данных. Величина лучелоктевого угла (RI) возросла на 75 %, ладонная инклинация (PT) улучшилась на 144 %, лучелоктевой индекс (UV) уменьшился на 73 % (табл. 2).

Также положительной динамикой характеризовались изменения показателей ЭНМГ. Прирост амплитуды М-ответа (СМАР) достиг 78 %, убыль дистальной латентности (DML) составила 27 %, скорость моторного ответа (MCV) возросла на 19 %, а скорость сенсорного ответа (SCV) повысилась на 47 % (табл. 2).

Таким образом, в результате проведенного лечения все 11 показателей через один год после операции достоверно улучшились у всех пациентов.

Таблица 2

Клиническая, рентгенологическая и ЭНМГ характеристики пациентов обеих групп, $M \pm m$

Показатели	До операции ($n = 33$)	Через один год после операции ($n = 33$)	p
VAS, баллы	$4,97 \pm 1,66$	$1,68 \pm 0,80$	$< 0,001$
TRAM, %	$57,05 \pm 12,15$	$81,76 \pm 7,46$	$< 0,001$
GS, %	$37,58 \pm 16,52$	$68,45 \pm 16,05$	$< 0,001$
DASH-score, баллы	$41,83 \pm 8,74$	$17,50 \pm 7,22$	$< 0,001$
RI, °	$12,26 \pm 5,15$	$21,50 \pm 4,36$	$< 0,001$
PT, °	$-9,49 \pm 18,58$	$4,19 \pm 5,06$	$< 0,001$
UV, мм	$4,38 \pm 2,34$	$1,20 \pm 1,98$	$< 0,001$
СМАР, мВ	$3,75 \pm 2,37$	$6,66 \pm 2,49$	$< 0,001$
DML, м/с	$5,66 \pm 1,86$	$4,10 \pm 0,73$	$< 0,001$
MCV, м/с	$45,53 \pm 10,08$	$54,28 \pm 6,76$	$< 0,001$
SCV, м/с	$30,19 \pm 15,01$	$44,29 \pm 10,83$	$< 0,001$

Величина этих же показателей в клинических группах до операции была практически одинаковой. Наряду с этим, через один год все показатели в первой группе изменились более весомо, чем во второй группе. Так, силовой захват кисти (GS) у пациентов первой группы возрос до ($74,37 \pm 13,52$) %, а во второй — лишь до ($60,43 \pm 16,15$) %. Повседневная активность (DASH-score) в первой группе достигла ($15,06 \pm 6,38$) балла, а во второй — ($20,82 \pm 7,17$) балла. Амплитуда М-ответа короткой мышцы, отводящей большой палец (СМАР), в первой группе повысилась до ($7,53 \pm 2,08$) мВ, а во второй — только до ($5,48 \pm 2,58$) мВ (табл. 3). Изменения этих критериев носили достоверный характер.

При сравнении всех 11 показателей в зависимости от степени тяжести ОСЗК установлено, что через один год после операции при легкой его степени ($n = 17$) достоверных изменений в группах не произошло. Напротив, при умеренной и выраженной степени ОСЗК ($n = 16$) статистически значимые изменения выявили в величинах нескольких показателей. Так, через один год после операции силовой захват кисти (GS) у пациентов первой группы увеличился до ($70,29 \pm 18,78$) %, а во второй лишь до ($51,89 \pm 10,86$) %. Повседневная активность (DASH-анкета) имела преимущество у пациентов первой группы по сравнению со второй, составив, соответственно, ($15,51 \pm 8,45$) и ($25,00 \pm 4,45$) балла. Амплитуда М-ответа (СМАР) в первой группе достигла ($5,53 \pm 1,98$) мВ, а во второй — лишь ($3,86 \pm 1,11$) мВ. Значение сенсорной скорости (SCV) в первой группе также превышало аналогичный показатель во второй группе, составив, соответственно, ($43,43 \pm 7,39$) м/с и ($32,89 \pm 8,82$) м/с (табл. 4). Изменения этих показателей были достоверными.

Таблица 3

Клиническая, рентгенологическая и ЭНМГ характеристики пациентов через один год после операции, $M \pm m$

Показатели	Первая группа ($n = 19$)	Вторая группа ($n = 14$)	p
VAS, баллы	$1,62 \pm 0,76$	$1,77 \pm 0,86$	0,883
TRAM, %	$82,11 \pm 6,92$	$81,29 \pm 8,38$	0,798
GS, %	$74,37 \pm 13,52$	$60,43 \pm 16,15$	0,010
DASH-score, баллы	$15,06 \pm 6,38$	$20,82 \pm 7,17$	0,038
RI, °	$21,45 \pm 4,66$	$21,57 \pm 4,07$	0,715
PT, °	$4,59 \pm 4,91$	$3,64 \pm 5,39$	0,826
UV, мм	$1,21 \pm 2,39$	$1,18 \pm 1,34$	0,698
CMAP, мВ	$7,53 \pm 2,08$	$5,48 \pm 2,58$	0,023
DML, м/с	$3,91 \pm 0,74$	$4,36 \pm 0,65$	0,065
MCV, м/с	$56,63 \pm 3,56$	$51,11 \pm 8,73$	0,061
SCV, м/с	$46,98 \pm 8,36$	$40,64 \pm 12,93$	0,140

Таблица 4

Клиническая, рентгенологическая и ЭНМГ характеристики пациентов при умеренной и выраженной степени ОСЗК через один год после операции, $M \pm m$

Показатели	Первая группа ($n = 7$)	Вторая группа ($n = 9$)	p
VAS, баллы	$1,80 \pm 1,05$	$1,98 \pm 0,78$	0,957
TRAM, %	$80,71 \pm 8,42$	$78,89 \pm 9,64$	0,671
GS, %	$70,29 \pm 18,78$	$51,89 \pm 10,86$	0,026
DASH-score, баллы	$15,51 \pm 8,45$	$25,00 \pm 4,45$	0,015
RI, °	$23,47 \pm 4,43$	$22,56 \pm 4,33$	0,594
PT, °	$5,00 \pm 4,62$	$5,22 \pm 5,49$	0,789
UV, мм	$0,86 \pm 1,68$	$1,50 \pm 1,17$	0,449
CMAP, мВ	$5,53 \pm 1,98$	$3,86 \pm 1,11$	0,034
DML, мс	$4,24 \pm 0,87$	$4,61 \pm 0,57$	0,395
MCV, м/с	$55,19 \pm 4,65$	$47,89 \pm 9,33$	0,095
SCV, м/с	$43,43 \pm 7,39$	$32,89 \pm 8,82$	0,029

Полученные нами данные свидетельствуют о том, что при легкой степени ОСЗК декомпрессию срединного нерва с его эпинеуротомией и невролизом через ОСТР-доступ осуществлять нецелесообразно. Такой доступ обеспечивает ощутимые результаты лишь при умеренной и выраженной степени ОСЗК. При легкой степени ОСЗК положительный результат может быть достигнут через EFCR-доступ.

Сравнивая изменения показателей между группами в зависимости от степени выраженности деформации ДМЛК констатировали, что при преимущественно ладонной деформации ($n = 5$) достоверных изменений между группами не было. Наряду с этим при промежуточной деформации ($n = 11$) выявили существенное различие в величине нескольких показателей. Так, амплитуда М-ответа в первой группе увеличилась до $(8,80 \pm 1,17)$ мВ, а во второй — лишь до $(4,40 \pm 2,13)$ мВ. Дистальная латентность моторных волокон срединного нерва (DML) в первой группе уменьшилась до $(3,87 \pm 0,39)$ м/с, а во второй — до $(4,53 \pm 0,26)$ м/с. Также улучшилась скорость моторного ответа. В первой группе она возросла до $(57,16 \pm 1,68)$ м/с, а во второй — до $(43,63 \pm 9,59)$ м/с (табл. 5).

Аналогично и при преимущественно тыльной деформации ($n = 17$) достоверное улучшение констатировали по нескольким показателям. Так, общий объем активных движений в кистевом суставе (TRAM) в первой группе возрос до $(29,64 \pm 9,74)$ %, а во второй — лишь до $(14,17 \pm 5,95)$ %. Величина силового захвата кисти (GS) приобрела значения, соответственно, $(37,60 \pm 10,96)$ % и $(18,47 \pm 6,91)$ %. Повседневная активность (DASH-анкета) также улучшилась, составив в первой группе $(18,27 \pm 4,44)$ балла и во второй — $(29,67 \pm 7,26)$ балла (табл. 5).

Приведенные выше данные свидетельствуют о том, что у пациентов с преимущественно ладонной деформацией ДМЛК декомпрессию срединного нерва с его эпинеуротомией и невролизом через ОСТР-доступ осуществлять нецелесообразно. Им вполне достаточно произвести декомпрессию через EFCR-доступ без эпинеуротомии и невролиза.

Таблица 5

Клиническая, рентгенологическая и ЭНМГ характеристики пациентов при «промежуточной» и «преимущественно тыльной деформации» ДМЛК через один год после операции, $M \pm m$

Показатели	Первая группа ($n = 7$)	Вторая группа ($n = 4$)	p
Промежуточная деформация, РТ от $(+)$ 10° до $(-)$ 10°			
VAS, баллы	$1,50 \pm 0,76$	$1,53 \pm 0,68$	0,846
TRAM, %	$85,57 \pm 5,94$	$84,25 \pm 11,44$	0,568
GS, %	$75,57 \pm 10,45$	$59,50 \pm 14,82$	0,071
DASH-score, баллы	$12,67 \pm 5,06$	$19,63 \pm 7,27$	0,131
RI, °	$19,91 \pm 5,80$	$20,75 \pm 6,75$	0,635
PT, °	$4,46 \pm 3,14$	$6,25 \pm 3,20$	0,340
UV, мм	$0,36 \pm 1,60$	$1,00 \pm 0,82$	0,625
CMAP, мV	$8,80 \pm 1,17$	$4,40 \pm 2,13$	0,013
DML, м/с	$3,87 \pm 0,39$	$4,53 \pm 0,26$	0,007
MCV, м/с	$57,16 \pm 1,68$	$43,63 \pm 9,59$	0,008
SCV, м/с	$45,97 \pm 5,96$	$37,00 \pm 14,54$	0,129
Преимущественно тыльная деформация, РТ $\leq (-)$ 11°			
Показатели	Первая группа ($n = 11$)	Вторая группа ($n = 6$)	p
VAS, баллы	$1,69 \pm 0,83$	$1,95 \pm 1,15$	0,575
TRAM, %	$29,64 \pm 9,74$	$14,17 \pm 5,95$	0,006
GS, %	$37,60 \pm 10,96$	$18,47 \pm 6,91$	0,004
DASH-score, баллы	$18,27 \pm 4,44$	$29,67 \pm 7,26$	0,007
RI, °	$22,24 \pm 4,03$	$21,00 \pm 1,55$	0,225
PT, °	$4,18 \pm 5,86$	$-0,17 \pm 4,62$	0,189
UV, мм	$1,68 \pm 2,81$	$1,58 \pm 0,97$	0,612
CMAP, мV	$6,59 \pm 2,15$	$5,93 \pm 2,91$	0,763
DML, м/с	$3,98 \pm 0,93$	$4,40 \pm 0,65$	0,391
MCV, м/с	$56,71 \pm 4,34$	$52,83 \pm 8,40$	0,410
SCV, м/с	$46,45 \pm 9,30$	$41,67 \pm 16,48$	0,650

Осложнения. У двух пациентов первой группы через 2 и 3 мес. после операции сформировался плотный и болезненный послеоперационный рубец, у троих появилась боль в области гипотенара и те-нара (англ.: pillar pain). Эти симптомы в процессе послеоперационного лечения исчезли и к моменту осмотра через один год не беспокоили. У одной пациентки из второй группы возникла преходящая ирритация поверхностной ветки срединного нерва. Нагноения операционных ран, миграции винтов не наблюдали. Повторных операций не было.

Клинический пример. Пациентка Х., 58 лет, поступила через 2 мес. после травмы с диагнозом: неправильно сросшийся перелом ДМЛК справа (по классификации АО/ASIF тип А 3.2), ОСЗК. При поступлении жаловалась на деформацию запястья, боль и ограничение подвижности в правом запястье, снижение чувствительности в I–II–III пальцах кисти, снижение силы кисти. Объективно: общий объем активных движений в правом кистевом суставе в сравнении с контралатеральной конечностью составил 64 %, а сила грубого захвата кисти — 35 %. Интенсивность боли (VAS) при нагрузке достигала 4,7 балла. На рентгенограммах обращает на себя внимание угловое ладонное смещение кортикальной пластинки дистального фрагмента лучевой кисти, уменьшение лучелоктевого угла до $12,3^\circ$, увеличение тыльного наклона суставной поверхности лучевой кости в сагиттальной плоскости до $(-)$ 4° и укорочение лучевой кости до 4 мм (рис. 4). При ЭНМГ верхних конечностей выявили снижение М-ответа срединного нерва на правом запястье (АРВ-СМАР), а также снижение скорости проведения импульса по сенсорным во-

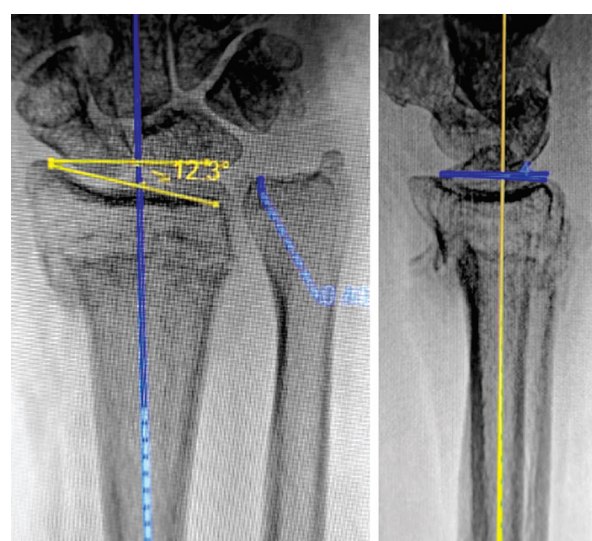
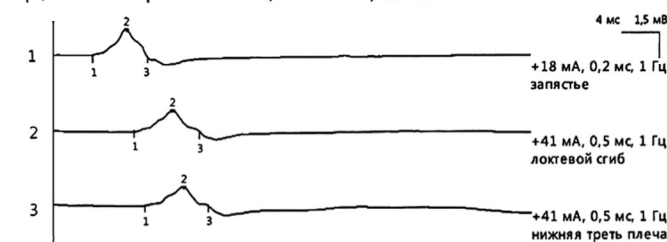


Рис. 4. Рентгенограммы правого кистевого сустава до операции: уменьшение лучелоктевого угла, ладонной инклинации и увеличение лучелоктевого индекса

локнам срединного нерва (SCV) (рис. 5). В соответствии с классификацией A. Żyluk et al. [25] диагностировали выраженную степень тяжести ОСЗК. Функция правой верхней конечности по DASH-score составила 45,8 балла (неудовлетворительно).

СРВ моторная

пр., Abductor pollicis brevis, Medianus, C8 T1

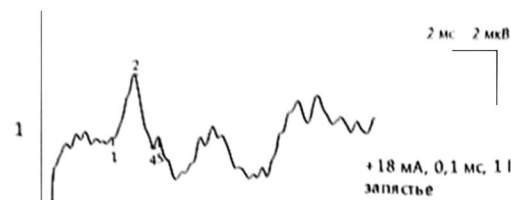


Параметры М-ответа (амплитуда: негативный пик)

N	Точка стимуляции	Расст., мм	Лат., мс	Ампл., мВ	Норма ампл., мВ	Откл. ампл., мВ	Длит., мс	Скор., м/с
---	------------------	------------	----------	-----------	-----------------	-----------------	-----------	------------

пр., Abductor pollicis brevis, Medianus, C8 T1

1	запястье	70	4,4	1,0	7,0	-85,5	5,5	
2	локтевой сгиб	235	8,6	0,8	7,0	-88,3	6,8	56,9
3	нижняя треть плеча	65	9,6	0,7	7,0	-89,4	6,5	61,4



Потенциал действия нерва (амплитуда: негативный пик)

N	Точка стимуляции (отведения)	Расст., мм	Лат., мс	Норма лат., мс	Откл. лат., %	Ампл., мкВ
---	------------------------------	------------	----------	----------------	---------------	------------

пр., п. Medianus

1	запястье	140	3,3	2,8	(N)	2,6
---	----------	-----	-----	-----	-----	-----

СРВ сенсорная

N	Название сегмента	Расст., мм	Время, мс	Скор., м/с	Норма скор., м/с	Откл. скор., %	Приращ. скор., %
---	-------------------	------------	-----------	------------	------------------	----------------	------------------

1	запястье	140	3,3	42,4	60,0	-29,3	
---	----------	-----	-----	------	------	-------	--

Рис. 5. Показатели ЭНМГ до операции: а — снижение М-ответа срединного нерва на правом запястье (APB-СМАР); б — снижение скорости проведения импульса по сенсорным волокнам срединного нерва на правом запястье (SCV)

В плановом порядке из отдельного ограниченного доступа на ладонной поверхности правого запястья выполнили открытую декомпрессию срединного нерва с эпиневротомией и наружным невролизом (рис. 6, а). После этого из ладонного доступа на предплечье выполнили внесуставную открытоугольную корригирующую остеотомию и остеосинтез ДМЛК (рис. 6, б). Результаты остеотомии и остеосинтеза ДМЛК: деформация устранена, костные фрагменты фиксированы в удовлетворительном положении (рис. 7).



Рис. 6. Вид правого предплечья и кисти на операционном столе: а — разметка операционного доступа; б — вид раны ладонной поверхности запястья после открытой декомпрессии срединного нерва и доступа к дистальному отделу лучевой кости для выполнения остеотомии и остеосинтеза

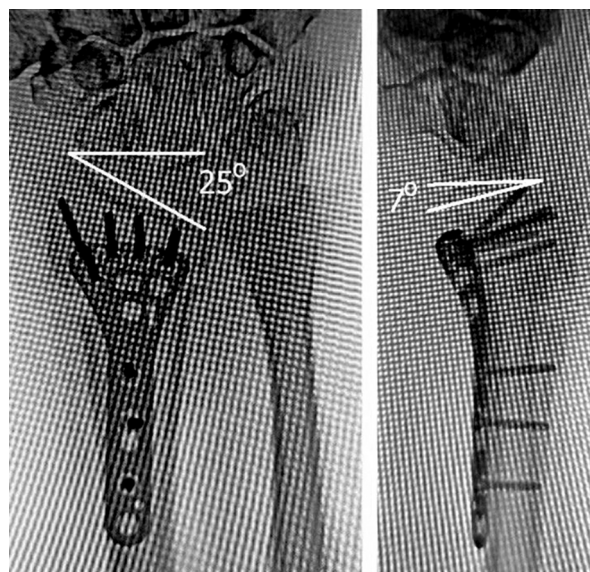


Рис. 7. Рентгенограммы области правого кистевого сустава после операции: восстановлены правильные соотношения суставных поверхностей и длины костей предплечья

Пациентку обследовали через один год. Результатом операции удовлетворена, жалуется на периодические ноющие боли в кистевом суставе только после тяжелой нагрузки (VAS — 2,8 балла). ДМЛК не деформирован (рис. 8), общий объем активных движений в правом кистевом суставе в сравнении с контралатеральной конечностью 91 % (рис. 9), сила грубого захвата кисти — 84 % (рис. 10). На ЭНМГ отмечено восстановление М-ответа, скорости проведения по моторным и сенсорным волокнам, нормализация дистальной латентности (рис. 11). Показатели повседневной активности (DASH-score) составили 7,5 баллов, что соответствовало отличному результату.

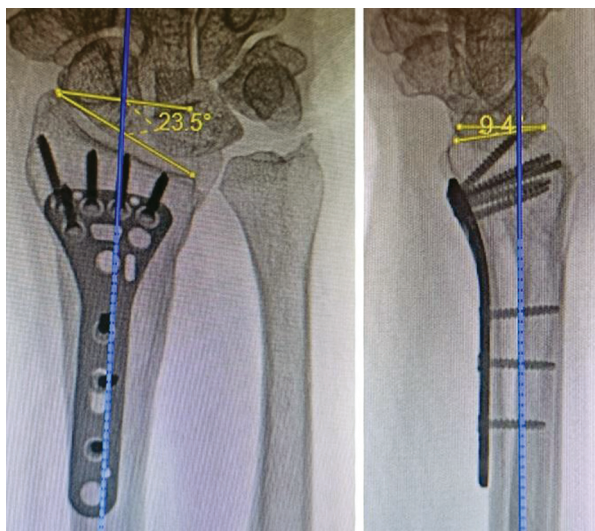


Рис. 8. Рентгенограммы ДМЛК через один год после операции



Рис. 9. Объем активных движений в кистевом суставе через один год после операции: а — локтевая и лучевая девиация кисти; б — сгибание и разгибание кисти



Рис. 10. Объем активных движений в кистевом суставе через один год после операции: а — пронация и супинация предплечий; б — измерение силы грубого захвата кистей

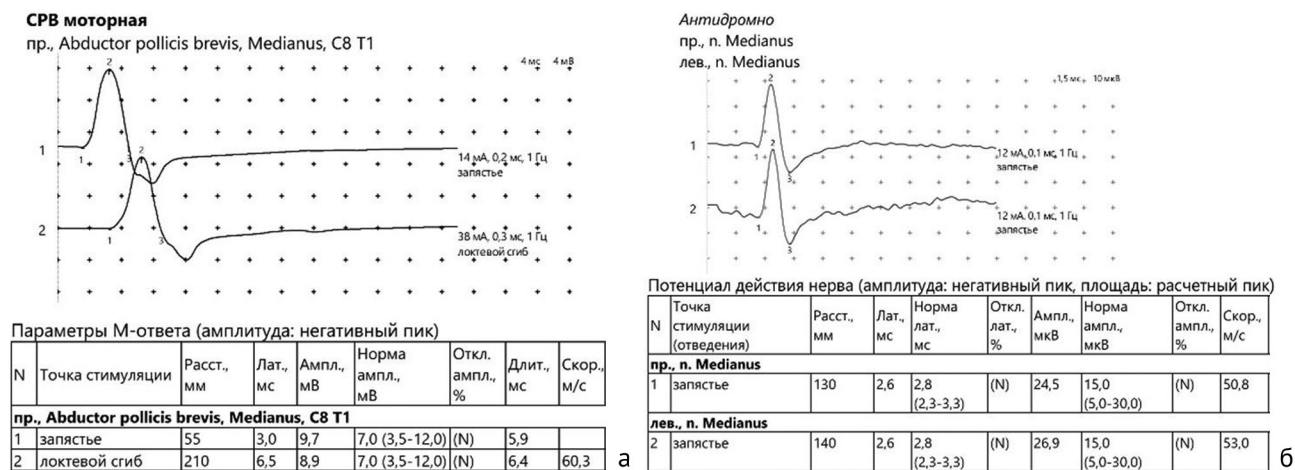


Рис. 11. Показатели ЭНМГ через один год после операции: а — нормализация М-ответа и скорости проведения импульса по моторным волокнам срединного нерва на правом запястье; б — улучшение скорости проведения импульса по сенсорным волокнам срединного нерва

ОБСУЖДЕНИЕ

Утверждение большинства специалистов по хирургии кисти о том, что неправильное сращение переломов ДМЛК способствует развитию ОСЗК и что устранить или уменьшить проявления этого осложнения можно только оперативным путем, не вызывает сомнения. Однако вопрос о предпочтительных доступах для корригирующей остеотомии и декомпрессии срединного нерва не имеет однозначного ответа.

Так, K. Watanabe et al. убедительно доказали, что при переломах ДМЛК смещение дистального отломка совместно с запястьем существенно изменяет анатомические взаимоотношения структур запястного канала, тем самым, вызывая морфологические и функциональные нарушения в срединном нерве. По данным авторов, в случаях тыльного смещения центра головки головчатой кости на 1 см и более от ладонной кортикальной пластинки лучевой кости ОСЗК развивался практически всегда в сроки от 6 нед. до 6 мес. В связи с этим авторы рекомендовали обращать на этих пациентов особое внимание еще в остром периоде травмы, предпринимая адекватные меры по его профилактике [16].

K.H. Kim et al. обследовали 216 пожилых пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК и диагностировали ОСЗК только у 12 % человек, как минимум, через 6 нед. после перелома. Независимыми предикторами этого осложнения явились рентгенологические критерии величины ладонной инклинации VT (англ.: volar tilt) и угла слезы TDA (англ.: tear drop angle). При проведении многомерного логистического регрессионного анализа авторы установили, что на каждый градус уменьшенного угла ладонной инклинации и угла слезы вероятность развития ОСЗК возрастала соответственно на 12 и 24 % [27]. Среди наших пациентов величина угла ладонной инклинации варьировала от (+)28° до (-)45°. При этом у всех имелись и клинические, и ЭНМГ-признаки ОСЗК.

P.R. Bourque et al. установили, что при снятии гипсовой повязки через 6–8 нед. после травмы парестезия в области иннервации срединным нервом имела место у 20 %, а спустя еще одну неделю — у 26 % пациентов. Однако при ЭНМГ, выполненной в эти же сроки, ни у кого не было признаков очаговой демиелинизации срединного нерва или «потери аксонов» [28].

Среди наших 33 пациентов нарушения нервной проводимости при ЭНМГ, выполненной при поступлении на оперативное лечение, регистрировали у всех. У 10 человек (30,3 %) ЭНМГ-изменения соответствовали тяжелой степени, у 6 (18,2 %) — умеренной, у остальных 17 человек (51,5 %) — легкой степени ОСЗК.

H.D. Stewart et al. установили, что при консервативном лечении 235 пациентов с переломами ДМЛК, имевших возраст в среднем 66 лет, частота ОСЗК через 3 мес. после травмы составила 17 %, а через 6 мес. — 12 %. Относительно небольшую частоту ОСЗК авторы объяснили недопущением чрезмерного сгибания кисти при наложении иммобилизирующей гипсовой повязки в остром периоде травмы. Вследствие развившегося ОСЗК 8 пациентам (3,4 %) потребовалось оперативное лечение. Всем им выполнили стандартную, с разрезом на уровне запястного канала ($n = 7$), и расширенную, с еще одним разрезом на уровне перелома ($n = 1$), декомпрессию срединного нерва. Угол наклона суставной поверхности ДМЛК у них составил $\geq (+)12,6^\circ$. Вместе с этим, у пациентов с углом наклона $\leq (+)7^\circ$ симптомов ОСЗК не было [11]. Данное исследование наглядно показало, что при неправильно сросшихся переломах ДМЛК ОСЗК развивается далеко не у всех пациентов.

По мнению O. Kwasny et al., при неправильно сросшемся переломе ДМЛК, осложненном ОСЗК, для устранения натяжения и сдавления срединного нерва достаточно выполнить изолированную открытоугольную остеотомию и остеосинтез, без сопутствующей декомпрессии срединного нерва. После такой операции у 12 пациентов в течение 2 сут. прекратились ночные боли, и в течение 2 мес.

восстановилась тактильная и болевая чувствительность на пальцах. Одному потребовалась дополнительная операция — открытая декомпрессия срединного нерва, которую выполнили через 6 мес. после первой. Следует отметить, что у всех пациентов диагностировали выраженную «преимущественно тыльную деформацию» суставной поверхности лучевой кости в сагиттальной плоскости величиной от (-17°) до (-47°) . Авторы констатировали прямо пропорциональную зависимость между продолжительностью клинической картины ОСЗК от момента его возникновения до операции и посредственными клиническими результатами восстановления функции срединного нерва [18].

K. Megerle et al. у 30 пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК, сопровождающимся ОСЗК, выполнили только корригирующую остеотомию с остеосинтезом ДМЛК, без дополнительного вмешательства по декомпрессии срединного нерва. Из них клинические проявления ОСЗК до операции были у 7 человек (23,3 %), а ЭНМГ-нарушения — у 19 (63,3 %). В отдаленном периоде купирование боли и улучшение чувствительности в пальцах кисти зарегистрировали у 10 человек (33,3 %). ЭНМГ-признаки улучшения выявили у 6 (20,0 %), а ЭНМГ-признаки нормализации нервной проводимости — у 4 человек (13,3 %). Авторы пришли к выводу, что корригирующая остеотомия является самодостаточным лечебным мероприятием, эффективно купирующим признаки ОСЗК, а декомпрессия срединного нерва в области запястного канала показана лишь в случаях возникновения СЗК до травмы, связанного с другими причинами, но не с переломом ДМЛК [19]. В нашем исследовании пациентов с ОСЗК, возникшем до перелома ДМЛК, не было. У всех данное осложнение развилось в отдаленном периоде, а реконструктивные хирургические вмешательства выполнили в сроки 3–13 мес. после травмы.

Мы полагаем, что при наличии клинических данных, свидетельствующих об ОСЗК, декомпрессия срединного нерва, наряду с корригирующей остеотомией лучевой кости, является показанным и даже обязательным оперативным вмешательством, независимо от степени тяжести ОСЗК. Более того, хроническое сдавление срединного нерва, на наш взгляд, требует не только устранения деформации ДМЛК и декомпрессии нерва, но и его мобилизации, а при умеренной и выраженной степени ОСЗК — эпинеуротомии и невролиза. В настоящем исследовании мы отметили значимое улучшение клинических, рентгенологических и ЭНМГ-характеристик у пациентов обеих клинических групп, но в большей степени у пациентов первой группы, которым дополнительно выполнили эпинеуротомию и невролиз из отдельного ограниченного доступа на ладонной поверхности запястья (ОСТР-доступ).

O. Odumala et al. при оперативном лечении 69 пациентов с переломами ДМЛК без сопутствующих клинических проявлений ОСЗК установили, что при одновременной профилактической декомпрессии срединного нерва осложнения в виде его дисфункции развились у 38 % пациентов. В то же время, у пациентов, которым профилактическую декомпрессию не выполнили, частота таких осложнений была практически в два раза меньше, составив 18 %. В итоге, авторы констатировали нецелесообразность превентивной декомпрессии срединного нерва [29].

G.E. Niver et al. также считают, что профилактическое высвобождение запястного канала во время фиксации перелома является нецелесообразным. Исключение составляют пациенты, у которых до момента перелома уже имелись признаки СЗК, не связанные с травмой. Если декомпрессия срединного нерва все же необходима, то ее следует выполнять через разрез вдоль сухожилия лучевого сгибателя запястья или через отдельный разрез [30].

В нашем исследовании у пациентов первой группы для декомпрессии срединного нерва мы применили отдельный, в виде Z-образной кривой, разрез общей длиной до 4 см. При изучении доступной литературы по проблеме ОСЗК подобного описания мы не нашли. По сути — это вариант ОСТР-доступа. Для нас важным оказалось то, что он позволил эффективно производить не только декомпрессию, но и эпинеуротомию и невролиз, практически исключая конфликт с моторной и ладонной чувствительной ветвями срединного нерва.

R.A. Weber et al. для декомпрессии срединного нерва применили доступ через сухожилие лучевого сгибателя запястья (вариант EFCR-доступа), позволивший им в достаточной степени, без вспомогательного разреза, визуализировать запястный канал, существенно уменьшить интенсивность послеоперационной боли и практически нивелировать частоту послеоперационных осложнений. Авторы утверждают, что в плане купирования симптомов ОСЗК их способ оказался эффективным в 91 % клинических наблюдений [20].

Наряду с этим, критики данного доступа полагают, что наиболее частым его осложнением является повреждение моторной ветви срединного нерва. В этом плане R. Pensy et al. провели кадаверное исследование и выяснили, что возвратная моторная ветвь срединного нерва проходит чаще всего на 11 мм ниже дистального края поперечной связки запястья. По мнению авторов, учет этого параметра обеспечит безопасное рассечение связки, минимизируя вероятность ятрогенного повреждения моторной ветви срединного нерва [31].

F.W. Gwathmey et al. выполнили в остром периоде травмы остеосинтез ДМЛК и одновременно произвели профилактическую декомпрессию срединного нерва 65 больным (средний возраст — 48 лет). Для этого авторы использовали доступ, позволивший им осуществить из одного кожного разреза и остеосинтез, и рассечение поперечной связки запястья по лучевой стороне, т.е. профилактическую декомпрессию (вариант EFCR-доступа). По их утверждению, такой подход не предусматривал удли-

нение кожного разреза с переходом на запястье. При этом он позволял избежать прямого контакта со срединным нервом. У всех пациентов до операции не было признаков СЗК. В послеоперационном периоде у двоих развилась поздняя нейропатия срединного нерва, не потребовавшая хирургической коррекции. Но ни у кого не возникло осложнений, связанных с повреждением сенсорных или двигательных ветвей срединного нерва, а также повреждением сухожилий [21].

S.C. Tannan et al. в рамках проспективного исследования выполнили остеосинтез ладонными пластинами 27 пациентам со свежими переломами ДМЛК, не имевшими признаков острого СЗК. Для этого у 15 человек применили EFCR-доступ (первая группа), с одновременной профилактической декомпрессией срединного нерва, и у 12 человек — традиционный доступ Henry (VN) по передней поверхности предплечья, предусматривающий выполнение только остеосинтеза ДМЛК (вторая группа). В обеих группах отметили значительное улучшение функции верхней конечности и увеличение силы захвата кисти. Однако в первой группе статистически значимое улучшение было достигнуто через 1,5 мес., а во второй — через 3 мес. после операции. Авторы пришли к выводу о целесообразности симультанного выполнения остеосинтеза и профилактической декомпрессии срединного нерва с предпочтительным использованием EFCR-доступа [23].

Результаты нашего исследования свидетельствуют о том, что EFCR-доступ следует рекомендовать пациентам с легкой степенью ОСЗК и с преимущественно ладонной деформацией ДМЛК, когда нет потребности в мобилизации нерва, эпинеуротомии и невролизе. У пациентов с умеренной и выраженной степенью ОСЗК, а также при промежуточной и преимущественно тыльной деформации ДМЛК наиболее целесообразным является OSTR-доступ. Соответствующий ограниченный разрез на ладонной поверхности запястья позволяет минимально травматично и одновременно максимально эффективно выполнить декомпрессию, эпинеуротомию и невролиз, не допустить формирование линейного стягивающего рубца в области ладонной складки запястья, а также минимизировать риск повреждения поверхностной ладонной ветви срединного нерва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Корригирующая остеотомия и симультанная декомпрессия срединного нерва у пациентов с неправильно сросшимся переломом ДМЛК и сформировавшимся вследствие этого ОСЗК является эффективным и надежным способом хирургической коррекции возникшего осложнения.

При легкой степени тяжести ОСЗК, а также при преимущественно ладонной деформации ДМЛК декомпрессию срединного нерва целесообразно проводить через EFCR-доступ, предполагающий выполнение разреза в нижней трети предплечья.

При умеренной и выраженной степенях ОСЗК, а также при промежуточной и преимущественно тыльной деформации ДМЛК декомпрессию срединного нерва следует осуществлять через OSTR-доступ, предусматривающий применение отдельного ограниченного разреза на ладонной поверхности запястья.

Корригирующую остеотомию и остеосинтез ДМЛК у большинства пациентов, независимо от выраженности ОСЗК, наиболее оптимально выполнять через разрез в нижней трети предплечья по передней его поверхности. Но у пациентов с преимущественно тыльной деформацией целесообразно прибегать к дополнительному мини-разрезу на тыльной поверхности предплечья, дающему возможность максимально корректно сопоставить и укрепить костные фрагменты.

Конфликт интересов. Авторы данной статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование проведено за счет личных средств авторов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Cognet JM, Mares O. Distal radius malunion in adults. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2021;107(1S):102755. doi: 10.1016/j.otsr.2020.102755
2. Dyer G, Lozano-Calderon S, Gannon C, et al. Predictors of acute carpal tunnel syndrome associated with fracture of the distal radius. *J Hand Surg.* 2008;33(8):1309-1313. doi: 10.1016/j.jhsa.2008.04.012
3. Itsubo T, Hayashi M, Uchiyama S, et al. Differential onset patterns and causes of carpal tunnel syndrome after distal radius fracture: a retrospective study of 105 wrists. *J Orthop Sci.* 2010;15(4):518-523. doi: 10.1007/s00776-010-1496-7
4. Aro H, Koivunen T, Katevuo K et al. Late compression neuropathies after Colles' fractures. *Clin Orthop Relat Res.* 1988;(233):217-225
5. Jupiter JB, Fernandez DL, Toh CL, et al. Operative treatment of volar intra-articular fractures of the distal end of the radius. *J Bone Joint Surg.* 1996;78(12):1817-1828. doi: 10.2106/00004623-199612000-00004
6. Young BT, Rayan GM. Outcome following nonoperative treatment of displaced distal radius fractures in low-demand patients older than 60 years. *J Hand Surg Am.* 2000;25(1):19-28. doi: 10.1053/jhsu.2000.jhsu025a0019
7. Bienek T, Kusz D, Cielinski L. Peripheral nerve compression neuropathy after fractures of the distal radius. *J Hand Surg.* 2006;31(3):256-260. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.09.021
8. Finsen V, Rod O, Rød K, et al. The relationship between displacement and clinical outcome after distal radius (Colles') fracture. *J Hand Surg Eur Vol.* 2013;38(2):116-126. doi: 10.1177/1753193412445144
9. Голубев И.О., Крупаткин А.И., Максимов А.А. и др. Хирургическое лечение неправильно сросшихся переломов дистального метаэпифиза лучевой кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2013;20(3):51-58. doi: 10.17816/vto201320351-58

10. Pope D, Tang P. Carpal tunnel syndrome and distal radius fractures. *Hand Clin.* 2018;34(1):27-32. doi: 10.1016/j.hcl.2017.09.003
11. Stewart HD, Innes AR, Burke FD. The hand complications of Colles' fractures. *J Hand Surg Br.* 1985;10(1):103-106. doi: 10.1016/s0266-7681(85)80032-2
12. Lynch AC, Lipscomb PR. The carpal tunnel syndrome and Colles' fractures. *JAMA.* 1963;185:363-366. doi: 10.1001/jama.1963.03060050041018
13. Cooney WP 3rd, Dobyns JH, Linscheid RL. Complications of Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(4):613-619.
14. Kamath J, Jayasheelan N, Mathews R. Compressive neuropathy of the palmar cutaneous branch of the median nerve after a malunited fracture of the distal radius. *J Hand Surg Eur.* 2016;41(2):231-232. doi: 10.1177/1753193415572800
15. Stark WA. Neural involvement in fractures of the distal radius. *Orthopedics.* 1987;10(2):333-335. doi: 10.3928/0147-7447-19870201-14
16. Watanabe K, Ota H. Carpal malalignment as a predictor of delayed carpal tunnel syndrome after Colles' fracture. *Plast Reconstr Surg Glob Open.* 2019;7(3):e2165. doi: 10.1097/GOX.0000000000002165
17. Rothman A, Samineni AV, Sing DC et al. Carpal tunnel release performed during distal radius fracture surgery. *J Wrist Surg.* 2022;12(3):211-217. doi: 10.1055/s-0042-1756501
18. Kwasny O, Fuchs M, Schabus R. Opening wedge osteotomy for malunion of the distal radius with neuropathy. Thirteen cases followed for 6 (1–11) years. *Acta Orthop Scand.* 1994;65(2):207-208. doi: 10.3109/17453679408995436
19. Megerle K, Baumgarten A, Schmitt R et al. Median neuropathy in malunited fractures of the distal radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(9):1321-1327. doi: 10.1007/s00402-013-1803-9
20. Weber RA, Sanders WE. Flexor carpi radialis approach for carpal tunnel release. *J Hand Surg.* 1997;22(1):120-126. doi: 10.1016/S0363-5023(05)80191-1
21. Gwathmey FW Jr, Brunton LM, Pensy RA et al. Volar plate osteosynthesis of distal radius fractures with concurrent prophylactic carpal tunnel release using a hybrid flexor carpi radialis approach. *J Hand Surg Am.* 2010;35(7):1082-1088. e4. doi: 10.1016/j.jhsa.2010.03.043
22. Orbay JL, Badia A, Indriago IR et al. The extended flexor carpi radialis approach: a new perspective for the distal radius fracture. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2001;5(4):204-11. doi: 10.1097/00130911-200112000-00004
23. Tannan SC, Pappou IP, Gwathmey FW et al. The extended flexor carpi radialis approach for concurrent carpal tunnel release and volar plate osteosynthesis for distal radius fracture. *J Hand Surg Am.* 2015;40(10):2026-2031.e1. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.07.001
24. Tulipan JE, Ilyas AM. Carpal tunnel syndrome surgery: what you should know. *Plast Reconstr Surg Global Open.* 2020;8(3):e2692. doi: 10.1097/GOX.0000000000002692
25. Żyluk A, Walaszek I, Szlosser Z. No correlation between sonographic and electrophysiological parameters in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg.* 2014;39(2):161-166. doi: 10.1177/1753193413489046
26. Измалков С.Н., Семенкин О.М. Способ хирургического лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости. Патент РФ на изобретение № 2312631. 20.12.07. Бюл. № 35. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPAT&rn=5901&DocNumber=2312631&TypeFile=html. Ссылка активна на 15.07.2024.
27. Kim KH, Duell B, Munnangi S, et al. Radiographic predictors of delayed carpal tunnel syndrome after distal radius fracture in the elderly. *Hand (N Y).* 2022;17(4):652-658. doi: 10.1177/1558944720963876
28. Bourque PR, Brooks J, Mobach T, et al. Systematic prospective electrophysiological studies of the median nerve after simple distal radius fracture. *PLoS One.* 2020;15(4):e0231502. doi: 10.1371/journal.pone.0231502
29. Odumala O, Ayekoloye C, Packer G. Prophylactic carpal tunnel decompression during buttress plating of the distal radius—is it justified? *Injury.* 2001;32(7):577-579. doi: 10.1016/s0020-1383(00)00198-4
30. Niver GE, Ilyas AM. Carpal tunnel syndrome after distal radius fracture. *Orthop Clin North Am.* 2012;43(4):521-527. doi: 10.1016/j.ocl.2012.07.021
31. Pensy R, Brunton LM, Parks BG, et al. Single incision extensile volar approach to the distal radius and concurrent carpal tunnel release: cadaveric study. *J Hand Surg Am.* 2010;35(2):217-222. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.11.011

Статья поступила 28.06.2024; одобрена после рецензирования 08.07.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 28.06.2024; approved after reviewing 08.07.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Олег Михайлович Семенкин — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, <https://orcid.org/0000-0002-4461-9994>;

Сергей Николаевич Измалков — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, <https://orcid.org/0000-0002-0108-597X>;

Александр Николаевич Братийчук — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, brat59@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3953-968X>;

Алексей Константинович Усов — заведующий отделением, ассистент кафедры, <https://orcid.org/0000-0002-4510-0959>.

Information about the authors:

Oleg M. Semenkin — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, <https://orcid.org/0000-0002-4461-9994>;

Sergey N. Izmalkov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, <https://orcid.org/0000-0002-0108-597X>;

Alexander N. Bratiichuk — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, brat59@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3953-968X>;

Alexey K. Usov — Head of Department, Assistant Department, <https://orcid.org/0000-0002-4510-0959>.

Научная статья

УДК 616.717.5/.6-001.5-089.227.84-053.2

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-788-796>



Результаты интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах костей предплечья у детей в зависимости от срока их возникновения

А.А. Косимов^{1,2✉}, И.Ю. Ходжанов^{1,2}

¹ Республиканский специализированный научно-практический медицинский центр травматологии и ортопедии, Ташкент, Узбекистан

² Ташкентская медицинская академия, Ташкент, Узбекистан

Автор, ответственный за переписку: Аъзам Азимович Косимов, azamrefracture@mail.ru

Аннотация

Введение. Тактические и технические ошибки в лечении детей с переломами костей предплечья приводят к возникновению различных осложнений, одним из которых является повторный перелом. Остается много вопросов как по диагностике (состояние остеорепаляции в момент возникновения повторного перелома), так и по хирургическому лечению данной категории пациентов.

Цель работы — сравнение результатов применения интрамедуллярного остеосинтеза у детей с повторными переломами костей предплечья при разных сроках их возникновения в периоде остеорепаляции.

Материалы и методы. Под наблюдением авторов в период 2010–2020 гг. находилось 48 детей с повторными переломами костей предплечья, оперированных в клинике. Пациенты распределены на две группы: в группе 1 ($n = 25$) интрамедуллярный остеосинтез проводили без учета регенераторного процесса и времени возникновения рефрактуры относительно первого перелома; в группе 2 ($n = 23$) повторный перелом возникал в ранней стадии остеорегенерации (в пределах 6 мес.) на фоне образования костных мозолей. В группе 1 повторный перелом встретился у 19 (76,0 %) детей, в т.ч. у шести детей (24 %) два и более раз. В группе 2 повторный перелом наблюдали в 16 (69,6 %) случаях, в т.ч. в семи случаях (30,4 %) переломов было более двух.

Результаты. Учет сроков возникновения повторных переломов, соблюдение сроков иммобилизации у детей с повторными переломами, поэтапное снятие фиксирующих элементов улучшает ближайшие и отдалённые результаты хирургического лечения, являясь также профилактикой осложнений. Это подтверждено результатами 22 (95,6 %) детей 2 группы, у которых хорошие результаты получены в срок до 6 мес.

Обсуждение. В ранней стадии повторного перелома (до 6 мес. от первичного) мозоли богаты сосудами, что обуславливает нормальный процесс регенерации при переломах, возникающих в этот период. В поздней стадии первичного перелома (после 6 мес.) сосуды в мозоли отсутствуют вследствие рассасывания пучков, на данном этапе в образовавшихся переломах процесс заживления нарушен.

Заключение. Результат повторного заживления зависит от стадии костной регенерации в момент возникновения рефрактуры предплечья. В ранней стадии повторного перелома процесс регенерации происходит более успешно.

Ключевые слова: повторный перелом, рефрактура, предплечье, хирургическое лечение, интрамедуллярный остеосинтез, дети

Для цитирования: Косимов А.А., Ходжанов И.Ю. Результаты интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах костей предплечья у детей в зависимости от срока их возникновения. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):788–796. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-788-796. EDN: YVUMSH.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-788-796>

Intramedullary osteosynthesis for pediatric forearm re-fractures depending on the time of occurrence

A.A. Kosimov^{1,2✉}, I.Yu. Hodzhanov^{1,2}

¹ The Republican Specialized Scientific and Practical Medical Center of Traumatology and Orthopedics, Tashkent, Uzbekistan

² Tashkent Medical Academy, Tashkent, Uzbekistan

Corresponding author: Azam A. Kosimov, azamrefracture@mail.ru

Abstract

Background Tactical and technical errors in repair of pediatric forearm fractures can be associated with various complications including refractures. There are many questions regarding diagnosis (osteoreparation at the time of the occurrence) and in surgical treatment.

The **objective** was to improve outcomes of pediatric forearm refractures treated with intramedullary osteosynthesis considering a osteoreparation period and the time of the occurrence.

Material and methods There were 48 children with forearm refractures treated in the clinic between 2010 and 2020. The patients were divided into two groups. Patients of group 1 ($n = 25$) were treated with intramedullary osteosynthesis neglecting the regenerative process and the timing of refracture relative to the primary fracture. Patients of group 2 ($n = 23$) sustained a recurrent fracture at 6 months of early osteoregeneration with developing callosity. Re-fracture occurred in 19 (76.0 %) patients of group 1 including six children (24 %) with two or greater occurrences. Recurrence was observed in 16 (69.6 %) cases of group 2 including seven patients (30.4 %) who sustained more than two fractures.

Results The timing of re-fractures, immobilization and gradual removal of fixation components can facilitate improved short- and long-term results of surgical treatment and prevent complications that were evident in 22 (95.6 %) children of group 2 with good results observed at 6 months.

Discussion The calluses were replete with blood vessels indicating the normal regeneration for fractures that occurred at 6 months of the initial fracture. No vessels in the callus were seen after 6 months due to resorption of the bundles and poor fracture healing.

Conclusion The outcome of re-consolidation would be dependent on the stage of bone regeneration at the time of forearm refracture. The regeneration process was more effective in the early stage of re-fracture.

Keywords: repeated fracture, refracture, forearm, surgical treatment, intramedullary osteosynthesis, children

For citation: Kosimov AA, Hodzhanov IYu. Intramedullary osteosynthesis for pediatric forearm re-fractures depending on the time of occurrence. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):788-796. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-788-796

ВВЕДЕНИЕ

В детской травматологии переломы костей предплечья являются часто встречающимися и составляют до 43,6 % [1–4]. Несмотря на целый ряд новых направлений в лечении пострадавших с переломами, частота повторных переломов костей предплечья некоторых типов является довольно высокой и достигает от 4 до 21,3 % [1, 2, 5–10]. Ученые выдвигают противоположные мнения относительно принципов лечения повторных переломов костей предплечья у детей. По данным литературы, в лечении пациентов данной группы превалирует консервативный подход [11–13]. При выборе тактики лечения не учитывают морфологические процессы в зоне перелома, поэтому проблема остается малоизученной [14–17]. Это обуславливает плохие результаты лечения, приводящие к возникновению различных осложнений [18–20]. В частности, при интрамедуллярном остеосинтезе отмечаются такие осложнения как неправильное сращение переломов (0,7–0,9 % случаев), формирование ложного сустава (2,2–3,8 %), замедленное сращение костных отломков (5,1–7,8 %) и повторные переломы (2,1–2,3 %) [1, 6, 7, 19, 20].

Цель работы — сравнение результатов применения интрамедуллярного остеосинтеза у детей с повторными переломами костей предплечья при разных сроках их возникновения в периоде остеорепаляции.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В научно-практическом медицинском центре травматологии и ортопедии Республики Узбекистан в период с 2010 по 2020 г. мы наблюдали 48 больных в возрасте от 3 до 18 лет с повторными переломами костей предплечья, средний возраст составил $(9,75 \pm 0,28)$ года. Все лечебные и диагностические мероприятия у детей проводили в присутствии родителей с их документального согласия.

Пациенты распределены на две группы: в группе 1 ($n = 25$) интрамедуллярный остеосинтез проводили без учета регенераторного процесса и времени возникновения рефрактуры относительно первого перелома; в группе 2 ($n = 23$) повторный перелом возникал в ранней стадии остеорегенерации (в пределах 6 мес.) на фоне образования костных мозолей. В группе 1 у 19 (76,0 %) детей диагностирован повторный перелом, у 6 (24 %) — переломов было более двух. В группе 2 повторный перелом встречался в 16 (69,6 %) случаях, из них в 7 (30,4 %) случаях переломов было более двух (табл. 1).

Больным проведена клиническая оценка консолидации и функционального статуса, лучевая оценка патологической зоны.

Таблица 1

Распределение больных по виду, количеству и локализации повторных переломов

Вид и локализация переломов	Количество пациентов			
	Группа 1, $n = 25$		Группа 2, $n = 23$	
	абс.	%	абс.	%
Вид первичного перелома				
поперечный перелом	12	48,0	16	69,6
косо-поперечный перелом	13	52,0	7	30,4
Количество повторных переломов				
один	19	76,0	15	65,2
более одного	6	24,0	8	34,8
Локализация повторного перелома				
в верхней трети	3	12,0	7	30,5
в средней трети	12	48,0	11	47,8
в нижней трети	10	40,0	5	21,7

У всех больных линия повторного перелома совпадала с линией первичного перелома. У больных в обеих группах проводили хирургическое лечение методом открытого интрамедуллярного антеградного остеосинтеза. Закрытый остеосинтез не проводили в связи с тем, что костномозговой канал был закрыт эндостальной мозолью, препятствовавшей проведению спицы.

У большей доли пациентов повторные переломы произошли в сроки от 2 до 4 мес. после первичного перелома, в группе 1 — в 32,0 % случаев, в группе 2 — в 56,5 % случаев (табл. 2).

Таблица 2

Распределение больных по срокам возникновения повторных переломов в зависимости от протекающего остеорепаративного процесса относительно первого перелома

Группы	До 2 месяцев		От 2 до 4 месяцев		От 4 до 6 месяцев		От 6 до 12 месяцев		Свыше 12 месяцев	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Группа 1, $n = 25$	3	12,0	8	32,0	7	28,0	5	20,0	2	8,0
Группа 2, $n = 23$	4	17,4	13	56,5	6	26,1	—	—	—	—

Нами был разработан алгоритм выбора тактики хирургического лечения повторных переломов костей предплечья у детей с учетом срока их возникновения относительно первичного перелома, локализации и вида перелома, а также наличия смещения.

Повторный перелом на сроке 2–4 мес. сопровождался нормальным процессом сращения на фоне достаточного кровоснабжения в зоне периостальной мозоли. Повторный перелом в фазе рассасывания мозоли сопровождался замедленным сращением либо формированием псевдоартроза.

К показаниям для интрамедуллярного остеосинтеза спицами Киршнера относили:

- возраст ребенка не старше 9 лет;
- возникновение повторного перелома на сроке до трех месяцев;
- обнаружение на рентгеновском или МСКТ-снимке как периостальной, так и параоссальной мозоли в области повторного перелома;
- обнаружение смещения на 1/3 поперечника кости и по длине, с углом деформации более 10°.

Показания к интрамедуллярному остеосинтезу спицами Киршнера и аппаратом Илизарова:

- возраст ребенка старше 9 лет;
- при возникновении повторного перелома костей предплечья в период сращения первичного перелома до 6 месяцев;
- обнаружение на рентгеновском или МСКТ-снимке периостальной, параоссальной и эндостальной мозоли в области повторного перелома;
- обнаружение смещения костных отломков на месте повторного перелома.

Противопоказания к интрамедуллярному остеосинтезу спицами Киршнера и аппаратом Илизарова:

- открытый перелом и загрязненная рана мягких тканей;
- возникновение повторного перелома костей предплечья в период сращения первичного перелома свыше шести месяцев;
- обнаружение на рентгеновском или МСКТ-снимке рассасывания периостальной и параоссальной мозолей и наличие эндостальной мозоли в области повторного перелома;
- отсутствие смещения.

Оперативное лечение (интрамедуллярный остеосинтез) повторных переломов костей предплечья проходило в два этапа с учетом его особенностей.

На первом этапе, заключавшемся в проведении интрамедуллярного остеосинтеза спицами с наложением гипсовой повязки, операции у детей проводили под общим наркозом. В ходе операции сформировавшиеся периостальную и параоссальную мозоли не удаляли.

Через 1,5 мес. после контрольной рентгенографии в случае сращения для улучшения кровообращения в костномозговом канале, создания условий к образованию эндостальной мозоли спицы удаляли, накладывали сегментарные гипсовые повязки на две недели.

Для оценки полученных результатов использовали следующие критерии: «хорошие» результаты — 3 балла, «удовлетворительные» — 2 балла и «неудовлетворительные» результаты — 1 балл. Результаты основывались на клинических, рентгенологических, и функциональных данных поврежденной конечности. Оценка в баллах давала возможность наглядно оценить результаты лечения и сравнить их в совокупности с качественной оценкой, что сделано нами впервые.

Разработанные нами критерии оценки результатов лечения легли в основу «Программы для оценки результатов лечения при повторных переломах костей у детей», зарегистрированной в Агентстве по интеллектуальной собственности Республики Узбекистан (№ DGU 04277 от 01.03.2017).

Полученные данные обработаны методами линейного статистического анализа. Вычисляли средние арифметические, стандартные ошибки средних арифметических, стандартные отклонения. Сравнительный анализ достоверности отличий между исследуемыми группами проводили с помощью критерия Стьюдента. Достоверными считались отличия при уровне достоверности отличий отдельных параметров в изучаемых группах при $p < 0,05$ (уровень достоверности 95 %). Статистические расчеты проводили в программе Excel-2013 с использованием встроенных статистических функций.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В обеих группах детей с повторными переломами в период до 4 мес. после первичного перелома не отмечено удовлетворительных и неудовлетворительных результатов как в ближайшем (табл. 3), так и в отдаленном (табл. 4) периоде.

Таблица 3

Ближайшие результаты лечения

Сроки возникновения повторного перелома, мес.	Группа 1 (n = 25)						Группа 2 (n = 23)					
	хороший		удовл.		неудовл.		хороший		удовл.		неудовл.	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
До 2	3	12,0	–	–	–	–	4	17,4	–	–	–	–
2–4	8	32,0	–	–	–	–	13	65,5	–	–	–	–
4–6	4	16,0	3	12,0	–	–	4	17,4	2	8,7	–	–
6–12	1	4,0	3	12,0	1	4,0	–	–	–	–	–	–
Более 12	–	–	–	–	2	8,0	–	–	–	–	–	–
Всего	16	64,0	6	24,0	3	12,0	21	91,3	2	8,7	–	–

Таблица 4

Отдаленные результаты лечения

Сроки возникновения повторного перелома, мес.	Группа 1 (n = 25)						Группа 2 (n = 23)					
	хороший		удовл.		неудовл.		хороший		удовл.		неудовл.	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
До 2	3	12,0	–	–	–	–	4	17,5	–	–	–	–
2–4	8	32,0	–	–	–	–	13	56,5	–	–	–	–
4–6	6	24,0	1	4,0	–	–	5	21,7	1	4,3	–	–
6–12	3	12,0	1	4,0	1	4,0	–	–	–	–	–	–
Более 12	1	4,0	–	–	1	4,0	–	–	–	–	–	–
Всего	21	84,0	2	8,0	2	8,0	22	95,7	1	4,3	–	–

Примечание: через 1 год приведены результаты лечения повторных переломов, возникших в разные сроки после первого перелома.

При повторных переломах в период от 4 до 6 мес. в ближайшем и отдаленном периоде неудовлетворительные результаты отсутствовали.

В группе 1 в ближайшем периоде на сроках более 6 мес. неудовлетворительным результат у трех пациентов был признан вследствие наличия на рентгенограммах и МСКТ-изображениях патологической периостальной и параоссальной мозоли, а мозоль на концах сломанных фрагментов кости была частично склерозирована.

В отдаленном периоде у одного пациента группы 2 наблюдали удовлетворительный результат, связанный с очень медленным сращением костей в области повторного перелома, что в конечном итоге привело к длительной иммобилизации, развитию контрактур в смежных суставах.

Такую же картину наблюдали в период от 6 до 12 мес., удовлетворительный результат в ближайшем периоде также отмечен у 3 пациентов группы 1. Рентгенограммы и МСКТ-изображения показали, что периостальная и параоссальная мозоли на вершине костных отломков в месте повторного перелома склерозировались, а эндостальная мозоль начала рассасываться. Поэтому, несмотря на прочную фиксацию костных отломков, у этих больных после интрамедуллярного остеосинтеза наблюдали медленный процесс заживления, приводивший к возникновению контрактур. Однако в долгосрочной перспективе контрактуры в суставах были полностью устранены у двух пациентов. У одного пациента объем движений в суставах был ограничен до 60° и оценен удовлетворительно. В этой группе у детей за счет склерозирования костных отломков и рассасывания мозоли наблюдали неудовлетворительный результат как в ближайшем, так и отдаленном периоде — по 1 случаю (из-за несращения повторного перелома).

При повторных переломах, возникших через 12 мес. после первичного перелома, неудовлетворительный результат отмечен у 2 пациентов в ближайшем периоде после операции: концы повторных переломов костных отломков обнаружены на МСКТ-изображениях склерозированными, что свидетельствует о восстановлении костной структуры. Этот период является стадией рассасывания мозолей и появления кости. Таким образом, кровообращение в области повторного перелома является необычным процессом, обуславливающим высокую частоту осложнений при повторных переломах, наблюдаемых в этот период. Этим пациентам проведено повторное хирургическое лечение (резекция незавершенного участка), и в отдаленном периоде результат в одном случае улучшился до оценки «хороший», а в другом не изменился, и оценка осталась «неудовлетворительной».

В группе 2 удовлетворительные и неудовлетворительные результаты у детей с повторными переломами в период до 4 мес. относительно первичного перелома не зарегистрированы, так как у всех больных были хорошо развиты периостальные, параоссальные мозоли, визуализированные на МСКТ и рентгенограммах. Повторные переломы, возникшие в сроках от 4 до 6 мес. остеорепаляции пер-

вичного перелома, оценены как удовлетворительные у двух пациентов в ближайшем периоде за счет контрактуры суставов. В отдаленном периоде у одного ребенка функция сустава полностью восстановилась с оценкой «хороший» результат, а во втором случае результат оценен как «удовлетворительный» из-за оставшейся контрактуры в суставах. После 6 мес. остеорепаляции первичного перелома рефрактур в этой группе не наблюдали.

Сравнительный анализ исходов лечения в обеих группах показал, что процесс заживления костных отломков после повторного перелома зависит от состояния мозолей, что, в свою очередь, обусловлено рефрактерными состояниями, возникающими в процессе первичного заживления. Нами продемонстрировано, что после остеосинтеза интрамедуллярными спицами интерпретация с использованием баллов, основанных на клинических, функциональных и рентгенологических признаках, показала достоверно лучшие результаты как в ближайшие (91,3 % против 64 %), так и в отдаленные сроки (95,6 % против 84 %) в группе 1 (табл. 5).

Таблица 5

Результаты интрамедуллярного остеосинтеза рефрактур костей предплечья у детей контрольной и основной группы в ближайший (до 1 года) и отдаленный (более 1 года) период

Группа 1						
Клинические и рентгенологические критерии		Повторные переломы (n = 19)		Два и более перелома (n = 6)		
		ближайшие результаты	отдаленные результаты	ближайшие результаты	отдаленные результаты	
Клинические данные (баллы)		2,52 ± 0,16	2,89 ± 0,07	2,16 ± 0,4	2,3 ± 0,36	
Рентгенологические данные (баллы)		2,52 ± 0,14	2,84 ± 0,11	1,83 ± 0,4	2,33 ± 0,42	
Функциональные результаты	Сгибание в лучезапястном суставе					
	тыльное,°	31,3 ± 1,79	69,2 ± 1,39	45,0 ± 10,4	74,2 ± 5,08	
	ладонное,°	26,3 ± 1,75	63,15 ± 1,4	37,5 ± 7,74	68,3 ± 4,02	
	амплитуда,°	57,6 ± 3,43	131,8 ± 2,3	82,5 ± 17,8	144,2 ± 8,34	
	Сгибание / разгибание в локтевом суставе					
	сгибание, °	80,5 ± 1,57	51,6 ± 1,9	74,2 ± 6,4	50,8 ± 5,25	
	разгибание, °	144,4 ± 3,08	164,7 ± 3,004	143,3 ± 6,69	164,2 ± 6,1	
		амплитуда °	63,9 ± 4,4	113,1 ± 3,8	69,2 ± 10,8	113,3 ± 9,6
Сроки иммобилизации (дни)		61,4 ± 1,02		61,3 ± 1,77		
Размах индивидуальных значений		54–67		55–68		
Группа 2						
Клинические и рентгенологические критерии		Повторные переломы (n = 16); два и более перелома (n = 7)				
		ближайшие результаты		отдаленные результаты		
Клинические данные (баллы)		2,7 ± 0,15		3		
Рентгенологические данные (баллы)		2,9 ± 0,1		3		
P		< 0,001				
Функциональные результаты	Сгибание в лучезапястном суставе					
	тыльное,°	64,5 ± 3,02		81,0 ± 1,45		
	ладонное,°	70,0 ± 2,35		85,0 ± 1,4		
	амплитуда,°	134,5 ± 5,2		166 ± 2,33		
	Сгибание / разгибание в локтевом суставе					
	сгибание,°	44,0 ± 1,94		37,5 ± 0,83		
	разгибание,°	173 ± 2,001		180		
		амплитуда,°	129 ± 3,48*		142,5 ± 0,8	
P		< 0,001; < 0,0001*				
Сроки иммобилизации (дни)		57,0 ± 1,49				
Размах индивидуальных значений		52–61				

Примечание: * — P < 0,0001 относительно результатов в контрольной группе.

Клинический пример

Больной К.Д., 12 лет, из анамнеза и со слов родителей получил травму 1,5 года назад в результате падения на руку во время игры с друзьями. Госпитализирован с диагнозом: Закрытый перелом средней трети диафиза левого предплечья со смещением костных отломков. Под местной анестезией костные отломки сопоставлены, наложена гипсовая лонгета. Далее проведено амбулаторное лечение. Иммобилизация — 1 месяц. Через 1,5 месяца при падении ребенка возникает повторный перелом, в поликлинике по месту жительства наложена гипсовая повязка, больной наблюдался амбулаторно. Им-

мобилизация в течение 40 дней, клинико-рентгенологически консолидация достигнута. Третий раз больной получил травму в результате падения на руку (споткнулся в школе), госпитализирован в отделение детской травматологии. На рентгенограмме видно остаточное допустимое угловое смещение после первичного перелома, рефрактура произошла в результате изменения физики кости. У данного больного параоссальная и периостальная мозоли рассосались, а эндостальная мозоль сформирована не до конца. Картина регенерата соответствовала 5-ой морфологической и 4-ой клинической стадиям по классификации Каплана, то есть периоду рассасывания параоссальной и периостальной костных мозолей на фоне образовавшейся эндостальной мозоли. Проведена репозиция, на контрольном рентген-снимке визуализировано неудовлетворительное стояние костных отломков, проведена операция: интрамедуллярный остеосинтез костей левого предплечья. Интрамедуллярные спицы удалены через 2,5 мес. после операции, после чего обнаружено ограничение движений в локтевом суставе. Процессы в регенерате соответствовали 4 морфологической, 3–4 клинической фазам. Периостальная и параоссальная костные мозоли полностью восстановлены, начала образовываться эндостальная мозоль, что свидетельствует о восстановлении прочности костной ткани, вследствие чего иммобилизация снята. Реабилитационные мероприятия у больного продолжены в течение последующих 2 мес., после чего функциональное состояние локтевого сустава восстановилось.

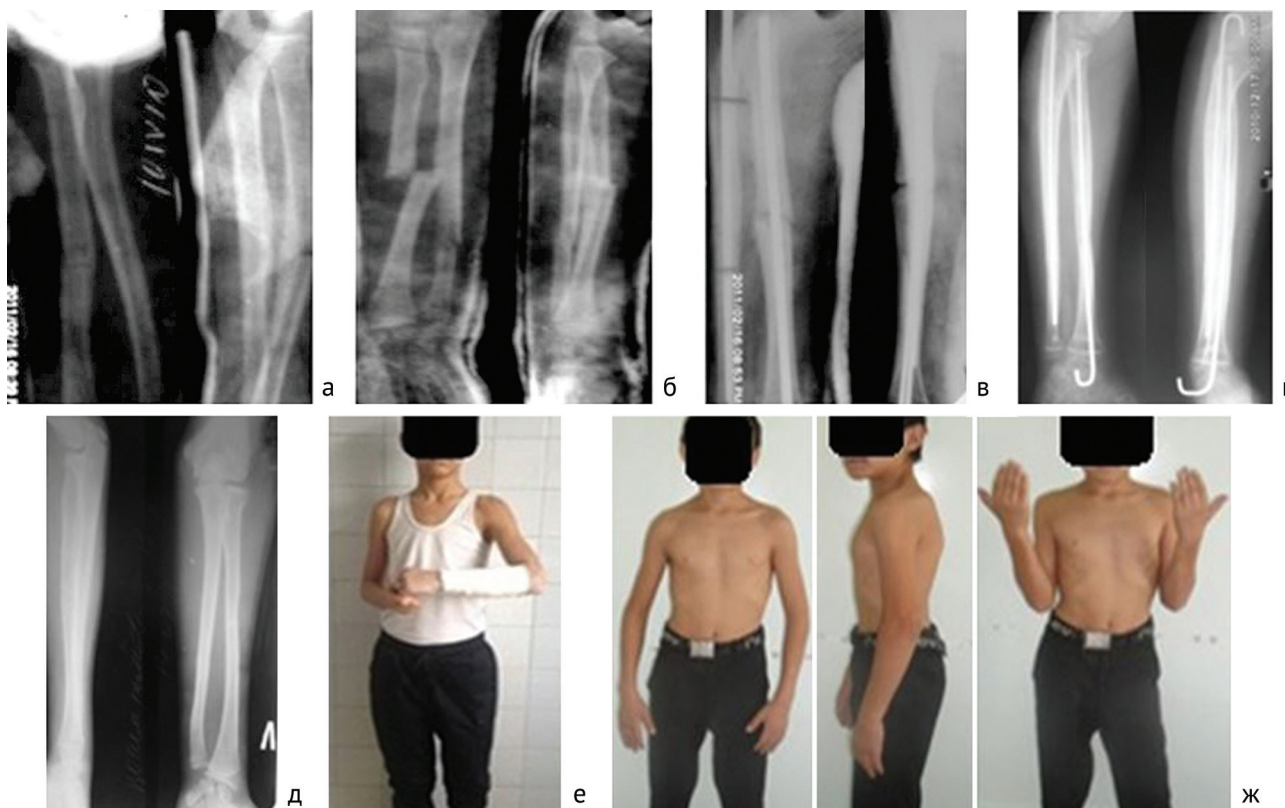


Рис. 1. Рентгенограммы: а — первичный перелом; б — рефрактура; в — рефрактура после интрамедуллярного остеосинтеза; г — состояние регенерата через месяц; д — состояние регенерата через 9 мес. после операции. Фото больного: е — вид больного с наложением сегментарной гипсовой повязки; ж — функциональное состояние сустава

ОБСУЖДЕНИЕ

Многие авторы считают, что метод эластичного интрамедуллярного остеосинтеза (англ.: flexible intramedullary nailing — FIN) является выбором при хирургическом лечении детей с рефрактурами костей предплечья [11, 13]. FIN имеет свои важные преимущества — малоинвазивность, стабильную фиксацию, возможность ранней функции конечности, хороший косметический результат, низкий риск осложнений [4], укороченный стационарный период, быстрое возвращение детей к повседневной жизни. Но при повторном переломе провести интрамедуллярный остеосинтез спицей закрытым путем часто невозможно из-за закрытия костномозгового канала, также он не дает возможности достичь стабильности при репозиции костных отломков.

Некоторые авторы применяли тонкие спицы при рефрактурах костей с узким мозговым каналом [10], но, с другой стороны, спицы с меньшим диаметром могут обусловить ре-рефрактуры или нестабильность перелома во время оперативного лечения [7]. Другие авторы предлагали использовать спицы

с большим диаметром [3]. В случаях закрытой репозиции они вводили спицы, диаметр которых составлял $\frac{2}{3}$ диаметра костномозгового канала. В то же время они считают, что переломы, пролеченные с применением эластичной спицевой интрамедуллярной фиксации, также чреваты возникновением рефрактур. По современным методикам рекомендуется оставлять спицы на 10–12 мес. с целью минимизации риска возникновения рефрактур [12, 16]. Повторные переломы могут случаться даже при наличии спиц, следовательно, мало пользы от оставления спиц на больший, чем это нужно, срок для полного сращения перелома. Кроме того, спицевая фиксация может иметь такие осложнения как перфорация кожи, требующая дополнительного вмешательства, появление подкожной гематомы и контрактуры суставов, неполное устранение диастаза между костными отломками в зоне перелома и ограничение ротации предплечья [2, 8, 11, 19].

Ранее нами были проведены морфологические исследования рефрактур и первичных переломов у лабораторных животных в эксперименте [15]. Отмечено, что возникновение повторного перелома в раннем периоде сращения, иначе говоря в периоде образования костной мозоли первичного перелома, процессы заживления в самой мозоли, а также в кортикальном слое поврежденной кости протекают нормально в связи с хорошим кровообращением. Риск возникновения осложнений в виде нарушения консолидации снижается. В случаях возникновения повторного перелома в позднем периоде сращения первичного перелома, т.е. в периоде рассасывания костной мозоли, сращение занимало более длительный срок из-за ухудшения кровообращения в этой области [15]. Как показывают наши наблюдения, использование интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах костей предплечья у детей без учета морфологических изменений приводит к возникновению различных осложнений (замедленное сращение, несращение, ложный сустав и контрактуры смежных суставов).

Для достижения хороших результатов при лечении больных с повторными переломами необходимо обязательно обращать внимание на то, когда произошел первичный перелом, так как, если повторный перелом происходит на поздних стадиях сращения первичного перелома, мозоли рассасываются, и кость приобретает патологическую структуру. Мозоли в фазе завершения сращения первичного перелома имеют большое значение при возникновении повторного перелома, поскольку они оказывают положительное влияние на процесс остеорепаляции. Поэтому в этот период применение этапности оперативного лечения рефрактур костей предплечья у детей методом интрамедуллярного остеосинтеза с учетом процесса регенерации, то есть стадий мозолеобразования, приводит к достижению хороших результатов и уменьшению количества осложнений.

Процесс регенерации при первичном переломе протекает поэтапно в несколько стадий, а лечение детей с повторными переломами костей предплечья, по нашему мнению, целесообразно проводить с учетом стадии процесса регенерации. Учет морфологической и рентгенологической картины формирующейся костной мозоли в момент возникновения повторной травмы может помочь добиться хороших результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

При хирургическом лечении пациентов с повторными переломами с имеющимися периостальными и параоссальными мозолями необходимо их сохранение, это относится к ранним (до 3 мес.) рефрактурам относительно первого перелома. При повторных переломах костей предплечья у детей на раннем сроке интрамедуллярный остеосинтез способствует созданию оптимального напряженного состояния на линии излома и позволяет достигнуть сращения костных отломков.

Взвешенный подход к выбору оперативного метода лечения, учитывающего стадию мозолеобразования, этапное удаление фиксирующих элементов позволяет достоверно сократить сроки иммобилизации и также полностью устранить неудовлетворительные результаты в виде осложнений и снизить случаи удовлетворительных результатов в 2,2 раза относительно группы сравнения.

Дифференцированный подход к проведению интрамедуллярного остеосинтеза при повторных переломах с учетом стадии остеорепаляции и срока их возникновения относительно первого перелома улучшают ближайшие и отдаленные результаты хирургического лечения.

Конфликт интересов. Конфликт интересов отсутствует.

Источник финансирования. Авторы не получали специального финансирования для выполнения работы.

Этическая экспертиза. Родители детей или опекуны подписали информированное согласие и одобрили использование клинических данных детей. Проведенные исследования не противоречили Закону Республики Узбекистан от 29.08.1996 г. № 265-й об охране здоровья граждан.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баиров Г.А. Повторные переломы. В кн. Баиров Г.А. *Детская травматология*. СПб.: Питер; 2000:327-329.
2. Коробейников А.А., Попков Д.А. Анализ ошибок и осложнений при лечении диафизарных переломов костей предплечья у детей методом интрамедуллярного эластичного остеосинтеза. *Травматология и ортопедия России*. 2016;22(2):25-33. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-2-25-33
3. Fernandez FF, Langendörfer M, Wirth T, Eberhardt O. Failures and complications in intramedullary nailing of children's forearm fractures. *J Child Orthop*. 2010;4(2):159-167. doi: 10.1007/s11832-010-0245-y
4. Parikh SN, Jain VV, Denning J et al. Complications of elastic stable intramedullary nailing in pediatric fracture management: AAOS exhibit selection. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(24):e184. doi: 10.2106/JBJS.L.00668
5. Богданович У.Я. Тинчурина С.Г., Баширова Ф.Х. Повторные переломы. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1983;(10):23-26.
6. Кузьмин Б.П. Повторные переломы обеих костей предплечья у детей. *Ортопедия травматология и протезирование*. 1967;(3):70-72.
7. Fernandez FF, Eberhardt O, Langendörfer M, Wirth T. Nonunion of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing. *J Pediatr Orthop B*. 2009;18(6):289-295. doi: 10.1097/BPB.0b013e32832f5b20
8. Fiala M, Carey TP. Pediatric forearm fractures: an analysis of refracture rate. *Orthop Trans*. 1994;(18):1265-1266.
9. Lascombes P, Poncelet T, Lesur E, et al. Repeat fractures of the 2 forearm bones in children. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1988;74 Suppl 2:137-139. (In French)
10. Schmittenbecher PP, Fitze G, Gödeke J, et al. Delayed healing of forearm shaft fractures in children after intramedullary nailing. *J Pediatr Orthop*. 2008;28(3):303-306. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181684cd6
11. Lascombes P, Nespola A, Poircuitte JM, et al. Early complications with flexible intramedullary nailing in childhood fracture: 100 cases managed with precurved tip and shaft nails. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98(4):369-375. doi: 10.1016/j.otsr.2011.11.011
12. Changulani M, Garg NK, Bruce CE. Use of ESIN in forearm fractures in children: does keeping the nail in situ longer prevent refractures. *Injury Extra*. 2006;37(4):151-153.
13. Lascombes P. *Flexible intramedullary nailing in children: the Nancy University manual*. Berlin, Heidelberg: Springer-Verlag Publ.; 2010:317.
14. Бойков В.П. Способ лечения повторных переломов и деформаций после интрамедуллярного остеосинтеза. *Мед. журн. Чувашии*. 1995;(1-2):123-124.
15. Косимов А.А., Ходжанов И.Ю., Горбач Е.Н. и др. Морфологические особенности регенерации костной ткани при экспериментальном моделировании рефрактуры длинных трубчатых костей в периоде их роста. *Гений ортопедии*. 2019;25(4):555-561. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-555-560
16. McLean C, Adlington H, Houshian S. Paediatric forearm refractures with retained plates managed with flexible intramedullary nails. *Injury*. 2007;38(8):926-930. doi: 10.1016/j.injury.2006.10.029
17. van Egmond PW, van der Sluijs HA, van Royen BJ, Saouti R. Refractures of the paediatric forearm with the intramedullary nail in situ. *BMJ Case Rep*. 2013;2013:bcr2013200840. doi: 10.1136/bcr-2013-200840
18. Чернов Д.В. Повторные переломы длинных костей. *Вестн. Смоленской мед. академии*. 2010;(Спецвып.):122-123.
19. Litton LO, Adler F. Refracture of the forearm in children: a frequent complication. *J Trauma*. 1963;3:41-51. doi: 10.1097/00005373-196301000-00004
20. Ochs BG, Gonser CE, Baron HC, et al. Refracture of long bones after implant removal. An avoidable complication? *Unfallchirurg*. 2012;115(4):323-329. (In German) doi: 10.1007/s00113-012-2155-6

Статья поступила 02.06.2023; одобрена после рецензирования 01.07.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 02.06.2023; approved after reviewing 01.07.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Аъзам Азимович Косимов — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, azamrefracture@mail.ru;
Искандар Юнусович Ходжанов — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отделения, prof.Khodjanov@mail.ru.

Information about authors:

Azam A. Kosimov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, azamrefracture@mail.ru;
Iskandar Yu. Khodjanov — Doctor of Medical Science, Professor, Head of the Department. prof.Khodjanov@mail.ru.

Научная статья

УДК 616.728.2-089.843:616.718.16-004.8-089.844-74

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-797-810>

Первичное и ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины

М.Ю. Удинцева¹✉, Е.А. Волокитина¹, Д.А. Колотыгин², С.М. Кутепов¹¹ Уральский государственный медицинский университет, Екатеринбург, Россия² Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Мария Юрьевна Удинцева, izmodenova96@gmail.com**Аннотация**

Введение. Эндопротезирование тазобедренного сустава при дефектах вертлужной впадины относится к сложному виду хирургических вмешательств, а поиск оптимальных конструкций и остеозамещающих материалов для воссоздания целостности вертлужной области является актуальной проблемой современной травматологии и ортопедии.

Цель работы — анализ результатов первичного и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины.

Материалы и методы. Материал исследования составили 93 пациента с выполненным первичным ($n = 65$) и ревизионным ($n = 28$) тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава при наличии костных дефектов вертлужной впадины различной степени выраженности. Для систематизации первичных дефектов использовали классификацию Американской ассоциации травматологов ортопедов (AAOS, 2017), для дефектов при ревизионных операциях — классификацию W.G. Paprosky (1994). Применяли клинический, рентгенологический, статистический методы исследования. Для оценки функции прооперированных суставов использовали Шкалу Харриса (HHS, 1969).

Результаты. В зависимости от типа дефекта впадины разработан алгоритм выбора способа замещения костного дефекта вертлужной впадины и имплантации чашки протеза. Наилучшие результаты отмечены при комбинировании резорбируемых и нерезорбируемых остеозамещающих материалов и бесцементной фиксации тазового компонента. Приведен клинический пример трех последовательных ревизионных вмешательств на одном тазобедренном суставе у пациентки с двусторонним диспластическим коксартрозом.

Обсуждение. Наиболее широко применяемым методом восполнения дефектов при первичном эндопротезировании остается пластика костной крошкой / чипсами из аутологичной головки бедренной кости. При значительных дефектах костной ткани применяются структурные ауто- или аллотрансплантаты, использование которых позволяет восстановить центр ротации и сформировать костную опору для возможных будущих ревизий; неудовлетворительные результаты при этом способе обусловлены лизисом аллокости. При выполнении ревизионных вмешательств применяется пластика дефекта измельченной или структурной аллокостью, устанавливаются антипротрузионные кольца или чашки из трабекулярного металла с фиксацией press-fit и на винты; при нестабильности тазового кольца требуется остеосинтез задней колонны. Высокая пористость и сцепление с костью, близкий к костной ткани модуль упругости у конструкций из трабекулярного металла обеспечивают условия для оптимальной первичной и вторичной фиксации компонента.

Заключение. Длительное и безболезненное функционирование эндопротеза тазобедренного сустава при дефектах вертлужной впадины возможно при восстановлении сферичной формы acetabulum и центра ротации сустава в истинной вертлужной области, при адекватном восполнении дефицита костной ткани и надежной первичной фиксации чашки протеза с обеспечением условий для вторичной стабилизации за счет остеointеграции. Дефекты вертлужной впадины в своих анатомических проявлениях многообразны, что создает определенные трудности при выборе тазовых компонентов, аугментов, способов их фиксации к тазовой кости. В зависимости от типа дефекта впадины разработан алгоритм выбора способа замещения костного дефекта вертлужной впадины и имплантации чашки протеза.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, дефект вертлужной впадины, остеозамещающий материал, костная пластика

Для цитирования: Удинцева М.Ю., Волокитина Е.А., Колотыгин Д.А., Кутепов С.М. Первичное и ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):797-810. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-797-810. EDN: VWSYDZ.



Compensation of acetabular defects in primary and revision hip arthroplasty

M.Yu. Udintseva^{1✉}, E.A. Volokitina¹, D.A. Kolotygin², S.M. Kutepov¹

¹ Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russian Federation

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

Corresponding author: Maria Yu. Udintseva, izmodenova96@gmail.com

Abstract

Introduction Total hip arthroplasty in defects of the acetabulum is a complex type of surgical intervention, and the search for optimal implants and bone substituting materials to restore the integrity of the acetabulum is one of the current problems.

The **aim** of the work was to analyze the results of primary and revision hip arthroplasty with compensation of acetabulum defects.

Materials and methods The study material consisted of 93 patients with primary (65) and revision (28) total hip arthroplasty in the presence of bone defects of the acetabulum of varying severity. To systematize primary defects, the classification of the American Association of Orthopedic Surgeons (AAOS, 2017) was used; for defects in revision surgeries, the classification of W.G. Paprosky (1994) was used. Clinical, radiological, and statistical study methods were used. The results of managing bone defects of the acetabulum with various methods of compensation were studied. The Harris Hip Score (HHS), 1969, was used to assess the function of the involved joints.

Results Depending on the type of acetabular defects, an algorithm was developed for choosing a bone grafting method for acetabular defects and implanting the cup. The best results were observed for cases of a combination of resorbable and non-resorbable bone graft materials and cementless fixation of the pelvic component. A clinical example of three consecutive revision interventions on one hip joint in a patient with bilateral dysplastic coxarthrosis is presented.

Discussion The most widely used method of bone grafting in primary arthroplasty is plastic surgery with autologous chips from the femoral head. In significant bone tissue loss, one of the plastic surgery options is a structural auto- or allograft, the use of which allows restoring the rotation center and forming a bone support for possible future revisions; poor results with this method are caused by allograft lysis. In revision arthroplasty on the hip joint in large defects, plastic surgery of the defect is performed with crushed or structural allograft bone. An antiprotusion constructs or cups made of trabecular metal are installed; in instability of the pelvic ring, osteosynthesis of the posterior column is required. Trabecular metal structures featuring high porosity and adhesion to bone and the elastic modulus close to bone tissue provide conditions for optimal primary and secondary fixation of the component.

Conclusion Long-term and painless functioning of the hip joint after arthroplasty performed for acetabular defects is possible with restoration of the spherical shape of the acetabulum and the center of joint rotation in the true acetabulum, adequate elimination of bone tissue loss, reliable primary fixation of the cup with provision of conditions due to restoration and osteointegration. Acetabular defects are diverse in their anatomical manifestations, which create difficulties in choosing pelvic components, augments, and the method of their fixation to the pelvic bone. Based on the type of the acetabular defect, an algorithm has been developed for choosing a method for acetabular bone defect filling and implanting a cup.

Keywords: hip joint arthroplasty, bone defect of the acetabulum, osteosubstitution material, bone grafting

For citation: Udintseva MYu, Volokitina EA, Kolotygin DA, Kutepov SM. Compensation of acetabular defects in primary and revision hip arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):797-810. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-797-810

ВВЕДЕНИЕ

Эндопротезирование тазобедренного сустава при дефектах вертлужной впадины относится к сложному виду хирургических вмешательств, а поиск оптимальных конструкций и остеозамещающих материалов для восстановления целостности вертлужной области на сегодняшний день является одной из актуальных проблем современной травматологии и ортопедии. Образование дефектов в области вертлужной впадины свойственно врожденной дисплазии, системным заболеваниям соединительной ткани, переломам тазовых костей. Костные дефекты формируются при развитии нестабильности имплантов, после резекции костных опухолей, а также вследствие выполненных ранее периацетабулярных остеотомий [1].

Выбор методов восполнения дефектов вертлужной впадины определяется в зависимости от количества и качества оставшейся костной ткани, целостности ацетабулярных колонн и стабильности тазового кольца. Небольшие дефекты при первичном эндопротезировании заполняют неструктурными аутооттрансплантатами из резецированной головки бедра или чипсами из аллокости. Более обширные дефекты требуют применения массивных опорных трансплантатов, для которых подходит структурная аллокость, ксенокость или искусственные остеозамещающие материалы (кальций-фосфатная керамика, металлические и титановые аугменты) [2, 3]. В ряде случаев для заполнения дефектов используется костный цемент; однако большинство исследователей в своих работах описывают негативное влияние цемента на костную ткань, приводят данные о большом числе поздних осложнений и неудовлетворительных результатах эндопротезирования [4].

Основной задачей восполнения обширного дефекта вертлужной впадины является восстановление целостности костной структуры впадины, ее полусферической формы и центра ротации тазобедренного сустава для обеспечения первично стабильной имплантации вертлужного компонента [5].

С конца прошлого века для замещения дефектов вертлужной области как при первичном, так и при ревизионном эндопротезировании стали применять укрепляющие и антипротрузионные кольца с опорой на наружные края впадины (кольца Мюллера (Müller), Окснера, Ганса, Бурх – Шнейдера (Burch – Schneider), Безноско и др.). Наиболее известно укрепляющее опорное кольцо, которое было разработано М. Мюллером в 1977 г. Как правило, размеры колец соизмеримы с впадиной, изготовлены из листового металла, имеют отогнутые края для опоры и множество отверстий под винты для крепления к тазовой кости. Для повышения остеоинтегративных качеств ацетабулярная часть кольца может иметь пористое покрытие. Опорное кольцо Бурх – Шнейдера предназначено для дефектов, которые не перекрываются кольцом Мюллера. Применение опорных колец Мюллера и Бурх – Шнейдера подразумевает первоначальное заполнение дефекта аутокостью или аллокостью, сверху костного трансплантата press-fit устанавливается опорная конструкция. В опорное кольцо на цемент крепится стандартная цементная чашка [6].

По данным J. Schatzker et al., за период наблюдения от одного до трех лет после двадцати пяти операций эндопротезирования тазобедренного сустава (20 — опорное кольцо Мюллера, 5 — Бурх – Шнейдера) получены удовлетворительные результаты, что подтверждает логичность их применения при лечении пациентов с дефектами вертлужной впадины [7]. В настоящее время все чаще используются аугменты из трабекулярного металла, а также индивидуальные трехфланцевые опорные конструкции, которые изготавливают при помощи компьютерного моделирования в случаях обширного дефекта и прерывистости впадины [8]. Результаты, полученные А.Н. Коваленко с соавт., показывают, что реконструкция вертлужной впадины с использованием вышеописанных методик требует учитывать индивидуальные анатомические особенности пациента, предусмотреть хирургический доступ и технологию имплантации, иначе имплантат невозможно будет установить. Кроме того, первый опыт индивидуального протезирования не всегда был удачным, и процент неудовлетворительных результатов оставался высоким [9].

Цель работы — анализ результатов первичного и ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава с восполнением дефектов вертлужной впадины.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Работа выполнена в рамках госзадания 124020700095-4 ФГБОУ ВО УГМУ МЗ РФ на 2024–2026 гг. Исследование проведено с соблюдением этических принципов Хельсинской декларации и одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО УГМУ (протокол от 22.10.21 № 9). Все пациенты дали информированное добровольное согласие на участие в исследовании. Дизайн исследования представлен на рисунке 1.

Материал исследования составили данные 93 пациентов с выполненным первичным и ревизионным тотальным эндопротезированием тазобедренного сустава при наличии костных дефектов вертлужной впадины различной степени выраженности.

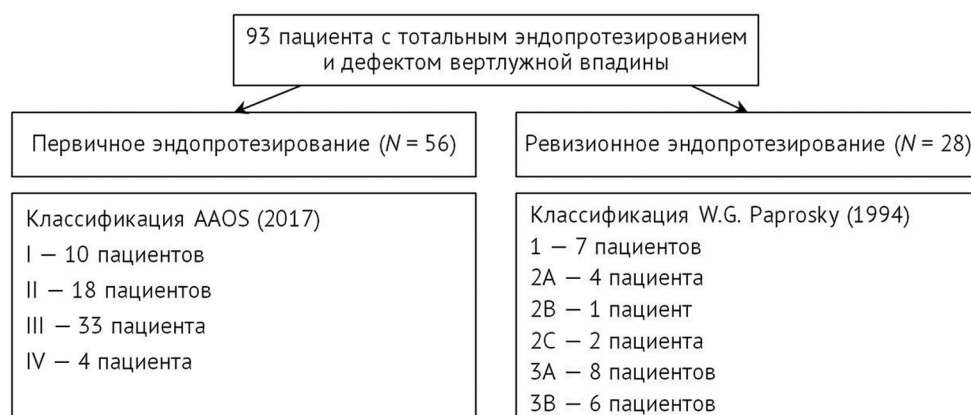


Рис.1. Дизайн исследования

Первичное эндопротезирование выполнено 65 пациентам (мужчин — 21, женщин — 44), из них 26 пациентов прооперированы в ГАУЗ СО СОКБ № 1, Екатеринбург (СОКБ № 1); 39 — в НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова, Курган (Центр Илизарова). Средний возраст пациентов при первичном протезировании составил ($56 \pm 1,4$) года.

Бесцементное эндопротезирование выполнено 49 пациентам, протезы цементной фиксации установлены 16 пациентам. Имплантированы следующие системы протезов: Aescular ($n = 19$), Smith&Nephew ($n = 13$), De Puy ($n = 21$), Zimmer ($n = 12$).

Ревизионное эндопротезирование выполнено 28 пациентам (мужчин — 2, женщин — 26), из них 19 пациентов прооперированы в СОКБ № 1; 9 — в Центре Илизарова. Средний возраст пациентов составил ($61,0 \pm 2,4$) года.

Бесцементное ревизионное протезирование выполнено 12 пациентам, цементное — 16 пациентам. Были установлены следующие системы протезов: Aescular ($n = 6$), Smith&Nephew ($n = 5$), De Puy ($n = 11$), Zimmer ($n = 6$).

Распределение по возрасту, социальному статусу и инвалидности представлено в таблице 1.

Таблица 1

Распределение пациентов по возрастному и социальному статусу

Категории		Первичное эндопротезирование ($n = 65$)		Ревизионное эндопротезирование ($n = 28$)	
		абс.	%	абс.	%
Возраст, лет	18 до 44	11	17	3	10
	45–59	28	43	10	36
	60–74	23	35	11	40
	старше 74	3	5	4	14
Социальный статус	работающие	27	42	7	25
	неработающие	10	15	2	7
	неработающие пенсионеры	28	43	19	68
Инвалидность	отсутствует	42	64	17	61
	3 группа	14	22	6	21
	2 группа	8	12	4	14
	1 группа	1	2	1	4

Первичное эндопротезирование в группе больных с ревизионным протезированием ранее выполнено в СОКБ № 1 в четырех случаях; в Центре Илизарова — в одном случае. Остальные 23 пациента первично прооперированы в травматологических стационарах Свердловской и Курганской областей.

Для систематизации первичных дефектов использовали классификацию Американской ассоциации травматологов ортопедов (AAOS, 2017) [10] ввиду ее простоты и возможности предоперационного планирования вариантов костной пластики. По классификации AAOS (2017) выделяют четыре типа дефектов вертлужной впадины: тип I представляет собой сегментарный дефект кости в верхнем, переднем или заднем отделе впадины; тип II — кавитарный дефект (костная полость) в верхнем, переднем или заднем отделе впадины; тип III — комбинированный сегментарно-кавитарный дефект; тип IV — явный или скрытый разрыв тазового кольца [10].

Типы дефектов у пациентов с первичным ЭП ТБС в зависимости от этиологии остеоартроза (ОА) по классификации AAOS (2017) представлены в таблице 2. Ведущей причиной формирования дефектов вертлужной впадины в случаях первичного протезирования явилась дисплазия тазобедренного сустава. У 36 пациентов дисплазия соответствовала II–III типу Crow, в двух случаях — IV типу [11, 12, 13]. Формирующийся неоартроз на уровне верхнего края вертлужной впадины и краниальное смещение головки бедра при дисплазии по Crow II–III [11] приводили к формированию дефектов в области крыши впадины, соответствующих типам II и III по классификации AAOS (2017).

При системных заболеваниях соединительной ткани (РА, системная красная волчанка) на фоне порозной костной ткани формировалась протрузионная деформация впадины со смещением центра ротации сустава медиально, что приводило к формированию дефекта костной ткани впадины в ее центральных отделах [14, 15].

Таблица 2

Типы дефектов у пациентов с первичным ЭП ТБС в зависимости от этиологии ОА по классификации AAOS (2017)

Тип дефекта	I		II		III		IV		Всего	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Дисплазия тазобедренного сустава	–		12	67	24	73	2	50	38	58
Системные заболевания соединительной ткани	9	90	6	33	7	21	–		22	34
Травма	1	10	–		2	6	2	50	5	8
Всего	10	100	18	100	33	33	4	100	65	100

Посттравматические деформации впадины формируются вследствие травм — перелома-вывихов тазобедренного сустава. Р.М. Тихилов с соавт. подразделяют посттравматические деформации вертлужной впадины на три группы: первая — пациенты с переломами дна вертлужной впадины с небольшим смещением отломков или после остеосинтеза задних отделов; вторая — после перелома задних отделов вертлужной впадины с дефектом в области задней стенки и/или крыши вертлужной впадины различной протяженности; третья — с полным нарушением анатомии вертлужной впадины в результате дефекта задней стенки, крыши, а также в результате неправильного сращения костных фрагментов [16]. И если в первой группе возможно проведение первичной стандартной имплантации бесцементной чашки, то во второй и третьей группах для имплантации тазового компонента обязательно требуется применение костной пластики, аугментов и ревизионных опорных колец. Наиболее часто встречаются посттравматические дефекты вертлужной впадины в заднее-верхнем отделе, которые сочетаются с подвывихом бедра и стойкой сгибательно-приводящей контрактурой. Впадина при этом овально-вытянутой формы, задняя стенка разрушена, головка бедренной кости смещена кзади и кверху.

Для систематизации ревизионных дефектов использовали классификацию W.G. Paprosky [17]. Данная классификация подробно отражает анатомическую локализацию дефекта, позволяет во время предоперационного планирования выбрать оптимальный способ восполнения дефицита костной ткани с учетом возможных технических трудностей по ходу вмешательства. По классификации W.G. Paprosky выделяют 3 типа дефектов вертлужной впадины. Дефект 1 типа предполагает наличие единичной или множественных костных кист, общий объем которых не превышает 10 мм³. Подтип 2А представляет собой верхне-медиальный кавитарный дефект; 2В дефекты — сегментарные верхне-латеральные дефекты, когда потеря кости не превышает 1/3 окружности впадины; 2С — дефект медиальной стенки впадины; 3А дефект — это верхне-латеральная миграция впадины или «up and out», интактная медиальная опора (латеральнее линии Келера) и наблюдается лизис в области седалищной кости; 3В дефект — это верхне-медиальная миграция или «up and in», нет медиальной и верхней опоры (разрыв линии Келера), выраженный лизис седалищной кости (менее 15 мм выше от верхне-запирательной линии), полное разрушение «фигуры слезы»; 4 тип дефекта — явный или скрытый разрыв тазового кольца.

Типы дефектов по классификации W.G. Paprosky у пациентов с ревизионным ЭП ТБС в зависимости от исходного заболевания/травмы перед первичным протезированием представлены в таблице 3.

У пациентов с ревизионным эндопротезированием ведущим поводом выполнения первичного эндопротезирования была предшествующая травма. Из 28 случаев ревизионного протезирования ранняя нестабильность (до 5 лет после первичного эндопротезирования) развилась у 15 пациентов (54 %), поздняя нестабильность (более 5 лет) — у 13 (46 %).

Таблица 3

Типы дефектов по классификации W.G. Paprosky у пациентов с ревизионным ЭП ТБС в зависимости от исходного заболевания / травмы перед первичным протезированием

Тип дефекта	1		2A		2B		2C		3A		3B		Всего	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Травма	4	57	1	25	1	100	1	50	4	50	1	20	12	43
Системные заболевания соединительной ткани	1	14	2	50	–		1	50	2	25	3	50	9	32
Дисплазия ТБС	2	29	1	25	–		–		2	25	2	30	7	25
Всего	7	100	4	100	1	100	2	100	8	100	6	100	28	100

Методы исследования

Клинический. Оценены среднесрочные показатели функции тазобедренного сустава по шкале W.H. Harris [16]: 90 и более баллов оценивали как отличный результат; 80–89 баллов — хороший результат; 70–79 баллов — удовлетворительный результат; 69 баллов и менее — неудовлетворительный результат.

Рентгенологический. Оценку обзорной рентгенограммы таза проводили в прямой проекции, пораженного тазобедренного сустава с бедром — в прямой и боковой проекциях.

Метод компьютерной томографии применяли для уточнения степени костного дефекта вертлужной впадины по классификации AAOS для первичного эндопротезирования, W.G. Paprosky — для ревизионного эндопротезирования.

Статистический метод. В работе использовали пакет анализа Statistica 8.0. Данные описательной статистики представлены в виде $M \pm SD$; Me, где M — среднее значение признака, SD — среднеквадратичное отклонение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сведения о способах костной пластики пациентов и среднесрочных результатах приведены в таблице 4.

Таблица 4

Способы восполнения костных дефектов при первичном эндопротезировании в зависимости от типа дефекта по классификации AAOS и результат по шкале W.H. Harris

Способ восполнения дефекта / функциональный результат		Отлично		Хорошо		Удовлетв.		Неудовлетв.		Всего	
		≥ 90 баллов		80–89 баллов		70–79 баллов		≤ 69 баллов			
		абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
I тип (4 ± 2)*	Костный аутотрансплантат из головки бедра	1	10,0	3	11,0	2	10,0	2	25,0	8	12,3
	Костный цемент	1	10,0	1	4,0	–		–		2	3,1
II тип (7 ± 2)*	Неструктурный аутотрансплантат из головки бедра	–		2	7,0	2	10,0	1	12,5	5	7,7
	Структурный аутотрансплантат из головки бедра, фиксирован винтами	2	20,0	6	21,0	3	15,0	2	25,0	13	20,0
III тип (4 ± 3)*	Неструктурный аутотрансплантат из головки бедра	2	20,0	3	11,0	4	20,0	–		9	13,8
	Структурный аутотрансплантат из головки бедра, фиксирован винтами	2	20,0	8	30,0	7	35,0	2	25,0	19	29,2
	Чашка большого диаметра	1	10,0	–		1	5,0	–		2	3,1
	Титановая сетка	–		1	4,0	–		–		1	1,5
	Металлическая опорная конструкция (кольцо Мюллера)	–		–		–		1	12,5	1	1,5
	Аутотрансплантат из головки бедра + титановая сетка	–		1	4,0	–		–		1	1,5
IV тип (6 ± 1)*	Структурный аутотрансплантат из головки бедра, фиксированный винтами	1	10,0	1	4,0	1	5,0	–		3	4,6
	Кольцо Мюллера	–		1	4,0	–		–		1	1,5
Всего		10	100	27	100	20	100	8	100	65	100

Примечание: * — средний срок после операции (в годах).

Исходя из анализа таблицы 4, можно отметить, что при первичном эндопротезировании дефекты I типа в двух случаях были заполнены костным цементом, что вполне допустимо при цементном протезировании, которое было выполнено в данных двух случаях, в восьми случаях (три бесцементных протеза и пять цементных) дефекты заполняли костной крошкой/костными чипсами из резецированной головки бедра.

При II типе использовали структурные и неструктурные аутооттрансплантаты, что давало хорошие функциональные результаты. Из них три протеза цементной фиксации и 15 бесцементных. При этом типе дефекта отмечено всего три неудовлетворительных результата, связанных с преждевременным лизисом трансплантата; в одном из этих случаев использовалась бесцементная техника и два протеза были цементной фиксации.

Наибольшее разнообразие методик возмещения дефектов применялось при III типе. При данном типе дефекта имплантированы пять протезов цементной фиксации: два в комбинации со структурным аутооттрансплантатом, фиксированным на винты, с хорошим и удовлетворительным результатом; один — с применением титановой сетки в качестве опорной структуры с аутопластикой дефекта, один цементный протез установлен с пластикой дефекта крошкой из аутокости с удовлетворительным результатом; неудовлетворительный результат получен при установке цементного протеза с опорным кольцом Мюллера. В остальных 28 случаях при III типе дефекта устанавливались бесцементные протезы. Наилучшие результаты были отмечены при применении структурных аутооттрансплантатов, фиксированных дополнительно винтами.

Дефекты IV степени при первичном эндопротезировании встретились в трех случаях и были восполнены массивными структурными аутооттрансплантатами, фиксированными на несколько винтов к тазовой кости, что позволило получить хорошие результаты, все три протеза бесцементной фиксации. Цементный протез устанавливался в одном случае вместе с кольцом Мюллера, получен удовлетворительный результат.

Способы восполнения костных дефектов при ревизионном эндопротезировании и оценка функции тазобедренного сустава по шкале W.H. Harris представлены в таблице 5.

Таблица 5

Способы восполнения костных дефектов при ревизионном эндопротезировании в зависимости от типа дефекта по классификации W.G. Paprosky и результат по шкале W.H. Harris

Способ восполнения дефекта / функциональный результат		Отлично		Хорошо		Удовлетв.		Неудовлетв.		Всего	
		≥ 90 баллов		80–89 баллов		70–79 баллов		≤ 69 баллов			
		абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
1 тип (3 ± 2)*	Костный цемент	–		1	16,7	2	14,3	1	20,0	4	14,3
	Чашка большого диаметра	–		–		3	21,4	–		3	10,7
2А тип (4 ± 1)*	Импакционная пластика аллотрансплантатом	–		–		2	14,3	–		2	7,1
	Костный цемент	–		–		–		2	40,0	2	7,1
2В тип 2*	Костный цемент	–		–		1	7,1	–		1	3,6
2С тип (6 ± 3)*	Костный цемент	–		–		1	7,1	1	20,0	2	7,1
3А тип (3 ± 3)*	Аллотрансплантат	–		–		1	7,1	–		1	3,6
	Кольцо Мюллера	–		1	16,7	1	7,1	–		2	7,1
	Аутотрансплантат из крыла подвздошной кости	–		–		1	7,1	–		1	3,6
	Аутотрансплантат из крыла подвздошной кости + сетка + винты	1	33,3	–		–		–		1	3,6
	Аллотрансплантат +винты	1	33,3	1	16,7	–		–		2	7,1
	Аллотрансплантат + сетка + винты	1	33,3	–		–		–		1	3,6
3В тип (4 ± 2)*	Аллотрансплантат	–		1	16,7	–		–		1	3,6
	Костный цемент	–		–		1	7,1	–		1	3,6
	Аутотрансплат из крыла подвздошной кости + кольцо Мюллера	–		–		1	7,1	–		1	3,6
	Танталовый аугмент + аутотрансплантат	–		1	16,7	–		–		1	3,6
	Чашка большого диаметра	–		–		–		1	20,0	1	3,6
	Кольцо Мюллера	–		1	16,7	–		–		1	3,6
	Всего	10	100	27	100	20	100	8	100	65	100

Примечание: * — средний срок после операции (в годах).

Согласно данным, представленным в таблице 5, при ревизионных операциях для восполнения дефектов 1 типа (всего семь пациентов) в четырех (57 %) случаях при выполнении цементного протезирования дефекты заполнялись костным цементом. При применении чашек большего диаметра использовалась бесцементная фиксация.

У четырех пациентов с типом дефекта 2А в двух случаях применена цементная техника, дефекты заполнены цементом. В двух случаях использована импакционная костная пластика с последующей бесцементной фиксацией чашки. При 2В (один пациент) и 2С (два пациента) дефектах во всех случаях применяли цементную фиксацию чашки. Других остеозамещающих материалов, кроме цемента, не применяли. В случае 2С дефекта получен неудовлетворительный результат.

При 3А дефектах (восемь пациентов) бесцементная техника использовалась вместе с ауто- и аллотрансплантатами, фиксированными press-fit, а также с ауто- и аллотрансплантатами, фиксированными винтами. В остальных случаях использовали цементную технику.

Бесцементное протезирование при дефектах 3В типа (всего шесть пациентов) применяли у трех пациентов: вместе с аутокостью, фиксированной press-fit, чашкой большего диаметра и металлической опорной конструкцией. У 3 пациентов использовалась цементная фиксация: с кольцом Мюллера, с опорной конструкцией из тантала и в одном случае дефект был заполнен исключительно цементом с удовлетворительным результатом.

В зависимости от типа дефекта впадины по классификации W.G. Paprosky (для ревизионного ЭП) и AAOS (для первичного ЭП) нами разработан алгоритм выбора способа замещения костного дефекта вертлужной впадины и имплантации чашки протеза (табл. 6) [18].

Таблица 6

Способ имплантации чашки протеза в зависимости от типа костного дефекта вертлужной впадины

Вид дефекта по классификации AAOS, Paprosky	Способ имплантации чашки протеза
Дефекты I и II AAOS Дефекты I и IIA Paprosky	Возможно осуществить реимплантацию полусферической чашки с бесцементным типом press-fit фиксации в истинную вертлужную область, костная пластика ауто- или аллочипсами очагов остеолита
Дефекты III AAOS Дефекты IIB, IIC, IIIA Paprosky	Возможно осуществить реимплантацию полусферической чашки с бесцементным типом press-fit фиксации в истинную вертлужную область. Для восполнения сегментарного дефекта покрытия в области крыши впадины более 30 % площади чашки и медиального дефекта в области дна используются костные ауто- и аллотрансплантаты, аугменты из пористого металла. Возможно использование вертлужных компонентов специальной овальной формы. При выраженных медиальных дефектах возможно применение армирования дефекта титановой сеткой, фиксированной к краям впадины 2–3 винтами, перед этим дефект в обязательном порядке заполняется аутокостью, аллокостью или искусственным остеозамещающим материалом; в титановую сетку имплантируется полусферическая чашка с цементным типом фиксации. Возможно использование чашек больших размеров Jumbo-cup с ауто- или аллопластикой дефекта
Дефекты IV AAOS. Дефекты IIIB Paprosky	Необходимо использование укрепляющих колец Мюллера или антипротрузионных колец Бурш – Шнайдера с пластикой дефектов в истинной вертлужной области массивными структурными ауто- или аллотрансплантатами, титановыми аугментами; в опорное кольцо имплантируются полусферические чашки с цементным типом фиксации. Возможно использование двудольчатых или продолговатых чашек с дополнительной фиксацией винтами (дистракционный метод достижения стабильности), пластикой дефекта модульными титановыми / керамическими вставками или структурным массивным аллотрансплантатом. Возможно применение индивидуальных тазовых компонентов, изготовленных с учетом данных 3D-моделирования
Дефекты IV, V AAOS Дефекты с нарушением целостности тазового кольца	Остеосинтез передней и задней колонны с помощью реконструктивных пластин в сочетании с антипротрузионным кольцом Бурш – Шнайдера (фланцы для седалищной и подвздошной костей), пластика дефектов массивными структурными аллотрансплантатами, в кольцо имплантируется чашка с цементным типом фиксации. Возможно использование двудольчатых или продолговатых чашек с дополнительной фиксацией винтами (дистракционный метод достижения стабильности). Артродез, опорная остеотомия

В качестве клинического примера выполнения трех последовательных ревизионных замен тазового компонента в течение пяти лет после первичного протезирования приводим следующее наблюдение.

Пациентка А. с диагнозом «Двусторонний диспластический коксартроз III стадии, подвывихи бедер по Crow IV» обратилась в клинику в возрасте 55 лет с жалобами на постоянные боли в тазобедренных суставах (больше слева), ограничение движений, хромоту (рис. 2).

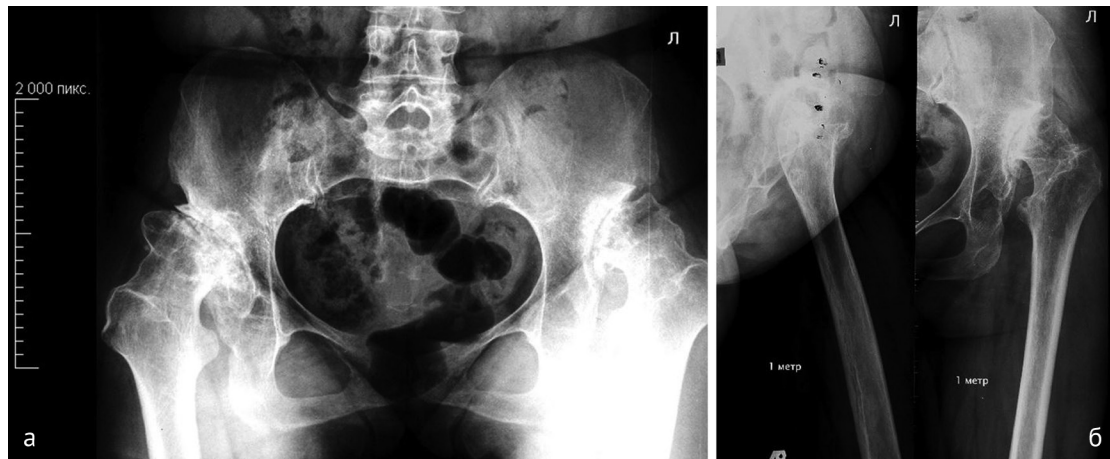


Рис. 2. Обзорная рентгенограмма таза в прямой проекции (а) и левый тазобедренный сустав (б) в боковой и прямой проекциях до операции. Двусторонний диспластический коксартроз III стадии, подвывихи бедер по Crow IV: головки смещены краниально, находятся над вертлужной областью, визуализируется дефицит костной ткани в области переднего, заднего края и крыши истинной вертлужной впадины правого и левого тазобедренных суставов. Дефекты костной ткани вертлужной впадины соответствуют III типу AAOS

Из анамнеза: в возрасте 3,5 лет выявлен врожденный двусторонний вывих бедер, по поводу которого лечилась консервативно методом вытяжения и этапными гипсовыми повязками, однако вправление вывихов не было достигнуто. С возраста 30 лет отмечала постоянные боли в тазобедренных суставах. После обращения в клинику и комплексного обследования было показано эндопротезирование тазобедренных суставов (рис. 2).

В ноябре 2009 г. выполнено эндопротезирование левого тазобедренного сустава бесцементным протезом Smith&Nephew с пластикой крыши вертлужной впадины аутооттрансплантатом из резецированной головки бедра. Дефект костной ткани вертлужной впадины III AAOS адекватно восполнен. Ранний послеоперационный период протекал без осложнений. Однако через четыре месяца вновь появились боли в области оперированного сустава, на рентгенограммах выявлены вероятностные признаки нестабильности тазового компонента: выраженные участки просветления (лизиса) костной ткани на границе чашки протеза и тазовой кости во II и III ацетабулярных зонах De Lee и Charnley (рис. 3, а). Через шесть месяцев после первичной имплантации (05.05.2010) выполнено ревизионное эндопротезирование левого тазобедренного сустава по поводу ранней нестабильности бесцементной чашки. Установлена чашка цементной фиксации, признаки нестабильности которой появились через 16 мес. после повторной ревизии: визуализировалась увеличенная в размерах впадина овальной формы с серповидным просветлением в нижних ее отделах, тазовый компонент располагался в краниальном ее отделе, дефект 3A Paprosky (рис. 3, б).

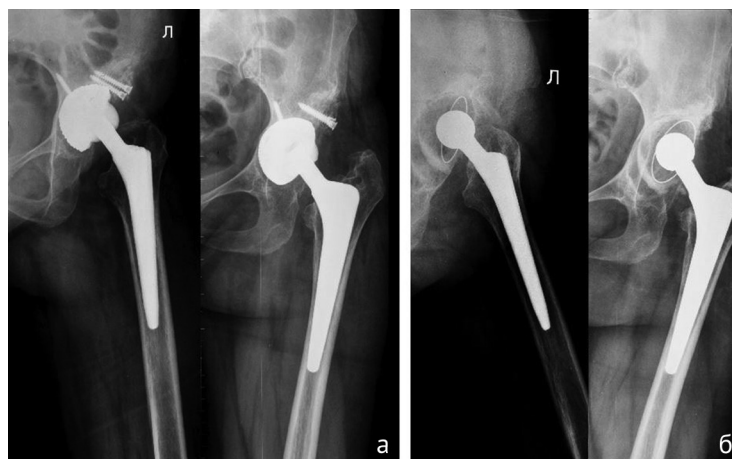


Рис. 3. Рентгенограммы левого тазобедренного сустава в боковой и прямой проекциях: а — через 6 мес. после первичного эндопротезирования (признаки нестабильности бесцементного тазового компонента); б — через 16 мес. после ревизионного протезирования с заменой чашки на цементную систему (нестабильность цементируемого тазового компонента)

Между повторными ревизиями на левом тазобедренном суставе (до развития повторной нестабильности уже цементируемого тазового компонента) 19.05.2010 г. выполнено первичное бесцементное эндопротезирование правого тазобедренного сустава системой Smith&Nephew с импакционной пластикой костной крошкой из резецированной головки бедра (рис. 4, а).

В сентябре 2011 г. выполнено второе ревизионное вмешательство по замене нестабильного цементируемого тазового компонента: выполнена костная пластика аллочипсами и установлено опорное кольцо Мюллера с имплантацией в него тазового компонента на цемент; бедренный компонент оставался стабильным (рис. 4).



Рис. 4. Рентгенограммы таза (а) и левого тазобедренного сустава в боковой и прямой проекциях (б) после первичного протезирования правого тазобедренного сустава и второго ревизионного вмешательства на левом тазобедренном суставе по замене нестабильного цементируемого тазового компонента и установки опорного кольца Мюллера

Через три года после второй ревизии пациентка вновь отметила появление болей в левом тазобедренном суставе, паху, с иррадиацией в бедро и коленный сустав. В феврале 2015 г. выполнена третья ревизия левого тазобедренного сустава. Интраоперационно выявлена нестабильность опорной конструкции Мюллера, которая удалена вместе с остатками цемента. Некоторые технические трудности возникли при освобождении пазов головок винтов для отвертки от костного цемента. Выявлен дефект передней стенки и значительный дефект свода вертлужной впадины (3B Paprosky).

Впадина поочередно обработана фрезами от 40 до 50 мм и костными ложками до кровотоковости. В область дефекта свода вертлужной впадины установлен танталовый аугмент фирмы Zimmer 50 мм высотой 15 мм, фиксирован двумя винтами $6,5 \times 35$ мм и $6,5 \times 30$ мм. После этого впадина доработана фрезами 51 и 52 мм с центрацией в истинную вертлужную область, выполнена пластика истонченного дна впадины костной крошкой (с фрез после обработки). Установлена стабильно чашка 52 мм Zimmer Trabecular Metal press-fit. Фиксация чашки дополнена тремя спонгиозными винтами $6,5 \times 35$ мм (1) и $6,5 \times 20$ мм (2). Ножка оставалась стабильной. Установлена металлическая головка + 4 мм (L) Smith&Nephew. После вправления сустав стабильный, длина ног одинаковая. На рентгенограммах положение всех компонентов эндопротеза биомеханически правильное (рис. 5).



Рис. 5. Рентгенограммы таза (а) и левого тазобедренного сустава в прямой и боковой проекциях (б) после третьего ревизионного вмешательства на левом тазобедренном суставе по замене нестабильного опорного кольца Мюллера, восполнения костного дефекта в области свода впадины танталовым аугментом фирмы Zimmer и бесцементной чашки 52 мм Zimmer Trabecular Metal press-fit. Дефект вертлужной впадины — 3B Paprosky — восполнен

На момент исследования (2024 г.) прошло 9 лет после третьей ревизионной операции по замене тазового компонента. Пациентка передвигается с тростью, жалоб нет, хромоты нет, пользуется общественным транспортом. Потребность в обезболивающих препаратах возникает эпизодически, после длительной физической нагрузки. Конечность находится в правильном положении. Объем движений в тазобедренных суставах восстановлен. Функциональный результат по шкале W.H. Harris оценен как хороший (85 баллов).

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализируя представленный выше клинический случай, как череду неудач ревизионных вмешательств, следует отметить, что исходно у больной имела сложная двусторонняя патология тазобедренных суставов с формированием неоартрозов обеих надацетабулярных областей и высоких подвывихов бедер по Crow III–IV степени на фоне выраженных дегенеративных изменений суставов и окружающих мышц. Несмотря на то, что при первичном эндопротезировании левого тазобедренного сустава был правильно выбран способ возмещения костного дефекта в области свода аутоотрансплантатом из резецированной головки бедра, и чашка протеза установлена биомеханически правильно, в истинную вертлужную область, через шесть месяцев развилась ее ранняя нестабильность.

Очевидно, в развитии ранней нестабильности тазового компонента основную роль сыграла перегрузка оперированного сустава в связи с тем, что пациенты практически сразу неосознанно начинают нагружать оперированный сустав, который уже не болит, по сравнению с неоперированным. Даже такой короткий временной промежуток повышенной нагрузки на эндопротез в раннем послеоперационном периоде привел к появлению болевого синдрома и нестабильности тазового компонента: вторичная стабилизация компонента за счет остеоинтеграции вследствие повышенной нагрузки не произошла. В случаях двусторонней тяжелой патологии суставов желательно оба сустава оперировать в одну операционную сессию или с временным промежутком не более 2–4 недель [19, 20].

При первой ревизии бесцементная чашка была заменена на цементируемую. Однако впадина уже была изменена (дефект типа IIIA AOS), увеличена в продольном размере, и не произошло адекватного замещения расширенной впадины тазовым компонентом. Чашка была установлена в верхние отделы впадины выше истинной вертлужной области, и нижний сектор имплантационного ложа остался незаполненным ни самим компонентом, ни костью, ни цементом. Поэтому развилась нестабильность тазового компонента уже через 16 мес. после ревизии. Потребовалось второе ревизионное вмешательство с установкой опорного кольца Мюллера и костной пластикой аллочипсами. Кольцо Мюллера также было установлено в верхние отделы впадины, выше истинной вертлужной области. Данный факт привел к асимметричной нагрузке на тазовые кости (перегрузке левого тазобедренного сустава) и развитию нестабильности опорной конструкции. Как при первой, так и при второй ревизии, когда костный дефицит еще был умеренным (3A Paprosky), можно было применить тазовый компонент большого диаметра — Jumbo-cup. Применение чашки большого размера обеспечивает латерализацию и небольшое каудальное смещение ротационного центра тазобедренного сустава. Биомеханика сустава, тем самым, приближается к нормальной, при этом площадь контакта чашки Jumbo-cup с костным ложем достаточно велика, что позволяет надеяться на успешную вторичную стабилизацию за счет остеоинтеграции и на хороший исход.

Удаление нестабильного опорного кольца Мюллера, фиксирующих его винтов, костного цемента при третьей ревизии еще более увеличило костный дефицит в области вертлужной впадины до формирования обширного дефекта свода вертлужной впадины и ее переднего края (дефект типа 3B Paprosky).

При третьей ревизии костный дефект типа 3B Paprosky в области свода впадины был восполнен танталовым аугментом фирмы Zimmer, бесцементной чашкой 52 мм Zimmer Trabecular Metal, имплантированной press-fit в истинную вертлужную область. Адекватное возмещение дефекта, правильный выбор размера аугмента и чашки, биомеханически правильное ее позиционирование в истинной вертлужной области позволило достигнуть ее стабильного положения и хорошего отдаленного результата. Таким образом, следует отметить важность полноценного восполнения дефектов впадины для обеспечения стабильности протеза и возможности имплантировать чашку в истинную вертлужную область для восстановления правильных анатомических взаимоотношений в суставе.

В настоящее время существуют различные варианты имплантации тазового компонента при дефиците костной ткани вертлужной впадины: установка стандартной полнопрофильной чашки бесцементной фиксации в истинную вертлужную область с костной пластикой дефекта; установка чашки в истинную вертлужную область с частичным ее недопокрытием и пластикой костными чипсами; установка чашки в более вертикальном положении; установка чашки со смещением центра ротации выше истинной вертлужной области в сохранившуюся кость в области свода; установка чашки цементной фиксации в опорные и антипротрузионные конструкции. При всех этих вариантах возможно использование в качестве остеозамещающего материала структурной аутокости из резецированной головки бедра, массивных структурных аллотрансплантатов, костных ауто- и аллочипсов, искусственного остеозамещающего материала из титана и керамики, а также их комбинации.

Их анализа данных отечественных и зарубежных исследователей следует, что наиболее широко применяемым методом восполнения дефектов при первичном эндопротезировании остается пластика костной крошкой / чипсами из аутологичной головки бедренной кости. Такая пластика хорошо воссоздает сферичность впадины и при успешной остеоинтеграции обеспечивает механическую поддержку чашки на всем ее протяжении и долгосрочное функционирование протеза. Однако объем остеозамещающего материала при этом очень ограничен и не позволяет восполнить обширный дефект. При неудачной реваскуляризации аутокость со временем может лизироваться, что приводит к потере стабильности [21]. Измельченные костные аллотрансплантаты также широко используют для пластики небольших дефектов, дополняя любую методику. Иногда их используют и как самостоятельный метод аугментации, — импакционная костная пластика. Обычно при этом используется бесцементная чашка press-fit, реже цементируемая чашка. Поверхность тазового компонента в этом случае имеет незначительный контакт с костью пациента, а контакт с донорской аллокостью может приближаться к 100 % [2].

При значительных дефектах костной ткани (тип 2B, 3A, 3B по Paprosky) одним из вариантов пластики является использование структурных ауто- или аллотрансплантатов, применение которых позволяет восстановить центр ротации и сформировать костную опору для возможных будущих ревизий. Неудовлетворительные результаты при этом способе обусловлены лизисом аллокости, если с течением времени не произошла её реваскуляризация [20]. Длительная жизнеспособность аллокости с сохранением ее опорных характеристик остается спорной [22, 23].

Цементную чашку широко использовали при первых операциях эндопротезирования тазобедренного сустава, особенно при ревизионных вмешательствах. Однако результаты ее применения на средних и длительных сроках оказались неудовлетворительными. Поэтому в настоящее время при первичном протезировании предпочтение отдается тазовым компонентам бесцементной фиксации. В случае необходимости цементной фиксации толщина цементной мантии должна быть минимальной. Дефицит толщины медиальной стенки под цементной мантией следует восполнить импакционной костной пластикой [4, 24, 25].

При выполнении ревизионных вмешательств на тазобедренном суставе следует учитывать выраженный остеопороз, рубцовые изменения капсулы, слабость окружающих мышц. Удаление протеза требует дополнительных физических усилий и сопряжено с риском перипротезных переломов, а также с увеличением протяженности и глубины дефектов костной ткани в области имплантационного ложа [26]. Одним из вариантов ревизионной замены тазового компонента при умеренной потере костной ткани является использование чашек больших размеров Jumbo-cup. Однако при несостоятельности краев вертлужной впадины данный метод неприемлем. Отрицательным моментом имплантации Jumbo-cup является то, что большой компонент, являясь в то же время и опорной конструкцией, перекрывающей дефект, ограничивает возможности регенерации тазовой кости [15].

При наличии больших дефектов 2B, 2C, 3A, 3B Paprosky выполняют пластику дефекта измельченной или структурной аллокостью, устанавливают антипротрузионное кольцо или чашки из трабекулярного металла с фиксацией press-fit и на винты. Затем в металлическую чашку или кольцо на цемент устанавливают пластмассовую чашку, при нестабильности тазового кольца требуется остеосинтез задней колонны. По исследованиям Р.М. Тихилова с соавт., применение антипротрузионного опорного кольца позволяет создать опору для тазового компонента, перенося нагрузку на оставшиеся участки подвздошной и седалищной кости. Имплантацию опорного кольца дополняют костной аллопластикой структурным или измельченным трансплантатом, имплантацией чашки из трабекулярного металла, остеосинтезом задней колонны [27, 28].

В последние годы все большее распространение получили компоненты из высокопористых материалов, в частности трабекулярного металла, которые могут быть использованы как для простых ревизий, так и для более сложных случаев, включающих остеопороз, тяжелые костные дефекты и разрыв тазового кольца [29]. Высокая пористость и сцепление с костью, близкий к костной ткани модуль упругости у конструкций из трабекулярного металла обеспечивают условия для оптимальной первичной и вторичной фиксации компонента, при этом дополнительные отверстия могут быть выполнены высокоскоростной дрелью в любом участке такого компонента для фиксации винтами к тазовой кости. Для достижения приемлемой первичной стабильности возможно покрытие конструкции костью менее 50 % [30, 31].

Достижение положительного результата лечения и долгосрочного функционирования протеза возможно только при комплексном подходе к пластике дефекта. Дефекты I и II AAOS и 1 и 2A Paprosky позволяют использовать импакционную костную пластику резорбируемыми неструктурными трансплантатами. Дефекты III и IV AAOS и 2B, 2C, 3A, 3B Paprosky требуют применения структурных трансплантатов с дополнительной фиксацией. Предпочтительнее использовать комбинированную костную пластику, включающую нерезорбируемые и резорбируемые материалы.

Перспективными как для первичного, так и для ревизионного эндопротезирования, безусловно, являются тазовые компоненты бесцементной фиксации, которые демонстрируют хорошую выживаемость спустя многие годы функционирования протеза [32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Эндопротезирование тазобедренного сустава (первичное или ревизионное) при наличии костного дефекта вертлужной впадины является сложным хирургическим вмешательством, технические аспекты которого окончательно не решены. Дефекты вертлужной впадины в своих анатомических проявлениях многообразны, что создает определенные трудности при выборе тазовых компонентов, аугментов, способов их фиксации к тазовой кости. Длительное и безболезненное функционирование эндопротеза тазобедренного сустава при дефектах вертлужной впадины обеспечивается восстановлением сферичной формы acetabulum и центра ротации сустава в истинной вертлужной области, адекватным восполнением дефицита костной ткани, надежной первичной фиксацией чашки протеза с обеспечением условий для вторичной стабилизации компонента за счет остеоинтеграции.

Разработанный алгоритм выбора способа замещения костного дефекта вертлужной впадины и имплантации чашки протеза позволяет практическому врачу адекватно оценить свой опыт, хирургические навыки и возможности клиники в обеспечении сложных реконструктивных операций на тазобедренном суставе.

Существенные сложности хирургического лечения больных с дефектами вертлужной впадины обусловлены недостаточным развитием законодательной базы в области применения индивидуальных конструкций, новых материалов и техник восполнения костного дефицита.

Конфликт интересов отсутствует.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Пронских А.А., Романова С.В., Лукинов В.Л. и др. Эндопротезирование тазобедренного сустава у пациентов с посттравматическими дефектами и деформациями вертлужной впадины. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(4):66-78. doi: 10.17816/2311-2905-2001
2. Гольник В.Н., Пелеганчук В.А., Джухаев Д.А. и др. Импакиционная костная пластика как метод выбора в замещении дефектов вертлужной впадины при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава: серия клинических случаев. *Гений ортопедии*. 2024;30(2):245-254. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-245-254. EDN: LCXNIZ.
3. Назаров В.А., Закревский К.В., Согомонян Л.В. Комбинация известных способов костной аутопластики при эндопротезировании диспластического тазобедренного сустава II степени по Hartofilakidis у пациента с тяжелой сопутствующей патологией. *Уральский медицинский журнал*. 2023;22(4):85-91. doi: 10.52420/2071-5943-2023-22-4-85-91
4. Clement ND, van der Linden M, Keating JF. Higher rate of complications with uncemented compared to cemented total hip arthroplasty for displaced intracapsular hip fractures: A randomised controlled trial of 50 patients. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2021;31(3):587-594. doi: 10.1007/s00590-020-02808-x
5. Коваленко А.Н., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др. Дизайн индивидуальных вертлужных компонентов: влияние типа дефекта на вид конструкции. *Российский журнал биомеханики*. 2021;25(2):159-172. doi: 10.15593/RZhBiomeh/2021.2.04
6. Ковалдов К.А., Морозова Е.А., Герасимов Е.А. и др. Результаты лечения пациентов с массивными костными дефектами вертлужной впадины. *Политравма*. 2024;(1):27-35. doi: 10.24412/1819-1495-2024-1-27-35
7. Schatzker J, Glynn MK, Ritter D. A preliminary review of the Müller acetabular and Burch-Schneider antiprotrusion support rings. *Arch Orthop Trauma Surg* (1978). 1984;103(1):5-12. doi: 10.1007/BF00451312
8. Загородний Н.В., Алексанян О.А., Чряган Г.А. и др. Реконструкция вертлужной впадины с использованием компонентов из трабекулярного металла. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2019;(1):5-10. doi: 10.17116/vto20190115
9. Коваленко А.Н., Тихилов Р.М., Шубняков И.И. и др. Ревизии вертлужных компонентов индивидуальными конструкциями с минимальным сроком наблюдения 12 месяцев: функциональные результаты, качество жизни и удовлетворенность пациентов. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(1):21-31. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-1-21-31
10. D'Antonio JA, Capello WN, Borden LS, et al. Classification and management of acetabular abnormalities in total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1989;(243):126-137.
11. Crowe JF, Mani VJ, Ranawat CS. Total hip replacement in congenital dislocation and dysplasia of the hip. *J Bone Joint Surg Am*. 1979;61(1):15-23.
12. Волокитина Е.А., Колотыгин Д.А. Особенности первичной и ревизионной имплантации бесцементного тазового компонента при диспластическом коксартрозе. *Травматология и ортопедия России*. 2009;(3):119-121. doi: 10.17816/2311-2905-1913
13. Волокитина Е.А., Колотыгин Д.А. Эндопротезирование тазобедренного сустава при деформациях тазовой кости: особенности предоперационного проектирования и хирургической техники. *Вестник травматологии и ортопедии Урала*. 2013;1(2):42-48.
14. Ершов А.С., Волокитина Е.А. Эндопротезирование тазобедренного сустава у больных ревматоидным артритом. *Уральский медицинский журнал*. 2022;21(2):26-37. doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-26-37
15. Удинцева М.Ю., Кутепов С.М. Причины ревизий эндопротезов тазобедренного сустава у больных ревматоидным артритом. *Уральский медицинский журнал*. 2022;21(2):63-66. doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-63-66
16. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Чиладзе И.Т. и др. Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава с использованием аугментов из трабекулярного металла при последствиях переломов вертлужной впадины. *Травматология и ортопедия России*. 2011;17(1):76-81. doi: 10.21823/2311-2905-2011-0-1-76-81
17. Paprosky WG, Perona PG, Lawrence JM. Acetabular defect classification and surgical reconstruction in revision arthroplasty. A 6-year follow-up evaluation. *J Arthroplasty*. 1994;9(1):33-44. doi: 10.1016/0883-5403(94)90135-x

18. Волокитина Е.А., Удинцева М.Ю., Ершов А. С., Кутепов С.М. *Восполнение дефектов вертлужной впадины при первичном и ревизионном эндопротезировании. Учебное пособие*. Екатеринбург: «ИИЦ «Знак качества»; 2022:32. Доступно по: https://usma.ru/wp-content/uploads/2024/09/Дефекты_вертл_впад.pdf. Ссылка активна на 04.10.2024.
19. Бабушкин В.Н. *Билатеральное эндопротезирование в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний тазобедренных суставов: автореф. дис. ... канд. мед. наук*. Курган; 2007:25. Доступно по: <https://medical-diss.com/docreader/240392/a#?page=1>. Ссылка активна на 04.10.2024.
20. Волокитина Е.А., Колотыгин Д.А. Особенности первичной и ревизионной имплантации бесцементного тазового компонента при диспластическом коксартрозе. *Травматология и ортопедия России*. 2009;(3):119-121. doi: 10.17816/2311-2905-1913
21. Malahias MA, Mancino F, Gu A, et al. Acetabular impaction grafting with mesh for acetabular bone defects: a systematic review. *Hip Int*. 2022;32(2):185-196. doi: 10.1177/1120700020971851
22. Dawson J, Fitzpatrick R, Carr A, Murray D. Questionnaire on the perceptions of patients about total hip replacement. *J Bone Joint Surg Br*. 1996;78-B(2):185-190. doi:10.1302/0301-620X.78B2.0780185
23. Morlock MM, Hube R, Wassilew G, et al. Taper corrosion: a complication of total hip arthroplasty. *EFORT Open Rev*. 2020;5(11):776-784. doi: 10.1302/2058-5241.5.200013
24. Петров А.Б., Рузанов В.И., Машуков Т.С. Отдаленные результаты хирургического лечения пациентов с переломами вертлужной впадины. *Гений ортопедии*. 2020;26(3): 300-305. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-300-305
25. Hao Y, Luo D, Wu J, et al. A novel revision system for complex pelvic defects utilizing 3D-printed custom prosthesis. *J Orthop Translat*. 2021;31:102-109. doi: 10.1016/j.jot.2021.09.006
26. Цыбин А.В., Любчук В.В., Фалькович А.С. и др. Определение конгруэнтности стандартного полусферического вертлужного компонента и посттравматически деформированной вертлужной впадины при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава. Экспериментальное исследование. *Гений ортопедии*. 2022;28(5):698-703. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-5-698-703
27. Ершов А. С., Волокитина Е. А., Меньщикова И. А., Удинцева М. Ю. Особенности морфологии вертлужной впадины, определяющие технологию имплантации тазового компонента протеза. *Уральский медицинский журнал*. 2022;21(2):6-12. doi: 10.52420/2071-5943-2022-21-2-6-12
28. Тихилов Р.М., Джавадов А.А., Денисов А.О. и др. Анализ экономической эффективности использования индивидуальных вертлужных конструкций при ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):234-240. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-234-240
29. Рукин Я.А., Лычагин А.В., Мурылев В.Ю. и др. Ранние результаты эндопротезирования тазобедренного сустава с применением индивидуальных аугментов при диспластическом коксартрозе. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(2):50-59. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-50-59
30. Николаев Н.С., Малюченко Л.И., Преображенская Е.В. и др. Применение индивидуальных вертлужных компонентов в эндопротезировании тазобедренного сустава при посттравматическом коксартрозе. *Гений ортопедии*. 2019;25(2):207-213. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-207-213
31. Алексанян О.А., Чраган Г.А., Каграманов С.В., Загородний Н.В. Лечение обширного дефекта вертлужной впадины у пациентки с асептической нестабильностью тотального эндопротеза тазобедренного сустава. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2020;27(3):60-66. doi: 10.17816/vto202027360-66
32. Lychagin AV, Rosenberg N, Gritsyuk AA. Evaluation of the potential complications of surgical wound drainage in primary total hip arthroplasty: a prospective controlled double-blind study. *Hip Int*. 2021;31(5):589-592. doi: 10.1177/1120700020941749

Статья поступила 20.09.2024; одобрена после рецензирования 24.09.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 20.09.2024; approved after reviewing 24.09.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Мария Юрьевна Удинцева — аспирант, травматолог-ортопед, izmodenova96@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5500-4012>;

Елена Александровна Волокитина — доктор медицинских наук, профессор, заведующая кафедрой, ведущий научный сотрудник, volokitina_elena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>;

Денис Анатольевич Колотыгин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, kolotigin@inbox.ru;

Сергей Михайлович Кутепов — доктор медицинских наук, профессор, член-корр. РАН, руководитель института, kcm@usma.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3069-8150>.

Information about the authors:

Maria Yu. Udintseva — post-graduate student, orthopaedic surgeon, izmodenova96@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-5500-4012>;

Elena A. Volokitina — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, Leading Researcher, volokitina_elena@rambler.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5994-8558>;

Denis A. Kolotigin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, kolotigin@inbox.ru;

Sergey M. Kutepov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Institute, kcm@usma.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3069-8150>.

Вклад авторов:

Удинцева М.Ю. — поиск и анализ публикаций по теме, интерпретация полученных данных, подготовка и написание текста статьи, редактирование текста статьи.

Волокитина Е.А. — идея и разработка концепции статьи, интерпретация полученного материала, окончательное редактирование текста статьи,

Колотыгин Денис Анатольевич — поиск и анализ публикаций по теме, подготовка и написание текста статьи.

Кутепов Сергей Михайлович — поиск и анализ публикаций по теме.

Научная статья

УДК 616.728.2-089.227.843-77-089.168.1-002: 615.33

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-811-821>

Результаты интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста при выполнении второго этапа РЭТС

В.Ю. Мурылев^{1,2}, Д. Парвизи³, А.И. Руднев^{1,2}✉, Г.А. Куковенко^{1,2}, П.М. Елизаров^{1,2},
А.В. Музыченков^{1,2}, С.С. Алексеев², Д.О. Голубкин¹, К.Г. Яковлев², А.О. Угольников²

¹ Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, Россия

² Городская клиническая больница им. С.П. Боткина, Москва, Россия

³ Университет Аджибадем, Стамбул, Турция

Автор, ответственный за переписку: Александр Игоревич Руднев, ruda310895@gmail.com

Аннотация

Введение. Верификация реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава остается нерешенной проблемой. Существующие методы диагностики обладают различными диагностическими показателями. Альфа-дефензин экспресс-тест (АДЭТ) является современным и точным инструментом, позволяющим выявлять/исключать перипротезную инфекцию (ППИ), однако его применение у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава еще до конца не изучено.

Цель работы — определить диагностические показатели (точность, специфичность, чувствительность, AUC) альфа-дефензин экспресс-теста в рамках верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава при выполнении второго этапа РЭТС.

Материалы и методы. В проспективном исследовании, проводившемся в период 2019–2024 гг., осуществлена оценка эффективности интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста у 105 пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава при выполнении второго этапа РЭТС. «Золотым стандартом» диагностики реинфекции принято микробиологическое исследование интраоперационных образцов периимпланта тканей и синовиальной жидкости.

Результаты. Рост микрофлоры по результатам интраоперационного микробиологического исследования выявлен в 24 (23 %) случаях. Расхождение в результатах интраоперационного микробиологического исследования и результатов альфа-дефензин экспресс-теста обнаружено в 10 (11 %) случаях. Были также выявлены ложноположительные и ложноотрицательные случаи. Альфа-дефензин экспресс-тест продемонстрировал 96,39 % специфичности, 89,52 % точности и 63,64 % чувствительности метода. Показатель AUC составил 0,8.

Обсуждение. АДЭТ обладает хорошими диагностическими показателями при верификации ППИ у пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава. Применение АДЭТ у пациентов, с установленным спейсером тазобедренного сустава, продолжающих прием антибактериальной терапии, дает возможность использования теста при выполнении 2 этапа РЭТС. Однако результаты применения АДЭТ у пациентов при выполнении второго этапа РЭТС нуждаются в дополнительных исследованиях.

Заключение. Альфа-дефензин экспресс-тест, несмотря на неоднозначные данные научных публикаций, обладает высокими диагностическими показателями в рамках интраоперационной верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава, позволяя своевременно скорректировать тактику лечения. Случаи «сухого сустава», использование синовиальной жидкости, не соответствующей требованиям выполнения теста, а также слабовирулентная коагулазонегативная микрофлора, в том числе в составе микробных ассоциаций, являются ограничениями применения альфа-дефензин экспресс-теста.

Ключевые слова: перипротезная инфекция (ППИ), диагностика реинфекции тазобедренного сустава, интраоперационная аспирация синовиальной жидкости тазобедренного сустава, спейсер тазобедренного сустава, ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава, альфа-дефензин экспресс-тест

Для цитирования: Мурылев В.Ю., Парвизи Д., Руднев А.И., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Музыченков А.В., Алексеев С.С., Голубкин Д.О., Яковлев К.Г., Угольников А.О. Результаты интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста при выполнении второго этапа РЭТС. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):811-821. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-811-821. EDN: OKXUJE.

© Мурылев В.Ю., Парвизи Д., Руднев А.И., Куковенко Г.А., Елизаров П.М., Музыченков А.В., Алексеев С.С., Голубкин Д.О., Яковлев К.Г., Угольников А.О., 2024



Results of the intraoperative alpha defensin lateral flow test in the second stage of revision hip arthroplasty

V.Yu. Murylev^{1,2}, J. Parvizi³, A.I. Rudnev^{1,2}✉, G.A. Kukovenko^{1,2}, P.M. Elizarov^{1,2},
A.V. Muzychenkov^{1,2}, S.S. Alekseev², D.O. Golubkin¹, K.G. Yakovlev², A.O. Ugolnikova²

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

² Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

³ Acibadem University, Istanbul, Turkey

Corresponding author: Alexander I. Rudnev, ruda310895@gmail.com

Abstract

Background Alpha defensin lateral flow (ADLF) test is a current accurate tool for detecting/excluding periprosthetic joint infection (PJI); however, its usage in patients with a hip joint spacer has not yet been fully studied.

The **purpose** of the study was to determine the diagnostic parameters (accuracy, specificity, sensitivity, AUC) of the alpha-defensin lateral flow test as part of the reinfection verification in patients with a hip joint spacer in the second stage of revision hip arthroplasty (RHA).

Material and methods In a prospective study the effectiveness of the intraoperative use of ADLF test was evaluated in 105 patients with hip joint spacers during the 2nd stage of revision hip arthroplasty (RHA). The standard microbiological examination of intraoperative samples of tissues and synovial fluid was accepted as the gold standard for re-infection diagnosis.

Results The growth of microflora according to the results of intraoperative microbiological examination was detected in 24 (23 %) cases. The discrepancy in the results of intraoperative microbiological examination and the results of the ADLF test was found in 10 (11 %) cases. False positive and false negative cases were identified. ADLF test demonstrated 96.39 % specificity, 89.52 % accuracy and 63.64 % sensitivity. The AUC index was 0.8.

Discussion ADLF test has good diagnostic indicators for the verification of PJI in patients after hip replacement. The use of ADLF test in patients with a hip joint spacer who continue antibacterial therapy allows the test to be performed in the 2nd stage of RHA. However, the results of ADLF test in patients during the 2nd stage of RHA show that additional studies are required.

Conclusion The ADLF test, despite the divergent data from scientific publications, demonstrates high diagnostic value for intraoperative verification of reinfection in patients with a hip joint spacer, allowing timely correction of treatment tactics. "Dry tap", bloody synovial fluid, as well as weakly virulent coagulase-negative microflora, including in microbial associations, are limitations of the ADLF test application.

Keywords: periprosthetic joint infection (PJI), diagnosis of hip joint reinfection, intraoperative aspiration of synovial fluid of the hip joint, hip joint spacer, revision hip arthroplasty, alpha defensin lateral flow test (ADLF)

For citation: Murylev VYu., Parvizi J., Rudnev AI, Kukovenko GA, Elizarov PM, Muzychenkov AV, Alekseev SS, Golubkin DO, Yakovlev KG, Ugolnikova AO. Results of the intraoperative alpha defensin lateral flow test in the second stage of revision hip arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):811-821. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-811-821

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, являясь «операцией XXI века» [1], позволяет значительно улучшить качество жизни пациентов, страдающих поздними стадиями остеоартроза [2]. Растущий уровень ожирения, увеличение продолжительности жизни населения способствуют росту случаев заболеваний опорно-двигательного аппарата [3, 4]. Как следствие, растет число операций первичного эндопротезирования крупных суставов и связанное с этим число потенциальных осложнений [5]. Перипротезная инфекция (ППИ) является одним из лидирующих по частоте встречаемости, деструктивности и стоимости лечения осложнением после операций по эндопротезированию суставов [6, 7]. Своевременная и точная диагностика перипротезной инфекции тазобедренного сустава позволяет наиболее рационально выбрать тактику лечения и снизить риск потенциально неблагоприятных последствий [8].

«Золотым стандартом» лечения пациентов с хронической формой перипротезной инфекции является двухэтапное ревизионное эндопротезирование тазобедренного сустава (РЭТС), в рамках которого на первом этапе проводят удаление компонентов эндопротеза, санацию, установку спейсера, импрегнированного антибактериальными препаратами. После купирования инфекционного процесса, заживления раны и нормализации лабораторных показателей проводят второй этап РЭТС, в рамках которого выполняют удаление спейсера, санацию, установку ревизионных компонентов эндопротеза [9]. Так или иначе, авторы говорят о высоких показателях реинфекции после выполнения второго этапа РЭТС [10, 11]. В связи с этим периоперационная диагностика с целью исключения реинфекции при выполнении второго этапа РЭТС является крайне важной задачей. Существуют различные алгоритмы по диагностике ППИ, такие как ICM, WAIOT, EBJIS, каждый из которых обладает хорошими диагностическими показателями [12]. Однако использование данных алгоритмов для принятия решения о выполнении второго этапа на данный момент имеет ограниченную значимость [13]. В условиях отсутствия общепринятого предоперационного диагностического алгоритма перед выполнением второго этапа РЭТС актуальным становится применение различных синовиальных интраоперационных экспресс-тестов, позволяющих исключить/выявить реинфекцию и в случае необходимости изменить тактику лечения.

Альфа-дефензин экспресс-тест (АДЭТ) является одним из наиболее современных, быстрых, чувствительных и специфичных тестов, позволяющих эффективно верифицировать ППИ, даже в условиях продолжающейся антибактериальной терапии [14, 15, 16]. Более того, в обновленный алгоритм ICM 2018 добавлено определение альфа-дефензиновых белков в синовиальной жидкости как «малый критерий» диагностики ППИ [17]. Однако в настоящее время недостаточно данных о том, насколько АДЭТ эффективен для выявления реинфекции после установки спейсера [18]. Существует мнение, согласно которому особенности местного иммунитета после операций первого этапа РЭТС, а также само по себе наличие установленного спейсера, импрегнированного антибактериальными препаратами, способствуют снижению прогностической значимости использования различных сывороточных и, тем более, синовиальных биомаркеров с целью исключения реинфекции [19]. Доступные сведения об оценке диагностических показателей АДЭТ в рамках периоперационной диагностики реинфекции при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава в значительной степени различаются [20, 21, 22, 23].

Цель работы — определить диагностические показатели (точность, специфичность, чувствительность, AUC) альфа-дефензин экспресс-теста в рамках верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава при выполнении второго этапа РЭТС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В проспективном исследовании, проведенном в 2019–2024 гг. на базе ортопедического отделения ГКБ им. С.П. Боткина, приняло участие 135 пациентов.

Критерии включения:

- впервые установленный спейсер тазобедренного сустава по поводу перипротезной инфекции;
- отсутствие клинических признаков инфекционного процесса в области планируемой операции (отсутствие свища, локальной гиперемии, гипертермии);
- согласие на выполнение второго этапа ревизионного эндопротезирования;
- письменное информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения в исследование:

- активный инфекционный процесс с наличием свищевого хода в области тазобедренного сустава, локальной гиперемией, гипертермией;
- ранее выполненная операция по Гирдлестоуну («висячее бедро») по поводу перипротезной инфекции;

- объективные противопоказания в силу соматического или психического статуса к ревизионной операции;
- наличие ВИЧ-инфекции;
- повторно выполненная имплантация спейсера.

Критерии исключения:

- появление у пациента свищевого хода в области исследуемого тазобедренного сустава;
- отказ пациента от оперативного вмешательства и дальнейшее нежелание участвовать в исследовании;
- выявление реинфекции при проведении предоперационной диагностики;
- смерть пациента до выполнения второго этапа РЭТС.

В исследовании проводили оценку диагностических показателей интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава при проведении второго этапа РЭТС.

Средний возраст пациентов составил 64 года (42–78 лет). Большинство пациентов, включенных в исследование, — женщины ($n = 67$; 63 %), мужчин было 38 человек (37 %). Среднее время до выполнения второго этапа РЭТС составило 45 (19–69) недель.

Все 135 (100 %) пациентов, которые поступали для выполнения второго этапа РЭТС, предварительно обследованы с целью исключения реинфекции в области тазобедренного сустава. В рамках предоперационного исключения реинфекции у пациентов анализировали сывороточные биомаркеры (СОЭ, СРБ, число лейкоцитов в общем анализе крови, интерлейкин-6) и выполняли предоперационную аспирацию синовиальной жидкости исследуемого тазобедренного сустава с последующим микробиологическим анализом аспирата.

При проведении предоперационной диагностики выявлено 26 (19 %) случаев роста микрофлоры (по результатам предоперационного микробиологического исследования при выполнении предоперационной аспирации синовиальной жидкости). Ситуацию трактовали как реинфекцию. Эти пациенты исключены из исследования и направлены на повторную санацию и замену спейсера тазобедренного сустава.

Было также выявлено 4 (3 %) случая появления свища в области интересующего тазобедренного сустава до выполнения второго этапа РЭТС. Ситуацию трактовали как выявление свищевой формы реинфекции. Эти пациенты также исключены из исследования и направлены на выполнение санации, повторной установки спейсера тазобедренного сустава (рис. 1).

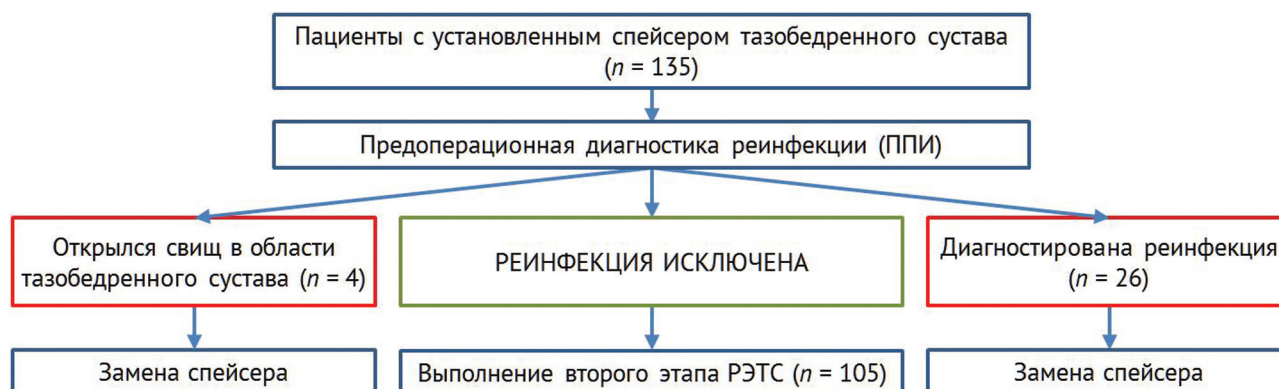


Рис. 1. Блок-схема дизайна исследования

По данным предоперационной диагностики, реинфекция у 105 (78 %) пациентов была исключена. Все 105 пациентов, поступающих для выполнения второго этапа ревизионного эндопротезирования, в обязательном порядке должны были закончить прием антибактериальных препаратов не менее чем за 14 дней до даты планируемой операции (так называемые «антибактериальные каникулы»).

В рамках второго этапа ревизионного эндопротезирования проводили удаление спейсера, санацию и установку ревизионных компонентов эндопротеза. У всех пациентов при доступе и после эксплантации спейсера взяты образцы перимплантных тканей из полости сустава и из-под удаленных компонентов спейсера (от 3 до 6 образцов), которые затем подвергали микробиологическому анализу с продолжительностью культивирования 14 дней и обязательным определением чувствительности к антибактериальным препаратам в случае выявления роста микроорганизмов.

На этапе доступа к спейсеру до вскрытия фасции у всех пациентов проводили аспирацию синовиальной жидкости с целью дальнейшего микробиологического исследования. Культивирование осуществляли на питательной среде PEDS PLUS с продолжительностью культивирования 14 дней. При наличии достаточного объема синовиальной жидкости (не менее 5 мл) без видимых следов попутной крови и/или других примесей с целью интраоперационной верификации реинфекции выполняли экспресс-тест на альфа-дефензин.

Интраоперационное введение антибактериальных препаратов производили только после забора образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости. При продолжительности операции в течение 2–4 часов и более (в зависимости от вводимого препарата) выполняли введение дополнительной дозы антибактериальных препаратов в соответствии с клиническими рекомендациями [24].

При отсутствии синовиальной жидкости во время интраоперационной аспирации («сухой сустав») пациенту назначали курс двухкомпонентной эмпирической антибактериальной терапии до получения результатов интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей. В случае отсутствия роста микрофлоры по результатам интраоперационного микробиологического исследования при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования курс антибактериальной терапии отменяли.

Результаты интраоперационного микробиологического анализа образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости во время выполнения второго этапа РЭТС были использованы в качестве эталонных, на основе которых оценивали и анализировали результаты интраоперационной верификации реинфекции с использованием альфа-дефензин экспресс-теста.

Выполнение альфа-дефензин экспресс-теста и интерпретация полученных результатов соответствовали инструкции производителя (рис. 2).

Интенсивность контрольной полоски и результат тест-полоски на устройстве могут варьировать. Любая сплошная красновато-розовая полоса считается полоской, независимо от интенсивности или размера. Результаты анализа не следует интерпретировать по истечении 20 минут.

Отрицательный результат для альфа-дефензина означает только наличие красновато-розовой контрольной полосы (C) на устройстве без появления результата на тест-полоске (T) после 10 мин. Наличие контрольной полосы свидетельствует о правильности проведения теста.

Положительный (неотрицательный) результат для альфа-дефензина — это появление красновато-розовой контрольной полосы (C) на устройстве и красновато-розовой полосы на тест-полоске (T). Наличие контрольной полосы свидетельствует о правильности проведения теста.

Недействительный тест: перед интерпретацией результатов проверяется, появилась ли на устройстве контрольная полоска с маркировкой «С». Если контрольная полоска не появилась, тест-полоска не проявилась полностью или фон не стал прозрачным, анализ считается недействительным и его результаты не могут быть использованы. Тест следует повторить с новым устройством. Для повторного тестирования используют предварительно приготовленный флакон для разведения. Повторный анализ должен быть проведен в течение 4 часов.

В случае выявления положительного результата пациенту назначали курс двухкомпонентной эмпирической антибактериальной терапии до получения результатов интраоперационного микробиологического исследования. При получении роста микрофлоры пациента переводили на антибактериальные препараты с учетом данных чувствительности выявленного микроорганизма.

Исследование проведено в соответствии с «Правилами клинической практики в Российской Федерации» (Приказ Минздрава РФ от 19.06.2003 г. No 266), этическими принципами Хельсинкской деклара-

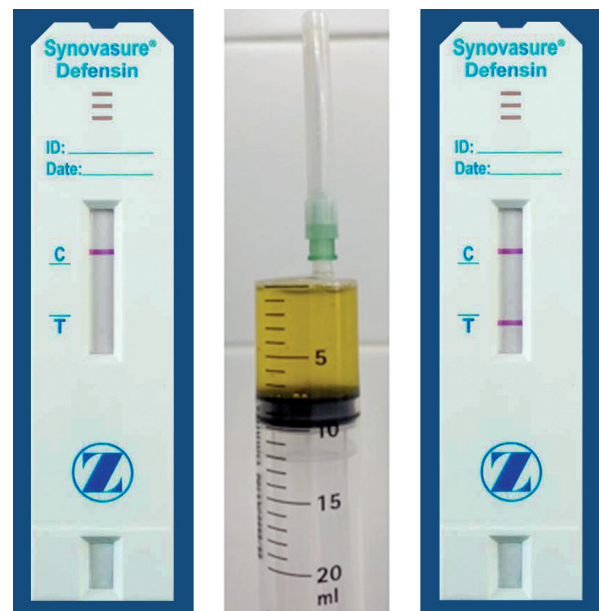


Рис. 2. Иллюстрация результатов альфа-дефензин экспресс-теста: слева — отрицательный результат, в центре — образец используемой синовиальной жидкости, справа — положительный результат¹

¹ <https://www.zimmerbiomet.com/content/dam/zb-corporate/en/products/specialties/diagnostics/synovasure-alpha-defensin-lateral-flow-test/1314.2-GLBL-en-Synovasure-Reference-Guide.pdf>

ции (World Medical Association Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) и одобрено локальным этическим комитетом при Первом МГМУ им. И.М. Сеченова (протокол от 20.01.2022 No 01-22).

Для сбора, обработки и систематизации информации использовали программу Microsoft Office Excel. Для определения статистической значимости данных применяли t-критерий Стьюдента. Статистически значимыми считали различия на уровне значимости $p < 0,05$. Данные также проанализированы с помощью программы MedCalc 13.2.2 (MedCalc Software bv, Ostend, Belgium) с целью проведения ROC-анализа и определения чувствительности, AUC, специфичности и точности альфа-дефензин экспресс-теста в рамках интраоперационной верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно результатам интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава было выявлено 24 случая (23 %) роста микрофлоры (рис. 3).

Получены следующие данные относительно результатов интраоперационной верификации реинфекции при использовании альфа-дефензин экспресс-теста: из 105 пациентов, которым выполняли ревизионное вмешательство, оценить эффективность данного теста удалось в 86 (82 %) случаях (рис. 4).

У 3 (3 %) пациентов при интраоперационной аспирации получена синовиальная жидкость с большим содержанием попутной крови. У остальных 16 (15 %) пациентов при выполнении интраоперационной аспирации синовиальной жидкости последнюю получить не удалось («сухой сустав»). Этот факт говорит о том, что в 18 % случаев оценить эффективность любых синовиальных биомаркеров невозможно (рис. 4).

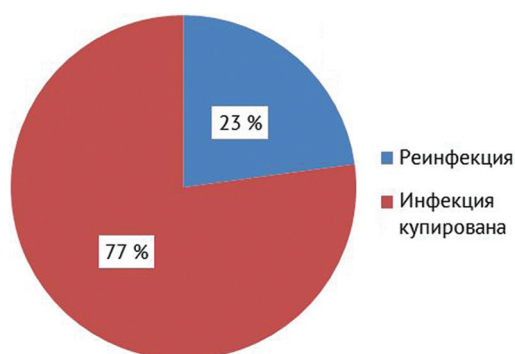


Рис. 3. Результаты интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости



Рис. 4. Распределение пациентов в соответствии с интраоперационно полученным аспиратом

Диагностические показатели альфа-дефензин экспресс-теста при получении достаточного количества синовиальной жидкости без посторонних примесей представлены на диаграмме (рис. 5).

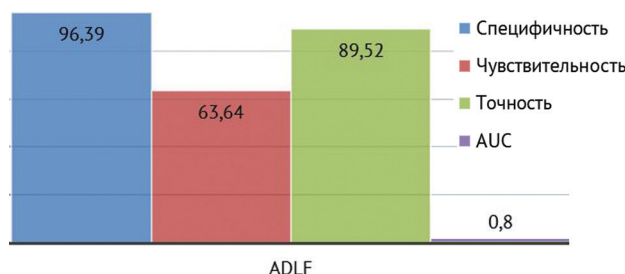


Рис. 5. Диагностические показатели интраоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава

В соответствии с результатами интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости получено 65 (76 %) истинно отрицательных и 11 (13 %) истинно положительных результатов альфа-дефензин экспресс-теста.

Также зарегистрированы 10 (11 %) случаев, при которых наблюдали расхождение результатов интраоперационного альфа-дефензин экспресс-теста и интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости: ложноотрицательный результат — 7 случаев (7 %), ложноположительный результат — 3 (4 %) случая.

Статистически значимых различий при анализе полученных результатов интраоперационного микробиологического исследования образцов периимплантных тканей и синовиальной жидкости при сравнении с результатами интраоперационного выполненного альфа-дефензин экспресс-теста не выявлено ($p \geq 0,05$).

ОБСУЖДЕНИЕ

В исследовании, посвященном особенностям воздействия артикулирующих спейсеров на периимплантные ткани, выявлено, что спейсеры, изготовленные из ПММА, способствуют иммуномодулирующему воздействию на синовиальную оболочку и окружающие имплант ткани. Образующаяся на месте контакта спейсер–кость мембрана индуцирована различными иммунными клетками (за счет истирания цемента, образования цементного дебриса и миграции компонентов клеточного иммунитета) [29]. Важно понимать, что антибактериальные препараты, входящие в состав спейсера, высвобождаясь в синовиальную жидкость, способствуют получению ложноотрицательных результатов микробиологического исследования [30].

Вопрос продолжительности выделения антибактериальных препаратов из спейсера вполне дискуссионный. В связи с чем точность синовиальных биомаркеров при аспирации синовиальной жидкости у пациентов с установленным спейсером в разные сроки может отличаться. Так, S.P. Boelch с соавт. продемонстрировали, что локальная концентрация антибактериальных препаратов может сохраняться повышенной более 6 недель с момента операции. Авторы отмечают, что указанные данные получены в эксперименте *in vitro*, и что в ситуациях *in vivo* продолжительность выделения антибиотика может отличаться [31]. Исходя из вышеизложенного, наличие в полости сустава повышенной концентрации иммунных клеток и антибактериальных препаратов может способствовать ложным результатам диагностики реинфекции при выполнении исследований синовиальной жидкости.

Несмотря на обилие различных сывороточных и синовиальных маркеров перипротезной инфекции, показатели диагностической точности синовиальных тестов превосходят сывороточные биомаркеры [25]. Однако синовиальную жидкость удается получить далеко не во всех случаях при проведении пред/интраоперационной аспирации. В связи с чем, оценить эффективность любых синовиальных биомаркеров с целью верификации ППИ/реинфекции невозможно примерно в трети случаев [26, 27]. В нашем исследовании количество случаев, при которых выполнить АДЭТ в связи с отсутствием / крайне скудным количеством или не соответствующей критериям выполнения АДЭТ синовиальной жидкости при интраоперационной аспирации, составило 18 %.

Доказана высокая эффективность альфа-дефензин теста для верификации перипротезной инфекции в крупных суставах [28, 29, 30, 31, 32]. В свою очередь, публикаций, в которых оценивался диагностический потенциал альфа-дефензин экспресс-теста в рамках исключения/подтверждения реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава, немного.

C.N. Carender et al. проводили оценку диагностических показателей предоперационного применения альфа-дефензин экспресс-теста у пациентов с установленным спейсером коленного и тазобедренного суставов перед выполнением второго этапа ревизионного эндопротезирования [22]. Авторы продемонстрировали данные о высоких показателях специфичности (96 %) при 0 % показателе чувствительности метода, говоря о том, что проведение альфа-дефензин теста не повышало эффективности предоперационного исключения реинфекции при его добавлении к общепринятым синовиальным и серологическим маркерам инфекции [22].

В других исследованиях авторы выявили высокие диагностические показатели применения альфа-дефензин экспресс-теста перед выполнением ревизионного эндопротезирования [21, 33]. В исследовании S. Frangiamore et al. показатели специфичности и чувствительности метода составили 97 % и 67 % соответственно [33]. W. Stone et al. также говорят о высоких значениях специфичности (92 %) при не столь значительных показателях чувствительности (50 %) при использовании альфа-дефензин экспресс-теста у пациентов с установленным спейсером перед выполнением второго этапа ревизионного эндопротезирования [21].

Авторы обращают внимание на два ложноотрицательных результата альфа-дефензин экспресс-теста, отмечая рост *Cutibacterium acnes* в одном случае и выявление роста двух различных коагулазонегативных стафилококков (микробная ассоциация) во втором случае [21].

Справедливости ради, стоит подчеркнуть, что ни W.Z. Stone, ни S.J. Frangiamore в своих работах не указывали количество «сухих суставов», в связи с чем истинные показатели эффективности альфа-дефензин теста у пациентов с установленным спейсером в данных публикациях остаются до конца не ясными [21, 33].

В нашем исследовании также выявлено семь случаев ложноотрицательных результатов альфа-дефензин экспресс-теста, связанных в 5 (71 %) случаях с ростом различных слабовирулентных коагулазонегативных микроорганизмов и в 2 (29 %) случаях с выявлением различных микробных ассоциаций.

Полученные нами ложноотрицательные результаты АДЭТ согласуются с причинами ложноотрицательных результатов в других исследованиях [21, 34, 35].

Ложноположительные результаты альфа-дефензин теста (3 случая, 4 %), полученные в нашем исследовании, по всей видимости, связаны с использованием жидкости, не полностью соответствующей критериям выполнения теста: полученная при интраоперационной аспирации синовиальная жидкость имела в своем составе геморрагический компонент (рис. 6).

В некоторых публикациях говорится об успешном применении АДЭТ при получении СЖ, содержащей примесь крови, в отличие от использования тест-полосок для определения лейкоцитарной эстеразы [36, 37]. Однако авторы не уточняли объем разбавления/примесей крови при использовании данных тестов.

В инструкции использования дается заключение о высоких диагностических показателях АДЭТ, однако есть примечание, что данные показатели актуальны при использовании образцов синовиальной жидкости, исключая образцы с разведением крови $> 20\%$ ². В связи с чем, вероятность получения ложноположительных результатов АДЭТ при использовании синовиальной жидкости с более чем 20 % разведением крови не исключена.

Согласно результатам проведенного нами исследования, показатели диагностической точности интраоперационного использования АДЭТ в рамках верификации реинфекции у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава составили 96,39 % для специфичности, 63,64 % для чувствительности метода, что находит отражение в результатах аналогичных исследований [21, 33].

A. Shahi et al. утверждают, что такой инструмент диагностики перипротезной инфекции как альфа-дефензин обладал более высокой специфичностью и обеспечивал лучший скрининг ППИ у пациентов, продолжающих прием антибактериальных препаратов, чем сывороточные СОЭ, СРБ, определение в синовиальной жидкости ПЯН и даже микробиологическое исследование [16]. Однако исследование проводили до выполнения ревизионного вмешательства, и оценить эффективность данного инструмента у пациентов с установленным спейсером не представляется возможным. В свою очередь, J.M. Owens et al. отмечали, что рутинное использование такого синовиального биомаркера как альфа-дефензин перед выполнением второго этапа РЭТС может быть неоправданно [38].

Лечение ППИ является сложной задачей, решать которую необходимо с использованием мультидисциплинарного подхода и опытной команды специалистов, включающих, в том числе, клинического фармаколога [39]. Несмотря на то, что к настоящему времени нет единого протокола назначения антибактериальной терапии, при выполнении второго этапа ревизионного эндопротезирования важно понимать, что антибиотики должны быть подобраны, исходя из соматического состояния пациента (функции почек, печени, сердечнососудистой системы), с учетом возможных аллергических реакций на тот или иной антибактериальный препарат, а также результатов чувствительности микроорганизмов по данным микробиологического исследования, проведенного при выполнении первого этапа РЭТС. Пациенты, поступающие для выполнения второго этапа РЭТС, предварительно обследованы, реинфекция/рецидив ППИ исключены. Такие пациенты признаются «реконвалесцентами» по ППИ. Следовательно, актуально применение именно профилактических, а не лечебных схем и дозировок при назначении антибактериальных препаратов.

В различных медицинских центрах используют различные эмпирические схемы, учитывающие особенности видового спектра возбудителей ППИ и локальные протоколы лечения [40]. Наиболее часто применяют различные комбинации или монотерапию антибактериальными препаратами таких групп как цефалоспорины III поколения, гликопептиды, линкозамиды, фторхинолоны [41], а также бета-лактамов широкого спектра действия [42].

При интраоперационной верификации реинфекции/рецидива ППИ после взятия образцов периимплантных тканей из полости сустава и из-под удаленных компонентов спейсера, а также образца синовиальной жидкости с последующим проведением АДЭТ (при получении СЖ, соответствующей критериям выполнения теста), в случае отрицательного результата АДЭТ выполняли введение про-

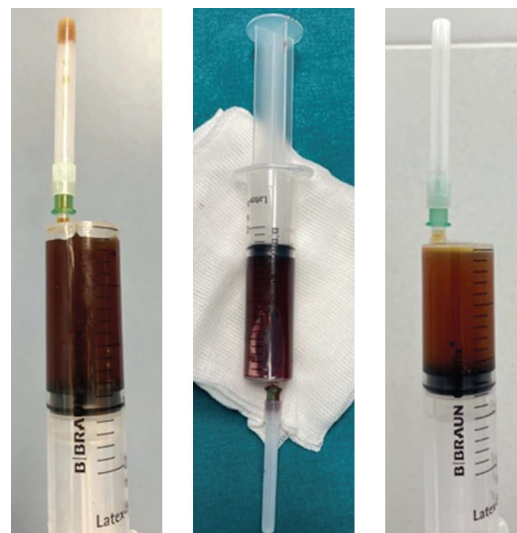


Рис. 6. Интраоперационно полученные образцы синовиальной жидкости с геморрагическим компонентом

² <https://www.zimmerbiomet.eu/en/products/synovasure-alpha-defensin-lateral-flow-test#overview>

филактической дозировки одного из антибактериальных препаратов продолжительностью двое суток. При получении положительного результата АДЭТ интраоперационно выполняли введение двух антибактериальных препаратов (в рамках стартовой эмпирической терапии) до получения результатов интраоперационного микробиологического исследования с последующим переходом на таргетную пролонгированную антибактериальную терапию с учетом данных чувствительности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Как и все синовиальные биомаркеры, АДЭТ неэффективен при выявлении «сухих суставов». Тест также демонстрирует ограниченные результаты при использовании синовиальной жидкости с выраженным геморрагическим компонентом и при наличии слабовирулентной коагулазонегативной микрофлоры и/или микробных ассоциаций.

Альфа-дефензин экспресс-тест продемонстрировал высокие показатели диагностической точности, специфичности и AUC у пациентов с установленным спейсером тазобедренного сустава при выполнении второго этапа РЭТС. АДЭТ является хорошим дополнительным интраоперационным экспресс-тестом, позволяющим, в случае необходимости, изменить тактику лечения. Несмотря на противоречивые данные научных публикаций, применение АДЭТ позволяет эффективно верифицировать реинфекцию и является хорошим инструментом подтверждения успешной эрадикации инфекции области тазобедренного сустава.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Исследование проведено в рамках НИР Департамента Здравоохранения города Москвы.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Imamura M, Munro NA, Zhu S, et al. Single mini-incision total hip replacement for the management of arthritic disease of the hip: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(20):1897-1905. doi: 10.2106/JBJS.K.00495
2. Konopka JF, Lee YY, Su EP, McLawhorn AS. Quality-Adjusted Life Years After Hip and Knee Arthroplasty: Health-Related Quality of Life After 12,782 Joint Replacements. *JB JS Open Access*. 2018;3(3):e0007. doi: 10.2106/JBJS.OA.18.00007
3. Scheuing WJ, Reginato AM, Deeb M, Acer Kasman S. The burden of osteoarthritis: Is it a rising problem? *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2023;37(2):101836. doi: 10.1016/j.berh.2023.101836
4. Agarwal N, To K, Khan W. Cost effectiveness analyses of total hip arthroplasty for hip osteoarthritis: A PRISMA systematic review. *Int J Clin Pract*. 2021;75(2):e13806. doi: 10.1111/ijcp.13806
5. Springer BD, Parvizi J, eds. *Periprosthetic joint infection of the hip and knee*. New York: Springer Publ.; 2014:257. doi: 10.1007/978-1-4614-7928-4
6. Jin X, Gallego Luxan B, Hanly M, et al. Estimating incidence rates of periprosthetic joint infection after hip and knee arthroplasty for osteoarthritis using linked registry and administrative health data. *Bone Joint J*. 2022;104-B(9):1060-1066. doi: 10.1302/0301-620X.104B9.BJJ-2022-0116.R1
7. Tande AJ, Patel R. Prosthetic joint infection. *Clin Microbiol Rev*. 2014;27(2):302-345. doi: 10.1128/CMR.00111-13
8. Дмитров И.А., Загородний Н.В., Оболенский В.Н. и др. Диагностика и лечение перипротезной инфекции после эндопротезирования тазобедренного сустава (обзор литературы). *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2022;12(6):86-102. doi: 10.20340/vmi-rvz.2022.6.CLIN.7
9. Дмитров И.А., Загородний Н.В., Оболенский В.Н. и др. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». Реабилитация, Врач и Здоровье*. 2022;12(6):103-118. doi: 10.20340/vmi-rvz.2022.6.CLIN.8
10. Hipfl C, Leopold V, Becker L, et al. Two-stage revision for periprosthetic joint infection in cemented total hip arthroplasty: an increased risk for failure? *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(7):4481-4490. doi: 10.1007/s00402-022-04671-3
11. Klemm C, Smith EJ, Tirumala V, et al. Outcomes and Risk Factors Associated With 2-Stage Reimplantation Requiring an Interim Spacer Exchange for Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty*. 2021;36(3):1094-1100. doi: 10.1016/j.arth.2020.09.012
12. Казанцев Д.И., Божкова С.А., Золоткина А.Г. и др. Диагностика поздней перипротезной инфекции крупных суставов. Какой диагностический алгоритм выбрать? *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(4):9-20. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-4-9-20
13. Aalirezaie A, Bauer TW, Fayaz H, et al. Hip and Knee Section, Diagnosis, Reimplantation: Proceedings of International Consensus on Orthopedic Infections. *J Arthroplasty*. 2019;34(2S):S369-S379. doi: 10.1016/j.arth.2018.09.021
14. Bonanzinga T, Zahar A, Dütsch M, et al. How Reliable Is the Alpha-defensin Immunoassay Test for Diagnosing Periprosthetic Joint Infection? A Prospective Study. *Clin Orthop Relat Res*. 2017;475(2):408-415. doi: 10.1007/s11999-016-4906-0
15. Eriksson HK, Nordström J, Gabrysch K, et al. Does the Alpha-defensin Immunoassay or the Lateral Flow Test Have Better Diagnostic Value for Periprosthetic Joint Infection? A Meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476(5):1065-1072. doi: 10.1007/s11999-0000000000000244
16. Shahi A, Parvizi J, Kazarian GS, et al. The Alpha-defensin Test for Periprosthetic Joint Infections Is Not Affected by Prior Antibiotic Administration. *Clin Orthop Relat Res*. 2016;474(7):1610-1615. doi: 10.1007/s11999-016-4726-2
17. Parvizi J, Tan TL, Goswami K, et al. The 2018 Definition of Periprosthetic Hip and Knee Infection: An Evidence-Based and Validated Criteria. *J Arthroplasty*. 2018;33(5):1309-1314.e2. doi: 10.1016/j.arth.2018.02.078
18. Lee YS, Fernando N, Koo KH, et al. What Markers Best Guide the Timing of Reimplantation in Two-stage Exchange Arthroplasty for PJI? A Systematic Review and Meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res*. 2018;476(10):1972-1983. doi: 10.1097/01.blo.0000534680.87622.43

19. Kusuma SK, Ward J, Jacofsky M, et al. What is the role of serological testing between stages of two-stage reconstruction of the infected prosthetic knee? *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(4):1002-1008. doi: 10.1007/s11999-010-1619-7
20. Samuel LT, Sultan AA, Kheir M, et al. Positive Alpha-defensin at Reimplantation of a Two-stage Revision Arthroplasty Is Not Associated with Infection at 1 Year. *Clin Orthop Relat Res.* 2019;477(7):1615-1621. doi: 10.1097/CORR.0000000000000620
21. Stone WZ, Gray CF, Parvataneni HK, Prieto HA. Clinical Evaluation of Alpha Defensin Test Following Staged Treatment of Prosthetic Joint Infections. *J Arthroplasty.* 2019;34(7):1446-1451. doi: 10.1016/j.arth.2019.03.019
22. Carender CN, DeMik DE, Otero JE, et al. What is the Clinical Utility of Synovial Alpha Defensin Testing of Antibiotic Spacers Before Reimplantation? *J Arthroplasty.* 2021;36(6):2150-2157. doi: 10.1016/j.arth.2021.02.001
23. Bielefeld C, Engler H, Jäger M, et al. Synovial Alpha-defensin at Reimplantation in Two-stage Revision Arthroplasty to Rule Out Persistent Infection. *In Vivo.* 2021;35(2):1073-1081. doi: 10.21873/in vivo.12352
24. Яковлев С.Я., Журавлева М.В., Проценко Д.Н. и др. Программа СКАТ (Стратегия Контроля Антимикробной Терапии) при оказании стационарной медицинской помощи. Методические рекомендации для лечебно-профилактических учреждений Москвы. *Consilium Medicum.* 2017;19(7-1):15-51.
25. Seetharam A, Dilley JE, Meneghini RM, Kheir MM. Diagnostic Utility and Thresholds for Commonly Obtained Serum and Synovial Markers Prior to Reimplantation in Periprosthetic Joint Infection. *J Arthroplasty.* 2023;38(7):1356-1362. doi: 10.1016/j.arth.2023.01.021
26. Treu EA, Behrens NF, Blackburn BE, et al. A "Dry Tap" in Prosthetic Joint Infection Workup of Total Hip Arthroplasty Is Not Reassuring. *J Arthroplasty.* 2024;S0883-5403(24)00128-1. doi: 10.1016/j.arth.2024.02.029
27. Newman JM, George J, Klika AK, et al. What is the Diagnostic Accuracy of Aspirations Performed on Hips With Antibiotic Cement Spacers? *Clin Orthop Relat Res.* 2017;475(1):204-211. doi: 10.1007/s11999-016-5093-8
28. Kuiper JW, Pander P, Vos SJ. Good accuracy of the alpha-defensin lateral flow test for hip periprosthetic joint infection: A pilot study in a retrospective cohort of 52 patients. *World J Orthop.* 2020;11(1):36-46. doi: 10.5312/wjo.v11.i1.36
29. Walker LC, Clement ND, Hashmi M, et al. The alpha defensin lateral flow test is effective in predicting eradication of periprosthetic joint infection after surgical debridement. *Acta Orthop Belg.* 2021;87(3):563-569.
30. Renz N, Yermak K, Perka C, Trampuz A. Alpha Defensin Lateral Flow Test for Diagnosis of Periprosthetic Joint Infection: Not a Screening but a Confirmatory Test. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(9):742-750. doi: 10.2106/JBJS.17.01005
31. Han X, Xie K, Jiang X, et al. Synovial fluid α -defensin in the diagnosis of periprosthetic joint infection: the lateral flow test is an effective intraoperative detection method. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):274. doi: 10.1186/s13018-019-1320-9
32. Deirmengian C, Madigan J, Kallur Mallikarjuna S, et al. Validation of the Alpha Defensin Lateral Flow Test for Periprosthetic Joint Infection. *J Bone Joint Surg Am.* 2021;103(2):115-122. doi: 10.2106/JBJS.20.00749
33. Frangiamore SJ, Gajewski ND, Saleh A, et al. α -Defensin Accuracy to Diagnose Periprosthetic Joint Infection-Best Available Test? *J Arthroplasty.* 2016;31(2):456-460. doi: 10.1016/j.arth.2015.09.035
34. Narita A, Suzuki A, Nakajima T, et al. Assessing an alpha-defensin lateral flow device for diagnosing septic arthritis: reporting on a false-negative case and a false-positive case. *Mod Rheumatol Case Rep.* 2020;4(1):156-160. doi: 10.1080/24725625.2019.1683134
35. Kleiss S, Jandl NM, Novo de Oliveira A, et al. Diagnostic accuracy of alpha-defensin enzyme-linked immunosorbent assay in the clinical evaluation of painful hip and knee arthroplasty with possible prosthetic joint infection: a prospective study of 202 cases. *Bone Joint J.* 2019;101-B(8):970-977. doi: 10.1302/0301-620X.101B8.BJJ-2018-1390.R2
36. Senneville E, Robineau O, Loiez C, et al. A profile on the Synovasure alpha defensin test for the detection of periprosthetic infections. *Expert Rev Mol Diagn.* 2020;20(9):895-904. doi: 10.1080/14737159.2020.1792780
37. Deirmengian C, Kardos K, Kilmartin P, et al. The alpha-defensin test for periprosthetic joint infection outperforms the leukocyte esterase test strip. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(1):198-203. doi: 10.1007/s11999-014-3722-7
38. Owens JM, Dennis DA, Abila PM, et al. Alpha-Defensin Offers Limited Utility in Work-Up Prior to Reimplantation in Chronic Periprosthetic Joint Infection in Total Joint Arthroplasty Patients. *J Arthroplasty.* 2022;37(12):2431-2436. doi: 10.1016/j.arth.2022.06.024
39. Li C, Renz N, Trampuz A, Ojeda-Thies C. Twenty common errors in the diagnosis and treatment of periprosthetic joint infection. *Int Orthop.* 2020;44(1):3-14. doi: 10.1007/s00264-019-04426-7
40. Van Erp JHJ, Heineken AC, Van Wensen RJA, et al. Optimization of the empirical antibiotic choice during the treatment of acute prosthetic joint infections: a retrospective analysis of 91 patients. *Acta Orthop.* 2019;90(5):455-459. doi: 10.1080/17453674.2019.1621595
41. Yu Y, Kong Y, Ye J, Wang A, Si W. Microbiological pattern of prosthetic hip and knee infections: a high-volume, single-centre experience in China. *J Med Microbiol.* 2021;70(3). doi: 10.1099/jmm.0.001305
42. Triffault-Fillit C, Valour F, Guillo R, et al. Prospective Cohort Study of the Tolerability of Prosthetic Joint Infection Empirical Antimicrobial Therapy. *Antimicrob Agents Chemother.* 2018;62(10):e00163-18. doi: 10.1128/AAC.00163-18

Статья поступила 28.05.2024; одобрена после рецензирования 18.06.2024; принята к публикации 21.02.2024.

The article was submitted 28.05.2024; approved after reviewing 18.06.2024; accepted for publication 21.02.2024.

Информация об авторах:

Валерий Юрьевич Мурылев — доктор медицинских наук, профессор кафедры, заведующий центром, nmuril@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5753-8926>;

Джавад Парвизи — доктор медицинских наук, профессор, javadparvizi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6985-5870>;

Александр Игоревич Руднев — аспирант кафедры, врач травматолог-ортопед, ruda310895@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4490-2922>;

Григорий Андреевич Куковенко — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, врач травматолог-ортопед, gkukovenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6700-0222>;

Павел Михайлович Елизаров — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, врач травматолог-ортопед, <https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>;

Алексей Владимирович Музыченков — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, врач травматолог-ортопед, amuzychenkov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>;

Семен Сергеевич Алексеев — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, semen.alekseev.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7599-7472>;

Дмитрий Олегович Голубкин — студент, dima.golubkin02@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3293-0918>;

Константин Гарриевич Яковлев — врач, клинический ординатор, konstantinyakovlev2503@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8558-7643>;

Анастасия Олеговна Угольникова — врач-бактериолог, nastasiya.lab@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0456-9435>.

Information about the authors:

Valery Yu. Murylev — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, Head of the Center, nmuril@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5753-8926>;

Javad Parvizi — Doctor of Medical Sciences, Professor, javadparvizi@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6985-5870>;

Alexander I. Rudnev — post-graduate student of the department, orthopaedic surgeon, ruda310895@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4490-2922>;

Grigory A. Kukovenko — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, orthopaedic surgeon, ggkukovenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6700-0222>;

Pavel M. Elizarov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, orthopaedic surgeon, <https://orcid.org/0000-0002-0217-2434>;

Aleksey V. Muzychenkov — Candidate of Medical Sciences, assistant of the department, orthopaedic surgeon, amuzychenkov@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3933-672X>;

Semen S. Alekseev — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, semen.alekseev.92@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7599-7472>;

Dmitriy O. Golubkin — student, dima.golubkin02@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3293-0918>;

Konstantin G. Yakovlev — doctor, clinical resident, konstantinyakovlev2503@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-8558-7643>;

Anastasia O. Ugolnikova — bacteriologist, nastasiya.lab@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0456-9435>.

Вклад авторов

Мурылев В.Ю. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, написание текста рукописи, коррекция и окончательная редакция рукописи.

Парвизи Д. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, анализ полученных данных, написание текста рукописи, коррекция и окончательная редакция рукописи.

Руднев А.И. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ данных, написание текста рукописи.

Куковенко Г.А. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ данных, написание текста рукописи.

Елизаров П.М. — разработка дизайна исследования, анализ полученных данных.

Музыченков А.В. — сбор и анализ данных.

Алексеев С.С. — сбор и анализ данных.

Голубкин Д.О. — сбор и анализ данных.

Яковлев К.Г. — сбор и анализ данных.

Угольникова А.О. — сбор и анализ данных.

Научная статья

УДК 616-022:616.728.2-77-089.843:615.33:615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-822-830>

Клинические результаты применения серебросодержащего препарата в составе антимикробного спейсера при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава

С.А. Божкова, М.Ш. Гаджимагомедов[✉], Р.М. Тихилов, В.А. Артюх, А.П. Антипов, А.В. Афанасьев, С.С. Торопов, Ю.В. Муравьева

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Магомед Шамильевич Гаджимагомедов, orthopedist8805@yandex.ru

Аннотация

Введение. Перипротезная инфекция (ППИ) является одним из самых серьезных осложнений при первичной артропластике. В данной работе представлен сравнительный анализ результатов saniрующего этапа двухэтапного лечения пациентов с хронической ППИ тазобедренного сустава (ТБС) с использованием антимикробного спейсера (АМС) с добавлением высокодисперсного серебра (ВД-Ag) и без его импрегнации.

Цель работы — провести сравнительный анализ клинической эффективности saniрующего этапа лечения пациентов с хронической ППИ при использовании ВД-Ag для дополнительной импрегнации АМС.

Материалы и методы. Ретроспективное исследование основано на анализе исходов лечения 223 пациентов с ППИ ТБС, которым при выполнении saniрующего этапа были установлены АМС. Были сформированы 2 группы пациентов в зависимости от импрегнации костного цемента (КЦ) только антибиотиком или его комбинацией с ВД-Ag, соответственно группы 1 ($n = 112$) и группа 2 ($n = 111$). Оценку исходов лечения пациентов при сроке наблюдения не менее двух лет проводили в соответствии с модифицированными критериями Delphi. Достоверность различий количественных параметров между группами анализировали с применением непараметрического теста Манна – Уитни, для анализа относительных показателей использовали тест Фишера. Различия считали значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Видовой спектр возбудителей был сопоставим в группах 1 и 2. Частота рецидивов в группах 1 и 2 составила соответственно 23,2 % и 17,1 % ($p > 0,05$), при этом частота рецидивов монобактериальной инфекции, обусловленной грамположительными бактериями, была значимо ниже в группе 2 ($p = 0,012$).

Обсуждение. Согласно данным научных публикаций, частота рецидивов перипротезной инфекции варьирует от 8 до 40 % в зависимости от характера инфекционного процесса и вида возбудителя. В группе с применением препарата ВД-Ag в составе АМС эффективность saniрующего этапа составила 82,9 %, в группе сравнения — 76,8 %. Однако субанализ влияния этиологии ППИ на результаты лечения показал, что применение АМС с комбинацией ВД-Ag и ванкомицина привело к статистически значимому снижению риска развития рецидива у пациентов с монобактериальной инфекцией, вызванной грамположительными возбудителями, и позволило купировать инфекцию в 89,7 % случаев.

Заключение. При выполнении saniрующего этапа двухэтапного лечения хронической ППИ ТБС, обусловленной грамположительными бактериями, АМС с добавлением ВД-Ag показал высокую эффективность, однако требуется дальнейшая разработка новых комбинаций для импрегнации КЦ с целью расширения спектра антимикробной активности устанавливаемых спейсеров.

Ключевые слова: периимплантная инфекция, перипротезная инфекция, антимикробный спейсер, высокодисперсное серебро, импрегнация костного цемента

Для цитирования: Божкова С.А., Гаджимагомедов М.Ш., Тихилов Р.М., Артюх В.А., Антипов А.П., Афанасьев А.В., Торопов С.С., Муравьева Ю.В. Клинические результаты применения серебросодержащего препарата в составе антимикробного спейсера при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):822-830. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-822-830. EDN: PFOQIN.

© Божкова С.А., Гаджимагомедов М.Ш., Тихилов Р.М., Артюх В.А., Антипов А.П., Афанасьев А.В., Торопов С.С., Муравьева Ю.В., 2024

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-822-830>

Clinical results of using a silver-containing preparation as part of an antimicrobial spacer in the treatment of periprosthetic hip joint infection

S.A. Bozhkova, M.Sh. Gadzhimagomedov[✉], R.M. Tikhilov, V.A. Artyukh, A.P. Antipov, A.V. Afanasyev, S.S. Toropov, Yu.V. Muravyeva

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Corresponding author: Magomed Sh. Gadzhimagomedov; orthopedist8805@yandex.ru

Abstract

Introduction Periprosthetic infection (PPI) is one of the most serious complications of primary arthroplasty. Its rates range between 1.1 and 2 %. This study presents a comparative analysis of the results of the sanitizing stage of two-stage treatment of patients with chronic PPI of the hip joint (HJ) using an antimicrobial spacer impregnated with highly dispersed silver and without its impregnation.

Purpose To conduct a comparative analysis of the clinical efficacy of using HD-Ag for impregnation of an antimicrobial spacer in patients with chronic PPI HJ during the sanitizing stage.

Materials and methods A retrospective study is based on the analysis of the treatment outcomes of 223 patients with PPI HJ with antimicrobial spacers implanted during the sanitizing stage. Two groups of patients were formed based on the impregnation of bone cement with only an antibiotic or its combination with HD-Ag, group 1 ($n = 112$) and group 2 ($n = 111$), respectively. The evaluation of the treatment outcomes at a follow-up period of at least 2 years was carried out in accordance with the modified Delphi criteria. The reliability of differences in quantitative parameters between the groups was analyzed using nonparametric Mann – Whitney test, whereas Fisher test was used to analyze relative indicators. The differences were considered significant at $p < 0.05$.

Results The spectrum of pathogens was comparable in both groups. The recurrence rate in groups 1 and 2 was 23.2 % and 17.1 %, respectively ($p > 0.05$), while for monobacterial infection caused by gram-positive bacteria it was significantly lower in group 2 ($p = 0.012$).

Discussion As reported, the recurrence rate of periprosthetic infection varies from 8 to 40 %, depending on the nature of the infectious process and the type of pathogen. In the group with the use of HD-Ag as part of an antimicrobial spacer, the effectiveness of the sanitizing stage was 82.9 % and in the comparison group it was 76.8 %. However, a subanalysis of the effect of the etiology of PPIs on treatment results showed that the use of AM-spacer with a combination of silver and vancomycin led to a statistically significant reduction in the risk of recurrence in patients with monobacterial infection caused by gram-positive pathogens and provided arrest of infection in 89.7 % of cases.

Conclusion In the sanitizing stage of two-stage treatment of chronic peri-implant hip infection caused by gram-positive bacteria, the antimicrobial cement spacer impregnated with highly dispersed silver showed high efficiency. However, further development of new combinations for bone cement impregnation is required to expand the spectrum of antimicrobial activity of the spacers.

Keywords: peri-implant infection, periprosthetic infection, antimicrobial spacer, highly dispersed silver, bone cement impregnation

For citation: Bozhkova SA, Gadzhimagomedov MSh, Tikhilov RM, Artyukh VA, Antipov AP, Afanasyev AV, Toropov SS, Muravyeva YuV. Clinical results of using a silver-containing preparation as part of an antimicrobial spacer in the treatment of periprosthetic hip joint infection. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):822-830. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-822-830

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время эндопротезирование (ЭП) является эффективным методом лечения целого ряда заболеваний и травм тазобедренного сустава, которому в ряде случаев нет альтернатив. За много лет широкого применения данного вмешательства в практической медицине существенно усовершенствованы модели эндопротезов, операционная техника, периоперационное фармакологическое сопровождение пациентов, что в подавляющем большинстве случаев приводит к отличным анатомо-функциональным результатам. Одним из нечастых, но наиболее тяжелых осложнений данного оперативного вмешательства является развитие перипротезной инфекции, частота которого варьирует от 1,1 % после первичного ЭП по причине остеоартрита до 2 % после замены тазобедренного сустава (ТБС) при переломе шейки бедренной кости [1]. Выполнение ревизионных операций заканчивается развитием инфекционного осложнения уже в 7–15 % случаев [2, 3, 4], и в настоящее время именно инфекция, по мнению отечественных и зарубежных авторов, является одной из основных причин ревизионного ЭП [5, 6, 7].

Двухэтапное ревизионное ЭП до настоящего времени является операцией выбора в большинстве случаев лечения пациентов с хронической ППИ ТБС [8]. В недавно опубликованном метаанализе проанализировано 46 публикаций с исходами двухэтапного лечения 5009 пациентов с инфекцией в области тазобедренного сустава [9]. В среднем частота рецидивов инфекционного процесса составила 8,35 %, при этом в семи исследованиях, включенных в данный анализ, рецидив ППИ был установлен более чем в 15 % случаев: от 16,7 % в первые два года после второго этапа [10] до 27 % при пятилетнем наблюдении в исследовании С. Theil et al. [11]. Установка спейсера любого типа может сопровождаться такими осложнениями как рецидив инфекционного процесса, вывих, перелом или миграция спейсера, перелом бедренной кости [12, 13]. При этом одним из наиболее значимых факторов риска неудачи лечения было получение бактериального роста из области сустава при выполнении второго этапа лечения [14]. По-видимому, одной из причин отсутствия эрадикации возбудителя в области очага инфекции может быть создание неэффективного локального депо антибиотиков при установке антимикробного спейсера (АМС) на первом этапе лечения. Несмотря на то, что процедура импрегнации костного цемента различными антибактериальными препаратами в настоящее время является рутинной, по данным разных авторов, выделение антибиотиков ограничено только внешним слоем цемента толщиной 100 мкм [15] и продолжается в течение первых 24–48 час., после чего элюция препаратов замедляется и не позволяет достичь эффективных локальных концентраций в отношении микробных возбудителей [16, 17]. По окончании антимикробной активности костного цемента (КЦ) спейсер становится инородным телом, на котором могут адгезироваться бактериальные клетки с последующим формированием биопленок, что может приводить к рецидиву инфекционного процесса [18]. Таким образом, необходимы новые подходы для повышения эффективности локальной АБ-терапии за счет разработки методов расширения спектра и увеличения продолжительности антимикробной активности цементных спейсеров. Одним из таких способов может быть дополнительная импрегнация АМС препаратами, содержащими ионы металлов, в частности, ионы серебра [RU 2 707 734 C1, RU 2 754 075 C1]. Исследование *in vitro* установило что импрегнация КЦ ванкомицином и высокодисперсным серебром (ВД-Ag) способствует существенной пролонгации антимикробной активности (до 34 сут.) полученных образцов, что эффективно препятствовало формированию микробных биопленок на их поверхности в течение всего срока выделения АБ [19]. Однако клиническая эффективность данной комбинации антимикробных препаратов не оценена.

Цель работы — провести сравнительный анализ клинической эффективности санирующего этапа лечения пациентов с хронической ППИ при использовании ВД-Ag для дополнительной импрегнации АМС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование носит ретроспективный характер и основано на анализе результатов лечения 223 пациентов, оперированных по поводу хронической ППИ ТБС в отделении гнойной хирургии за период 2014–2018 гг. В исследование включены все пациенты с ППИ ТБС, которым за указанный период времени выполнен первый этап двухэтапного лечения ППИ ТБС с установкой антимикробного спейсера (АМС) из костного цемента на основе ППМА и у которых забраны материалы для бактериологического исследования до операции (аспираты, тканевые биоптаты) и/или интраоперационно (тканевые биоптаты и удаленные конструкции).

Пациенты разделены на две группы в зависимости от применения препарата высокодисперсного серебра (ВД-Ag) (Повиаргол, ООО «Технолог», Россия) для импрегнации костного цемента. В группу 1 включены 112 пациентов, пролеченных в 2014–2016 гг., которым при двухэтапном лечении ППИ ТБС в ходе выполнения первого (санирующего) этапа установлен АМС на основе гентамицин-содержащего КЦ из полиметилметакрилата (ПММА), дополнительно импрегнированный ванкомицином. В группу 2 включено 111 пациентов, пролеченных с 2016 по 2018 г., которым был установлен АМС с добавлением ванкомицина и препарата серебра.

Этапы выполнения санирующего этапа двухэтапного лечения ППИ ТБС: кожный разрез по наружной поверхности бедра с последующим передне-боковым доступом к тазобедренному суставу; иссечение рубцов в полости сустава; удаление бедренного и вертлужного компонентов эндопротеза или спейсера; обработка вертлужной впадины фрезами до симптома кровяной росы; обильная промывка раны растворами антисептиков; установка цементного спейсера и дренажа; ушивание раны.

В ходе исследования оценивали пол, возраст пациента, продолжительность инфекционного процесса на момент индексной операции, количество лейкоцитов, уровень СРБ и СОЭ в крови при поступлении и на 5–7 сут. после операции, вид возбудителя, соответствие результатов микробиологического исследования (культуральное исследование и ПЦР-диагностика) до- и интраоперационных образцов. Оценку исходов лечения пациентов проводили в соответствии с модифицированными критериями Delphi [20]. За удовлетворительный исход принимали отсутствие признаков рецидива ППИ после второго этапа лечения (реимплантации ЭП) или «жизнь со спейсером» без развития признаков инфекционно-воспалительного процесса в течение двух лет после санирующего этапа. Неблагоприятным исходом считали развитие рецидива после санирующей операции или после reimплантации ЭП, а также летальный исход в связи с генерализацией инфекционного процесса в течение срока наблюдения.

Регистрацию, систематизацию первичных данных и визуализацию полученных результатов выполняли в электронных таблицах Microsoft Office Excel. Статистический анализ проводили средствами программной системы Past 4. Для описания количественных показателей выполняли проверку на нормальность распределения. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднее квадратичное отклонение. При распределении, отличном от нормального, медиану (Me), а в качестве мер рассеяния нижний (Q1) и верхний (Q3) квартили (25–75 % МКИ). Достоверность различий количественных параметров (возраст, длительность инфекционного процесса, количество санирующих операций на момент индексной операции) между группами анализировали с применением непараметрического теста Манна – Уитни. Для анализа относительных показателей использовали тест Фишера. Различия между группами считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Сформированные в ходе исследования группы сопоставимы по половозрастному составу: в группах 1 и 2 средний возраст больных составил соответственно 58 лет (ДИ 95 % 53–63) и 60 лет (ДИ 95 % 55–65), доля мужчин — 48,2 % и 51,5 %, женщин — 51,8 % и 49,5 %. Доля пациентов с санирующими операциями в анамнезе в группе 1 несколько больше, чем в группе 2: соответственно 22,1 % и 14,4 % ($p = 0,098$), однако средняя длительность инфекционного процесса значимо не отличалась в группах сравнения ($p = 0,560$).

Группы сравнения сопоставимы по уровню маркеров воспаления крови (СРБ, СОЭ) и количеству лейкоцитов на момент поступления пациентов в стационар (табл. 1). При этом в группе с применением препарата серебра наблюдали более выраженную динамику нормализации СОЭ в сравнении с дооперационным уровнем ($p = 0,003$) и при сопоставлении с группой 1 ($p = 0,005$).

Таблица 1

Динамика лабораторных показателей в группах сравнения

Маркеры воспаления	При поступлении		P value	Перед выпиской		P value
	Группа 1	Группа 2		Группа 1	Группа 2	
Лейкоциты, $10^9/\text{л}$, Me (МКИ)	7,8 (6,4–9,4)	7,6 (6–9,3)	0,325	7,2 (5,5–8,2)	6,1 (4,9–8,1)	0,623
СРБ, мг/мл, Me (МКИ)	25,9 (11,2–44,8)	23,8 (9,3–42,8)	0,203	19,2 (12–31,6)	13,8 (7,2–23,4)	0,339
СОЭ, мг/мл, Me (МКИ)	50 (28–75,5)	51 (27–68)	0,533	47 (34–67,7)	*35 (14–50)	0,005

Примечание: * — значимо отличается от исходного уровня при поступлении ($p = 0,003$)

Анализ результатов бактериологических исследований интраоперационного материала показал, что положительный рост микроорганизмов получен в 96,4 и 98,2 % случаев ($p = 0,415$), соответственно, в группах 1 и 2, при этом в 27,6 % (31 из 112) и 18,9 % (21 из 111) случаев ($p = 0,122$) этиология ППИ была полимикробной.

Видовой спектр возбудителей ППИ ТБС сопоставим в группах сравнения (табл. 2). Ведущими патогенами были стафилококки (*S. aureus*, *S. epidermidis* и другие коагулазонегативные стафилококки), доля которых в общей структуре составила 63 % и 56,3 %, соответственно, в группах 1 и 2. При этом частота выделения резистентных к метициллину штаммов была 32,1 % (36 из 112) и 31,5 % (35 из 111) случаев ($p = 0,922$). Среди грамотрицательных возбудителей в обеих группах неферментирующие бактерии (*Pseudomonas aeruginosa* и *Acinetobacter spp.*) встречались чаще, чем представители семейства *Enterobacteriaceae*.

Таблица 2

Спектр возбудителей в группах сравнения

Возбудители	Группа 1 (n = 112)		Группа 2 (n = 111)		P value
	абс.	%	абс.	%	
<i>S. epidermidis</i>	46	32,2	39	29,3	0,610
<i>S. aureus</i>	37	25,9	32	24,0	0,729
<i>Enterococcus spp.</i>	12	8,4	20	15,0	0,073
Неферментирующие бактерии (<i>P. aeruginosa</i> и <i>Acinetobacter spp.</i>)	8	5,6	10	7,5	0,627
Другие CoNS	7	4,9	4	3,0	0,424
<i>Streptococcus spp.</i>	10	7	6	4,5	0,379
<i>fem.Enterobacteriace</i>	7	4,9	4	3,0	0,424
<i>Propionibacterium spp.</i>	5	3,5	3	2,2	0,540
<i>Corynebacterium spp.</i>	3	2,1	2	1,5	0,712
<i>Candida</i>	2	1,1	0		0,172
Другие	6	4,2	13	9,8	0,107
Итого	143	100	133	100	

Примечание: другие CoNS — коагулазонегативные стафилококки за исключением *S. Epidermidis*; n — количество больных в группе

Установлено, что только в 47,3 % (53 из 112) и 56,7 % (63 из 111) случаев, соответственно, в группах 1 и 2 результаты микробиологического исследования до- и интраоперационных материалов полностью совпадали (рис. 1).

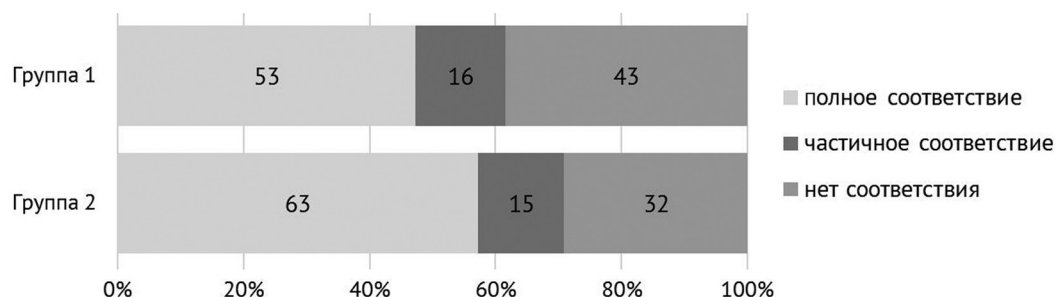


Рис. 1. Соответствие результатов микробиологического исследования до- и интраоперационных образцов биоматериала

Анализ исходов лечения показал, что частота рецидивов в группе 1 была в 1,7 раза больше, чем в группе с применением повидона, и составила, соответственно, 23,2 % (26 из 112) и 17,1 % (19 из 111) ($p = 0,257$). При этом у пациентов с монобактериальной ППИ, обусловленной грамположительными бактериями, при использовании препарата серебра рецидивы инфекционного процесса диагностировались почти в два раза реже ($p = 0,012$), чем в группе сравнения (табл. 3).

Таблица 3

Частота рецидивов инфекции в зависимости от этиологии ППИ на момент индексной операции

Этиология инфекции	Группа 1			Группа 2			P value
	Всего	Рецидив		Всего	Рецидив		
		абс.	%		абс.	%	
Монобактериальная Гр+	69	18	26,1	78	8	10,3	0,012
Монобактериальная Гр–	8	1	12,5	10	4	40	0,196
Полибактериальная	31	7	22,6	21	7	33,3	0,345

Реэндопротезирование выполнено у 73,2 % (82 из 112) и 73,0 % (81 из 111) пациентов в группах 1 и 2 соответственно. Средний срок между этапами составил 8,4 мес. На момент анкетирования информации о развитии рецидива инфекции после второго этапа не установлено. Остальные пациенты предпочли «жизнь со спейсером» или ждут очереди на госпитализацию для выполнения второго этапа.

ОБСУЖДЕНИЕ

Установка антимикробного спейсера на saniрующем этапе двухэтапной ревизии имеет две основные цели: повышение эффективности системной антибактериальной терапии за счет создания локального депо антибиотиков в костном цементе, а также сохранение анатомического соотношения в суставе путем восполнения тканевых дефектов, формирующихся после удаления компонентов эндопротеза [21].

Идеальный спейсер должен обеспечивать длительную элюцию антимикробного препарата в эффективной концентрации, чтобы купировать инфекцию и предотвратить селекцию и распространение полнорезистентных штаммов бактерий [22].

Известно много факторов, влияющих на фармакокинетические свойства антимикробных спейсеров *in vivo*, включая различия в марке используемого костного цемента, способе его замешивания, добавление одного или комбинации двух или более антибиотиков, их доза и/или соотношение, продолжительность имплантации спейсера и пр. [22]. Несмотря на то, что длительность антимикробной активности костного цемента хорошо изучена *in vitro* [16, 23], эти данные нельзя напрямую экстраполировать в клинику. При этом количество публикаций, которые демонстрируют элюцию антибиотиков *in vivo*, ограничено, и они характеризуются значительными расхождениями в результатах определения максимальной концентрации препарата и продолжительности его выхода из цемента [22]. В связи с этим в нашем исследовании за клиническую эффективность лечения ППИ мы приняли долю пациентов с отсутствием признаков инфекции в течение двух лет после санирующей операции.

В целом в анализируемой выборке пациентов при двухлетнем наблюдении эффективность лечения хронической ППИ ТБС составила 79,3 %. Необходимо отметить, что данные об эффективности купирования хронической периимплантной инфекции в области ТБС в научной литературе очень различаются. К примеру, в работе S. Petis et al. доля пациентов с купированной ППИ ТБС при наблюдении через 1 год после ревизионной операции составила 90 % и 86 % — через 5 лет [24]. В другом исследовании авторы отметили отсутствие признаков инфекционного процесса в течение двух лет у 83,3 % пациентов [10]. В то же время известно, что риск развития рецидива после санирующей операции при ППИ ТБС и КС значимо зависит от возбудителя и составляет 25–67 % [21, 25, 26]. Одним из наиболее значимых предикторов неудачи лечения считают участие в этиологии ППИ грамотрицательных бактерий и микробных ассоциаций, которые почти в половине случаев вызывают неблагоприятные исходы [27, 28, 29].

Грамотрицательные бактерии в нашем исследовании выделены у 15,4 % пациентов, и в 21,8 % случаев ППИ была вызвана микробными ассоциациями, что в целом соответствует данным научных публикаций. Разброс доли грамотрицательных бактерий в спектре возбудителей ППИ у разных авторов варьирует от 11,3 до 60,0 % [30, 31, 32], частота встречаемости полимикробной инфекции — от 25 до 45 % случаев [20, 33]. При этом в нашей когорте пациентов при участии грамотрицательных патогенов в этиологии инфекционного процесса рецидивы в первые два года после санирующей операции развивались в 1,5 раза чаще, чем при ППИ, обусловленной грамположительными бактериями, а в случае выделения микробных ассоциаций — в 1,4 раза чаще, чем при монобактериальной инфекции. Одной из причин этого может быть низкая эффективность антимикробных спейсеров, импрегнированных ванкомицином, — препаратом, активным только в отношении грамположительных бактерий. Выявленное нами несоответствие (частичное или полное) результатов микробиологического исследования до- и интраоперационно забранных материалов свидетельствует о невозможности в 47,5 % случаев импрегнации костного цемента антибиотиком с этиотропным действием.

В группе с применением препарата Вд-Аг в составе антимикробного спейсера в нашем исследовании эффективность санирующего этапа составила 82,9 %, в группе сравнения — 76,8 %. Однако субанализ влияния этиологии ППИ на результаты лечения показал, что применение АМ-спейсера с комбинацией препарата серебра и ванкомицина привело к статистически значимому снижению риска развития рецидива у пациентов с монобактериальной инфекцией, вызванной грамположительными возбудителями (ОР 0,840; ДИ 95 % 0,735–0,960), и позволило купировать инфекцию в 89,7 % случаев. Однако данная комбинация не оказала положительного эффекта в подгруппах с ППИ, вызванной грамотрицательными бактериями и микробными ассоциациями.

Известно, что наночастицы серебра обладают антибактериальным действием, при этом механизм их действия на бактерии не специфический, и поэтому они практически одинаково действуют на грамположительные и грамотрицательные бактерии [34]. Сообщается, что наночастицы серебра проникают внутрь клетки и связываются с клеточными структурами [35], действуют на ДНК, препятствуя размножению бактериальных клеток, а также разрушают цитоплазматическую мембрану и приводят к гибели бактерии [36]. На сегодняшний день ряд исследований показывает, что комбинации наносеребра с антибиотиками повышают активность последних в отношении штаммов с множественной лекарственной устойчивостью [37, 38]. Ранее нами было показано, что повидон-йод способствовал сохранению антимикробной активности образцов КЦ до 34 сут. и препятствовал формированию на них микробных биопленок. По-видимому, именно с этим и связана большая эффективность комплексного лечения пациентов с хронической ППИ ТБС, обусловленной грамположительными бактериями. По нашему мнению, данный результат может являться следствием как более длительного выхода антимикробного препарата из костного цемента за счет увеличения

его пористости, так и наличием синергидного действия ванкомицина и препарата Вд-Ag в отношении ингибирования биопленкообразования, доказанного в исследовании других авторов [39]. Возможно, влиянием повииаргола на микроорганизмы на клеточном уровне обусловлена и более выраженная динамика нормализации СОЭ ($p = 0,005$) и тенденция к большему снижению СРБ ($p > 0,05$) в группе с применением препарата серебра в составе костного цемента.

Важно помнить, что импрегнация костного цемента дополнительными препаратами влияет на механические и физические свойства антимикробного спейсера. Ранее нами было показано, что при добавлении в состав костного цемента ванкомицина или его комбинации с 2,5 масс. % серебра не приводило к нарушениям механических свойств костного цемента при изгибе и сжатии. Дальнейшее увеличение содержания серебра до 10 масс. % ухудшало прочность и упругость при изгибе, но значимо не влияло на механические свойства при сжатии и при этом значимо увеличивало антимикробную активность образцов [40]. По нашему мнению, на saniрующем этапе снижение прочности спейсера в большей степени является положительным фактором, т.к. позволяет затем на этапе реимплантации ЭП удалить спейсер без особых технических трудностей. Однако это ограничивает применение используемой нами комбинации для фиксации постоянных конструкций.

Стоит также отметить, что в нашем исследовании не было выявлено случаев реакции препарата серебра с окружающими тканями, случаев артрии и других нежелательных явлений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Импрегнация костного цемента на основе полиметилметакрилата с комбинацией ванкомицина и препарата высокодисперсного серебра продемонстрировала значимую клиническую эффективность в отношении купирования перипротезной инфекции тазобедренного сустава, вызванной грамположительными бактериями (*Staphylococcus spp.*, *Streptococcus spp.*, *Enterococcus spp.* и др.). Однако отсутствие значимого клинического эффекта в подгруппе пациентов с инфекцией, вызванной грамотрицательными патогенами и микробными ассоциациями, а также значительная доля случаев, когда окончательный микробиологический диагноз устанавливается только по результатам исследования интраоперационно забранных материалов, свидетельствуют о необходимости разработки новых комбинаций для импрегнации костного цемента с целью расширения спектра антимикробной активности устанавливаемых спейсеров.

Конфликт интересов. Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках государственного задания ФГБУ «НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена» Минздрава России (регистрационный номер 056-00055-23-00).

Этическая экспертиза. Все манипуляции, выполненные в исследовании с участием людей, соответствовали этическим стандартам институционального и/или национального исследовательского комитета, а также Хельсинкской декларации 1964 г. и более поздним поправкам к ней или сопоставимым этическим стандартам.

Информированное согласие. Для этого типа исследования формального согласия не требуется.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Szymiski D, Walter N, Krull P, et al. Comparison of mortality rate and septic and aseptic revisions in total hip arthroplasties for osteoarthritis and femoral neck fracture: an analysis of the German Arthroplasty Registry. *J Orthop Traumatol.* 2023;24(1):29. doi: 10.1186/s10195-023-00711-9
2. Павлов В.В., Петрова Н.В., Шералиев Т.У. Среднесрочные результаты двухэтапного лечения перипротезной инфекции. *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):109-116. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-109-116
3. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н. и др. Структура ранних ревизий эндопротезирования тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2014;20(2):5-13. doi: 10.21823/2311-2905-2014-0-2-5-13
4. Dietz J, Zeidler A, Wienke A, et al. Periprosthetic infection after total hip replacement : Risk factors for an early infection after primary implantation. *Orthopadie (Heidelb).* 2022;51(12):969-975. (In German) doi: 10.1007/s00132-022-04279-w
5. Шубняков И.И., Тихилов Р.М., Денисов А.О. и др. Что изменилось в структуре ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава в последние годы? *Травматология и ортопедия России.* 2019;25(4):9-27. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-9-27
6. Шубняков И.И., Риахи А., Денисов А.О. и др. Основные тренды в эндопротезировании тазобедренного сустава на основании данных регистра артропластики НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена с 2007 по 2020 г. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(3):119-142. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-119-142
7. Moore AJ, Blom AW, Whitehouse MR, et al. Deep prosthetic joint infection: a qualitative study of the impact on patients and their experiences of revision surgery. *BMJ Open.* 2015;5(12):e009495. doi: 10.1136/bmjopen-2015-009495
8. Мурылев В.Ю., Куковенко Г.А., Елизаров П.М. и др. Алгоритм первого этапа лечения поздней глубокой перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2018;24(4):95-104. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-95-104

9. Goud AL, Harlianto NI, Ezzafzafi S, et al. Reinfection rates after one- and two-stage revision surgery for hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(2):829-838. doi: 10.1007/s00402-021-04190-7
10. Efremov K, Benedetti Valentini M, et al. Periprosthetic hip and knee infections: comparison of etiology, perioperative management and costs. *Eur Rev Med Pharmacol Sci.* 2019;23(2 Suppl):217-223. doi: 10.26355/eurrev_201904_17496
11. Theil C, Freudenberg SC, Gosheger G, et al. Do Positive Cultures at Second Stage Re-Implantation Increase the Risk for Reinfection in Two-Stage Exchange for Periprosthetic Joint Infection? *J Arthroplasty.* 2020;35(10):2996-3001. doi: 10.1016/j.arth.2020.05.029
12. Anagnostakos K, Jung J, Schmid NV, et al. Mechanical complications and reconstruction strategies at the site of hip spacer implantation. *Int J Med Sci.* 2009;6(5):274-279. doi: 10.7150/ijms.6.274
13. Jones CW, Selemo N, Nocon A, et al. The influence of spacer design on the rate of complications in two-stage revision hip arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2019;34(6):1201-1206. doi: 10.1016/j.arth.2019.02.012
14. Theil C, Schmidt-Braekling T, Gosheger G, et al. Clinical use of linezolid in periprosthetic joint infections - a systematic review. *J Bone Jt Infect.* 2020;6(1):7-16. doi: 10.5194/jbji-6-7-2020
15. Wang Z, Carli A, Bhimani S, et al. The elution characteristics of vancomycin from simplex cement. Poster No. 2168. In: *2017 Annual Meeting of the Orthopaedic Research Society.* San Diego, CA, March 19–22, 2017.
16. Божкова С.А., Полякова Е.М., Афанасьев А.В. и др. Фосфомицин — возможности применения для локальной терапии перипротезной инфекции. *Клиническая микробиология антимикробная химиотерапия.* 2016;18(2):104-112.
17. Gasparini G, De Gori M, Calonego G, et al. Drug elution from high-dose antibiotic-loaded acrylic cement: a comparative, in vitro study. *Orthopedics.* 2014;37(11):999-1005 doi:10.3928/01477447-20141023-57
18. Винклер Т., Трампуш А., Ренц Н. и др. Классификация и алгоритм диагностики и лечения перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2016;22(1):33-45. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-33-45
19. Божкова С.А., Гордина Е.М., Марков М.А. и др. Влияние комбинации ванкомицина с препаратом серебра на длительность антимикробной активности костного цемента и формирование биопленки штаммом MRSA. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(2):54-64. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-2-54-64
20. Tai DBG, Patel R, Abdel MP, et al. Microbiology of hip and knee periprosthetic joint infections: a database study. *Clin Microbiol Infect.* 2022;28(2):255-259. doi: 10.1016/j.cmi.2021.06.006
21. Rava A, Bruzzone M, Cottino U, et al. Hip Spacers in Two-Stage Revision for Periprosthetic Joint Infection: A Review of Literature. *Joints.* 2019;7(2):56-63. doi: 10.1055/s-0039-1697608
22. Anagnostakos K, Meyer C. Antibiotic Elution from Hip and Knee Acrylic Bone Cement Spacers: A Systematic Review. *Biomed Res Int.* 2017;2017:4657874. doi: 10.1155/2017/4657874
23. Bitsch RG, Kretzer JP, Vogt S, et al. Increased antibiotic release and equivalent biomechanics of a spacer cement without hard radio contrast agents. *Diagn Microbiol Infect Dis.* 2015;83(2):203-209. doi: 10.1016/j.diagmicrobio.2015.06.019
24. Petis SM, Abdel MP, Perry KI, et al. Long-Term Results of a 2-Stage Exchange Protocol for Periprosthetic Joint Infection Following Total Hip Arthroplasty in 164 Hips. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(1):74-84. doi: 10.2106/JBJS.17.01103
25. Beck M, Brand C, Christen B, et al. *SIRIS Report 2019. Annual report of the Swiss National Joint Registry, Hip and Knee, 2012 – 2018.* 2019. doi:10.13140/RG.2.2.15632.56323
26. Gellert M, Hardt S, Köder K, et al. Biofilm-active antibiotic treatment improves the outcome of knee periprosthetic joint infection: Results from a 6-year prospective cohort study. *Int J Antimicrob Agents.* 2020;55(4):105904. doi: 10.1016/j.ijantimicag.2020.105904
27. Pfang BG, García-Cañete J, García-Lasheras J, et al. Orthopedic implant-associated infection by multidrug resistant Enterobacteriaceae. *J Clin Med.* 2019;8(2):220. doi: 10.3390/jcm8020220
28. Jhan SW, Lu YD, Lee MS, et al. The risk factors of failed reimplantation arthroplasty for periprosthetic hip infection. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):255. doi: 10.1186/s12891-017-1622-1
29. Yoon YC, Lakhotia D, Oh JK, et al. Is two-stage reimplantation effective for virulent pathogenic infection in a periprosthetic hip? A retrospective analysis. *World J Orthop.* 2015;6(9):712-718. doi: 10.5312/wjo.v6.i9.712
30. Иванцов В. А., Богданович И.П., Лашковский В.В. Аносов В.С. Клинические и микробиологические характеристики перипротезной инфекции тазобедренного и коленного суставов. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия.* 2020;22(3):237-240. doi: 10.36488/cmac.2020.3.237-240
31. Li ZL, Hou YF, Zhang BQ, et al. Identifying common pathogens in periprosthetic joint infection and testing drug-resistance rate for different antibiotics: a prospective, single center study in Beijing. *Orthop Surg.* 2018;10(3):235-240. doi: 10.1111/os.12394
32. Sanders PTJ, Bus MPA, Scheper H, et al. Multiflora and gram-negative microorganisms predominate in infections affecting pelvic endoprostheses following tumor resection. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(9):797-803. doi: 10.2106/JBJS.18.00836.
33. Preobrazhensky P, Bozhkova S, Kochish A, et al. Comparative analysis of pathogen structure in patients with PJI after primary total hip and knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;141(11):1963-1969. doi: 10.1007/s00402-021-04139-w
34. Ржеусский С.Э. Наночастицы серебра в медицине. *Вестник ВГМУ.* 2022;21(2):15-24. doi: 10.22263/2312-4156.2022.2.15
35. Liao C, Li Y, Tjong SC. Bactericidal and cytotoxic properties of silver nanoparticles. *Int J Mol Sci.* 2019;20(2):449. doi: 10.3390/ijms20020449
36. Tang S, Zheng J. Antibacterial activity of silver nanoparticles: structural effects. *Adv Healthc Mater.* 2018;7(13):e1701503. doi: 10.1002/adhm.201701503.
37. Baptista PV, McCusker MP, Carvalho A, et al. Nano-strategies to fight multidrug resistant bacteria "a battle of the titans". *Front Microbiol.* 2018;9:1441. doi: 10.3389/fmicb.2018.01441
38. Katva S, Das S, Moti HS, et al. Antibacterial synergy of silver nanoparticles with gentamicin and chloramphenicol against *Enterococcus faecalis*. *Pharmacogn Mag.* 2018;13(4):S828-S833. doi: 10.4103/pm.pm_120_17

39. Hashimoto A, Miyamoto H, Kobatake T, et al. The combination of silver-containing hydroxyapatite coating and vancomycin has a synergistic antibacterial effect on methicillin-resistant *Staphylococcus aureus* biofilm formation. *Bone Joint Res.* 2020;9(5):211-218. doi: 10.1302/2046-3758.95.BJR-2019-0326.R1
40. Божкова С.А., Гордина Е.М., Артюх В.А., Юдин В.Е. Комбинированное действие серебра и ванкомицина в составе костного цемента в отношении основных возбудителей перипротезной инфекции. *Сибирское медицинское обозрение.* 2023;(1):37-45. doi: 10.20333/25000136-2023-1-37-45

Статья поступила 01.04.2024; одобрена после рецензирования 20.09.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 01.04.2024; approved after reviewing 20.09.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Светлана Анатольевна Божкова — доктор медицинских наук, заведующая отделением, врач-клинический фармаколог, профессор кафедры, clinpharm-rniito@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>;

Магомед Шамильевич Гаджимагомедов — аспирант, врач травматолог-ортопед, orthopedist8805@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6113-0277>;

Рашид Муртузалиевич Тихилов — доктор медицинских наук, профессор, член-корреспондент РАН, директор, rtikhilov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>;

Василий Алексеевич Артюх — доктор медицинских наук, заведующий отделением, artyukhva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>;

Александр Павлович Антипов — врач травматолог-ортопед, a-p-antipov@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9004-5952>;

Александр Витальевич Афанасьев — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, avafanasev@rniito.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3097-7846>;

Сергей Сергеевич Торопов — врач травматолог-ортопед, doctoropovss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9451-1834>;

Юлия Валентиновна Муравьева — инженер-программист, julia-muraveva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9535-6661>.

Information about the authors:

Svetlana A. Bozhkova — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, clinical pharmacologist, Professor of the Department, clinpharm-rniito@yandex.ru, <http://orcid.org/0000-0002-2083-2424>;

Magomed Sh. Gadzhimagomedov — postgraduate student, orthopaedic surgeon, orthopedist8805@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6113-0277>;

Rashid M. Tikhilov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Director, rtikhilov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-0733-2414>;

Vasily A. Artyukh — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, artyukhva@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5087-6081>;

Alexander P. Antipov — orthopaedic surgeon, a-p-antipov@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9004-5952>;

Alexander V. Afanasyev — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, avafanasev@rniito.ru, <https://orcid.org/0000-0002-3097-7846>;

Sergey S. Toropov — orthopaedic surgeon, doctoropovss@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9451-1834>;

Yulia V. Muravyeva — software engineer, julia-muraveva@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9535-6661>.

Вклад авторов:

Божкова С.А. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста статьи.

Гаджимагомедов М.Ш. — сбор, анализ, статистическая обработка и интерпретация данных, написание текста статьи.

Тихилов Р.М. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, редактирование текста статьи.

Артюх В.А., Антипов А.П., Афанасьев А.В., Торопов С.С. — сбор и анализ данных.

Муравьева Ю.В. — статистическая обработка данных.

Научная статья

УДК 616.718.41-002.4-089.844

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-831-844>

Результаты применения малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с аутологичным концентратом костного мозга в лечении пациентов с асептическим остеонекрозом головки бедренной кости

Д.А. Найда¹, Б.В. Тюлькевич¹, Д.А. Маланин², В.В. Кондрашенко^{2✉},
М.В. Демещенко², Н.Н. Чирков³

¹ Главный военный клинический госпиталь им. Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

² Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

³ Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Владимирович Кондрашенко, vovamail2009@yandex.ru

Аннотация

Введение. В настоящее время практикуются органосохраняющие методики лечения асептического некроза головки бедренной кости (АНГБК), но их применение не всегда позволяет избежать эндопротезирования на поздних стадиях развития заболевания. Комбинация декомпрессии некротизированного очага и костной аутопластики с использованием аутологичного концентрата костного мозга (АККМ) при лечении пациентов с АНГБК, вероятно, позволит улучшить качество их жизни, отсрочить эндопротезирование сустава или, в отдельных случаях, его полностью избежать.

Цель работы — оценить результаты хирургического лечения пациентов с АНГБК методом малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с АККМ, а также разработать алгоритм выбора метода оперативного лечения в зависимости от объема поражения головки бедренной кости и стадии заболевания.

Материал и методы. В пилотном многоцентровом исследовании приняли участие 86 пациентов с диагнозом АНГБК. Всем исследуемым выполнена малоинвазивная декомпрессия в сочетании с костной аутопластикой и АККМ. Результаты лечения проанализированы через 3, 6, 12 мес. после операции.

Результаты. В течение 3–6 мес. после операции 21 пациент (24 %) нуждался в эндопротезировании сустава, среди оставшихся 65 пациентов (76 %) получено значимое улучшение состояния и качества жизни, что подтвердили данные инструментальных исследований и оценка по функциональным шкалам.

Обсуждение. Ввиду того, что в представленное исследование включены в основном пациенты с постковидным и стероидиндуцированным остеонекрозом, а также отсутствовали исследуемые с первой стадией заболевания, процент положительных результатов лечения был несколько ниже по сравнению с показателями в других подобных исследованиях.

Заключение. Методика малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с АККМ является эффективным способом лечения на преколлаптоидных стадиях АНГБК и способствует улучшению качества жизни пациентов, однако не позволяет добиться регресса структурных изменений кости.

Ключевые слова: асептический остеонекроз головки бедренной кости, декомпрессия, костная пластика, концентрат аспирата костного мозга

Для цитирования: Найда Д.А., Тюлькевич Б.В., Маланин Д.А., Кондрашенко В.В., Демещенко М.В., Чирков Н.Н. Результаты применения малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с аутологичным концентратом костного мозга в лечении пациентов с асептическим остеонекрозом головки бедренной кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):831-844. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-831-844. EDN: RYABZE.



Results of minimally invasive core decompression and autologous bone grafting in combination with autologous bone marrow aspirate concentrate in the treatment of patients with aseptic osteonecrosis of the femoral head

D.A. Naida¹, B.V. Tyulkevich¹, D.A. Malanin², V.V. Kondrashenko^{2✉},
M.V. Demeshchenko², N.N. Chirkov³

¹ Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

² Volgograd State Medical University, Volgograd, Russian Federation

³ Federal Center for Traumatology, Orthopaedics and Joint Arthroplasty, Cheboksary, Russian Federation

Corresponding author: Vladimir V. Kondrashenko, vovamail2009@yandex.ru

Abstract

Introduction Currently, limb salvage methods have been used for the treatment of aseptic osteonecrosis of the femoral head (ANFH), but their use does not always avoid joint replacement in the later stages of the disease. The combination of core decompression and autologous bone grafting with autologous bone marrow aspirate concentrate (BMAC) in the treatment of patients with ANFH could improve their quality of life, delay joint replacement, or, in some cases, avoid it completely.

Purpose To evaluate the results of surgical treatment of patients with ANFH using minimally invasive core decompression and autologous bone grafting in combination with BMAC, develop an algorithm for choosing a method of surgical treatment based on the extent of damage to the femoral head and the stage of the disease.

Material and methods A pilot multicenter study included 86 patients diagnosed with ANFH. All patients underwent minimally invasive core decompression in combination with autologous bone grafting and BMAC. Results were analyzed 3, 6, 12 months after surgery.

Discussion Due to the fact that the presented study included mainly patients with post-Covid and steroid-induced osteonecrosis, and did not include patients with the first stage of the disease, the percentage of positive treatment results was slightly lower compared to other similar studies.

Results Within 3 to 6 months after surgery, 21 patients (24 %) required joint replacement; among the remaining 65 patients (76 %), there was a significant improvement in the condition and quality of life that was confirmed by instrumental studies and functional assessment.

Conclusion The technique of minimally invasive core decompression and autologous bone grafting in combination with BMAC is an effective method of treatment patients with pre-collapse ANFH stages, might improve their quality of life but does not allow regression of structural changes in the bone.

Keywords: osteonecrosis, femoral head, core decompression, bone grafting, bone marrow aspirate concentrate

For citation: Naida DA, Tyulkevich BV, Malanin DA, Kondrashenko VV, Demeshchenko MV, Chirkov NN. Results of minimally invasive core decompression and autologous bone grafting in combination with autologous bone marrow aspirate concentrate in the treatment of patients with aseptic osteonecrosis of the femoral head. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):831-844. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-831-844

ВВЕДЕНИЕ

Асептический остеонекроз — многофакторное дегенеративно-дистрофическое заболевание, характеризующееся нарушением микроциркуляции в определенном участке костной ткани, приводящее к гибели остецитов, деминерализации, резорбции, а также изменению трабекулярной архитектоники кости с последующим развитием вторичного остеоартрита прилежащего сустава [1, 2].

В целом, на сегодняшний день нет единого эпидемиологического отчета о данной патологии среди общей популяции, однако в ряде стран периодически проводится скрининг населения для выявления и оценки распространенности вышеупомянутого заболевания. Согласно статистическим данным, в США частота возникновения асептического некроза головки бедренной кости (АНГБК) среди всего населения составляет от 300 тыс. до 600 тыс. случаев. Ежегодно регистрируется от 10 тыс. до 20 тыс. новых случаев заболевания. Эти значения коррелируют с результатами исследований, проводимых в других странах. Так, скрининговый анализ населения Японии показал уровень заболеваемости 1,9 на 100 тыс., а Великобритании — от 1,4 до 3,0 на 100 тыс. населения. Стоит отметить, что основное количество пациентов, страдающих данной патологией, приходится на людей молодого и трудоспособного возраста, предъявляющих высокие требования к функции сустава [3, 4, 5].

В настоящее время патогенез АНГБК остается не до конца изученным, однако установлено, что одним из этиологических факторов заболевания служит длительный прием глюкокортикостероидов (ГКС), получивший широкое распространение во время пандемии COVID-19. Использование ГКС явилось действенным методом лечения среднетяжелых форм заболевания и купирования острого респираторного синдрома, что позволило сохранить жизни многих пациентов [6, 7]. Высокий терапевтический потенциал данных препаратов в отношении COVID-19 объясняется их способностью в значительной степени подавлять экспрессию основных провоспалительных медиаторов, таких как IL-1, IL-6, TNF- α , IFN- γ , что препятствует развитию «цитокинового шторма» и способствует предотвращению острого респираторного дистресс-синдрома [8, 9, 10]. Однако было доказано, что продолжительная гормональная терапия приводит к возникновению серьезных побочных эффектов, одним из которых является АНГБК [11, 12, 13, 14].

Кроме того, на сегодняшний день достоверно известно, что заболевание новой коронавирусной инфекцией может приводить к развитию остеонекроза и без применения ГКС вследствие диссеминированной коагулопатии и возникновения окклюзий мелкого сосудистого русла [7, 11, 12].

Говоря о патогенезе заболевания, следует отметить и особенности происходящих структурных изменений костной ткани, препятствующих ее самостоятельной регенерации. Объяснение кроется в формировании остеоклестами в процессе остеонекроза склеротической пластинки, которая отделяет некротизированную область от здоровой кости и препятствует инвазии сосудов в патологический очаг, вследствие чего его дальнейшая реваскуляризация становится невозможной [3, 15, 16, 17].

С 60-х годов прошлого столетия в ортопедической практике широкое применение находят органосохраняющие методики лечения АНГБК, такие как декомпрессия некротизированного очага, костная пластика васкуляризированными и невакуляризированными трансплантатами [18, 19, 20]. Данные способы оперативного лечения используют на преколлаптоидных стадиях остеонекроза, но, к сожалению, их применение не всегда позволяет достичь желаемого результата и надолго отложить или избежать эндопротезирования сустава [21, 22, 23, 24, 25].

В современной травматологии и ортопедии значительное внимание отводится изучению возможностей ортобиологических продуктов, одним из которых является аутологичный концентрат костного мозга (АККМ). Высокий регенеративный потенциал мезенхимальных стромальных клеток (МСК) был по достоинству оценен французским ученым Р. Hernigou, впервые применившим АККМ для лечения асептического остеонекроза [26].

Гипотеза нашего исследования основывалась на представлении о возможности улучшения результатов лечения пациентов с АНГБК посредством комбинации традиционной оперативной методики — декомпрессии некротизированного очага и костной аутопластики — с современным ортобиологическим продуктом — АККМ [22, 27, 28, 29, 30].

Цель работы — оценить результаты хирургического лечения пациентов с АНГБК методом малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики в сочетании с АККМ, а также разработать алгоритм выбора метода оперативного лечения в зависимости от объема поражения головки бедренной кости и стадии заболевания.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В период с 2021 по 2023 г. проведено пилотное многоцентровое проспективное нерандомизированное исследование на базах Центра травматологии и ортопедии Главного военного клинического госпиталя им. Н.Н. Бурденко (Москва), Волгоградского государственного медицинского университета (Волгоград), Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Чебоксары).

При проведении клинического исследования соблюдены требования, изложенные в Хельсинской декларации. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (регистрационный номер: IRB 00005839 IORG 0004900 (OHRP)). Пациенты дали добровольно письменное информирование согласие на участие в исследовании и публикацию его результатов.

Всего по данной методике прооперировано 93 человека. В исследование согласно критериям включения и невключения вошло 86 пациентов с диагнозом АНГБК: 64 мужчины, 22 женщины, средний возраст — $(40,1 \pm 6,7)$ года, индекс массы тела — $(28,2 \pm 3,8)$, продолжительность заболевания — $(6,2 \pm 4,1)$ мес. Односторонний процесс наблюдали у 23 пациентов, двусторонний — у 63, объем поражения головки бедренной кости составлял от 15 до 60 %. При этом подтвержденный диагноз COVID-19, предшествующий манифестации болевого синдрома, выявлен в 73 случаях (84,9 %), 61 пациенту (70,9 %) проведена терапия глюкокортикостероидами, суммарная дозировка которых составляла (406 ± 28) мг в эквиваленте дексаметазона.

Диагноз устанавливали на основании жалоб, анамнеза и данных инструментальных методов исследования (рентгенография, КТ, МРТ). По данным МРТ выявлены признаки асептического некроза. На T2-взвешенных изображениях визуализировали перифокальную зону неоднородного гиперинтенсивного сигнала за счет отека и ишемии костного мозга в области головки бедренной кости. На T1-взвешенных изображениях вышеуказанные участки имели гипointенсивный сигнал и соответствовали остеонекротическому очагу.

Для оценки клинико-функционального состояния тазобедренного сустава и результатов лечения использовали следующие шкалы: модифицированная шкала Харриса, шкала Лекена (степень ограничения жизнедеятельности), шкала UCLA Activity Score, Eq-5d (опросник качества жизни), визуальная аналоговая шкала боли (ВАШ), субъективная оценка качества жизни от 0 до 100 %.

Критерии включения в исследование:

- АНГБК I–II стадии по классификации ARCO (*англ.*: Association Research Circulation Osseus);
- наличие зон трабекулярного отека в области головки бедренной кости по данным МРТ;
- интенсивность болевого синдрома не менее 6 баллов по ВАШ.

Из исследования исключены пациенты старше 60 лет, ВИЧ-инфицированные, носители антигенов к вирусам гепатита В и С, а также лица с заболеваниями крови и/или костного мозга, с наличием сопутствующих патологий внутренних органов в стадии декомпенсации и обследуемые, в анамнезе которых наблюдались злокачественные онкологические заболевания. Также исключающими критериями являлись наличие острого воспалительного процесса; внутри- и (или) околоуставные инъекции ГКС, препаратов гиалуроновой кислоты или других ортобиологических продуктов в течение 6 мес. до первичного осмотра.

Всем пациентам выполнена малоинвазивная декомпрессия и костная аутопластика головки бедренной кости в сочетании с АККМ.

Результаты лечения интерпретировали через 3, 6 и 12 мес. после проведения операции. На контрольных сроках наблюдения выполняли оценку динамики патологических изменений по данным МРТ, определяя размер остеонекротического очага и распространенность трабекулярного отека головки бедренной кости, ее сферичность, а также наличие признаков развития вторичного остеоартрита.

Основным критерием безуспешного лечения данной патологии являлось возникновение потребности в выполнении эндопротезирования тазобедренного сустава отобранным в исследование пациентам. Кроме того, итоговый результат было принято считать неудачным в случае обнаружения коллапса суставной поверхности головки бедра или наличия значительных признаков вторичного остеоартрита на основании данных лучевых методов диагностики. Объективно исход исследования оценивали как неудовлетворительный, если по данным шкалы Харриса результат составлял менее 70 баллов.

Статистическую обработку результатов проводили с применением методов математической статистики, используя программу Excel 2019 for Windows.

Анализ параметров при нормальном распределении значений проводили с помощью t-критерия Стьюдента. В свою очередь, непараметрические количественные признаки анализировали с помощью критерия Фридмана. Полученные результаты сравнивали с табличными значениями при избранном уровне статистической значимости $p < 0,001$.

В исследовательских центрах применяли разные методики получения АККМ. В клиниках Москвы и Чебоксар использовали автоматизированную закрытую систему Angel® System (Arthrex, США). На клинической базе кафедры травматологии, ортопедии и ВПХ в Волгограде АККМ получали путем

центрифугирования аспирата в пробирках YCELLBIO (Корея). В связи с этим проведено предварительное лабораторное исследование для подбора оптимальных режимов центрифугирования, определения качественных и количественных характеристик ортобиологических продуктов.

Определение качественных и количественных характеристик ортобиологических продуктов

В лабораториях ГВКГ им. Н.Н. Бурденко, Волгоградского ГМУ и Волгоградского медицинского научного центра исследован аспират костного мозга 22 пациентов. Получение АККМ осуществляли, используя автоматизированную закрытую систему Angel® System (Arthrex, США) на режиме гематокрита 15, а также метод центрифугирования в пробирках YCELLBIO (Корея) со скоростью 2400 об/мин в течение 10 мин.

Для изучения характеристик аспирата и супернатанта применен метод проточной цитофлуориметрии и клеточный анализатор. Образцы наслаивали на Ficoll-Paque Plus (Швеция) с градиентом плотности 1,077 г/мл, сепарировали и выделяли фракцию с «чистыми» мононуклеарами. Для иммунофенотипирования и определения концентрации МСК в полученном образце использовали метод проточной цитофлуориметрии, применяя антитела к маркерным корцепторам: CD73, CD105, CD90. Для подсчета количества эритроцитов, тромбоцитов, лейкоцитов и лимфоцитов использовали клеточный анализатор.

Согласно полученным данным, вышеуказанные методики позволяли добиться увеличения количества МСК и тромбоцитов в концентрате в 6–9 и 10–12 раз соответственно, по сравнению с нативным аспирином, а полученные автоматизированным способом и путем центрифугирования в специальных пробирках ортобиологические продукты имели схожие качественные и количественные характеристики.

Техника операции

Забор аспирата костного мозга. В положении пациента лежа на спине на ортопедическом столе (рис. 1) под спинальной анестезией после обработки операционного поля первым этапом при помощи аспирационного троакара диаметром 11G выполняли перфорацию кортикального слоя в области передне-верхней ости крыла подвздошной кости, а острие заборщика вращательными движениями погружали в кость на глубину от 2 до 7 см. Далее, используя шприц, осуществляли забор аспирата в объеме от 90 до 160 мл (рис. 2). При этом во время аспирации костного мозга изменяли направление острия троакара в толще губчатой кости с целью минимизации попадания периферической крови пациента в шприц и достижения максимальной концентрации бластных клеток в аспирате.

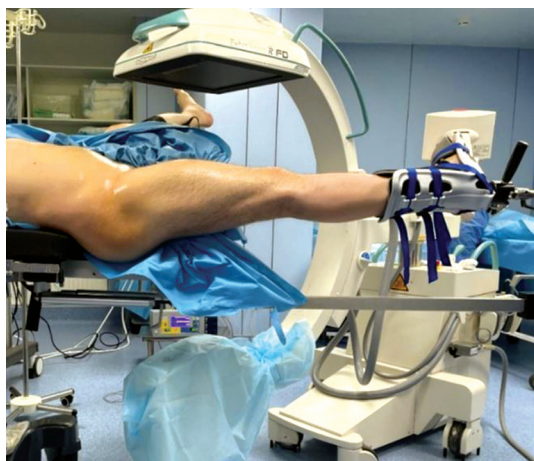


Рис. 1. Положение пациента на ортопедическом столе

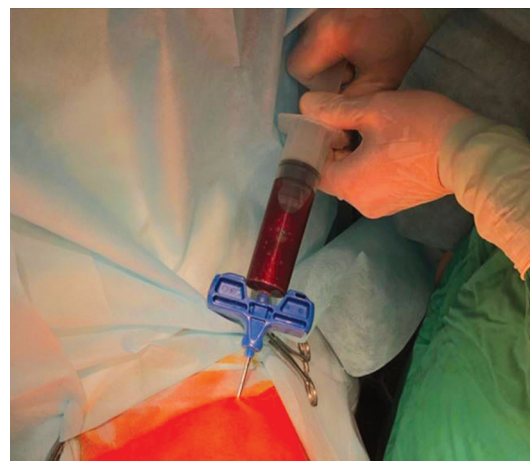


Рис. 2. Забор аспирата костного мозга из крыла подвздошной кости

Получение ВМАС. В клиниках ГВКГ им. Н.Н. Бурденко и ФЦТОЭ аспират костного мозга помещали в автоматизированную закрытую систему Angel® System (Arthrex, США) вместе с 15 мл антикоагулянта (гепарин 5000 Ед), затем производили его центрифугирование с параметром гематокрита 15.

На клинической базе Волгоградского ГМУ аспират костного мозга распределяли в пробирки YCELLBIO (Корея) вместе с антикоагулянтом (гепарин 5000 ЕД) из расчета 1,5 мл антикоагулянта на 13,5 мл аспирата костного мозга в каждой пробирке, затем производили их центрифугирование в режиме 2400 об/мин в течение 10 мин., согласно оригинальной методике (патент РФ № 2763250) [39]. После сепарирования фракция с высоким содержанием МСК была центрирована в узком перешейке пробирки и извлечена при помощи шприца (рис. 3). Затем осуществляли забор костного аутотрансплантата из крыла подвздошной кости в объеме около 18 см³, который при помощи костных кусачек разделяли на фрагменты и смешивали с полученным ранее АККМ (рис. 4).

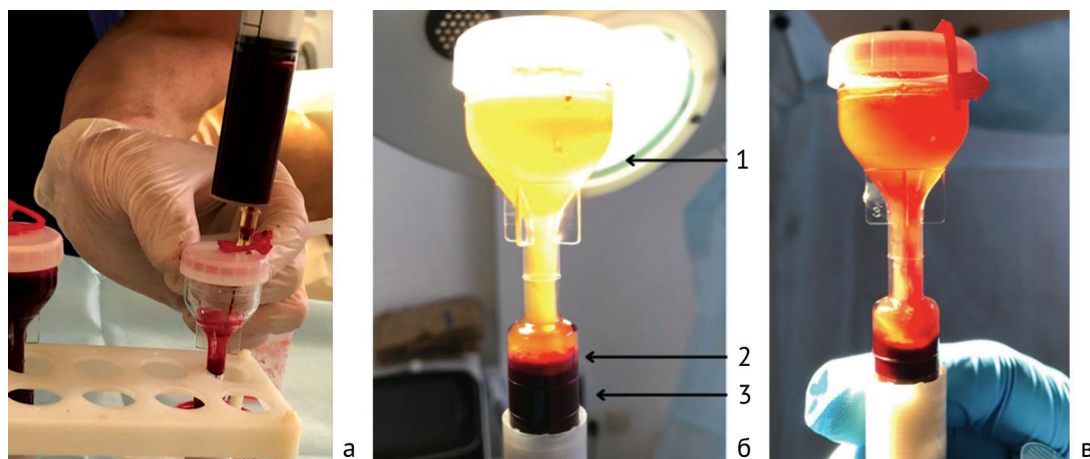


Рис. 3.: а — помещение аспириата в пробирки YCELLBIO; б — разделение на фракции (1 — плазма, 2 — фракция с высоким содержанием МСК, 3 — эритроцитарная масса); в — центрирование концентрата костного мозга в перешейке пробирки методом вращения поворотного колпачка

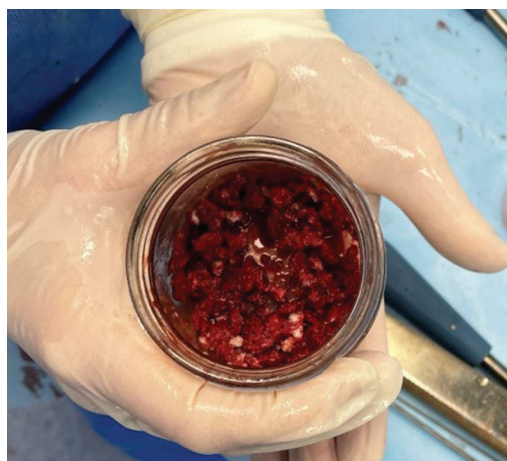


Рис. 4. Измельченная аутокость, смешанная с АККМ

Выполнение декомпрессии и костной аутопластики остеонекротического очага. Не меняя положение пациента на операционном столе, по наружной поверхности бедра, дистальнее большого вертела, чрескожно проводили спицу Киршнера диаметром 2,3 мм в центр остеонекротического очага, локализованного обычно в передне-верхнем секторе головки бедренной кости. Позиционирование направляющей спицы контролировали при помощи ЭОП в прямой и аксиальной проекциях.

В месте введения спицы выполняли операционный доступ длиной 2–3 см. Далее по спице устанавливали канюлированное сверло диаметром 10 мм и осуществляли рассверливание по ходу шейки бедренной кости до пораженной зоны, максимально полно удаляя некротические массы и окружающие их участки остеосклероза (рис. 5).

После удаления сверла в образовавшийся канал вводили полый направитель диаметром 9 мм. Далее, под контролем ЭОП, фрагментированный костный аутоплантат, предварительно смешанный с АККМ, порционно импактировали в таргетную зону головки бедренной кости (рис. 6). Рану послойно ушивали.

Послеоперационное ведение пациента. В первые сутки после операции всем пациентам были выполнены рентгенограммы оперированного сустава (рис. 7).

В течение первых 4 нед. была полностью исключена осевая нагрузка на оперированную конечность. Спустя 1 мес. пациентам разрешали дозированную нагрузку на оперированную ногу весом 20 % от массы тела, с постепенным увеличением ее до полной в течение 4 нед. Всем исследуемым была назначена медикаментозная терапия в соответствии с современными рекомендациями по лечению АНГБК [1]. Схема лечения включала прием препаратов кальция и витаминов группы D в течение 3 мес., бисфосфонатов, антикоагулянтов — в течение 1 мес., а после их отмены — антиагрегантов — на протяжении 2 мес.

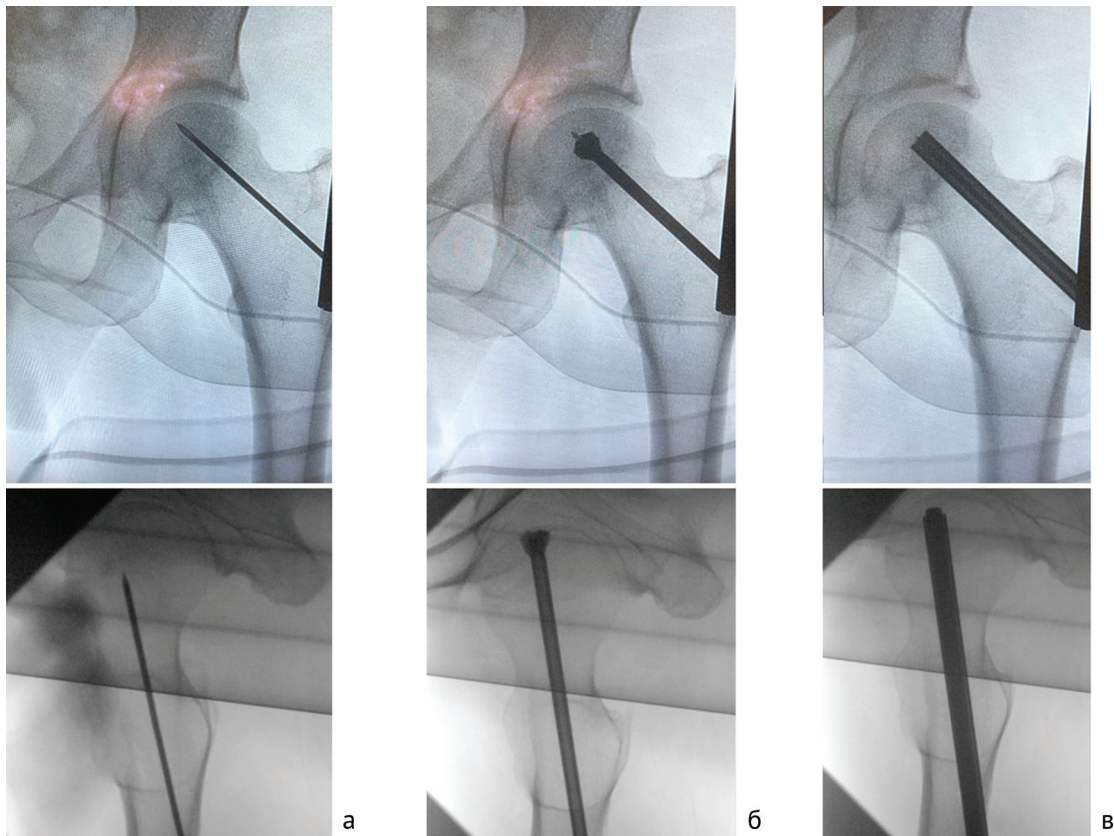


Рис. 5. Этапы костной пластики остеонекротического очага головки бедренной кости: а — установка спицы в зону очага некроза; б — рассверливание канюлированным сверлом; в — заведение инструмента для костной пластики

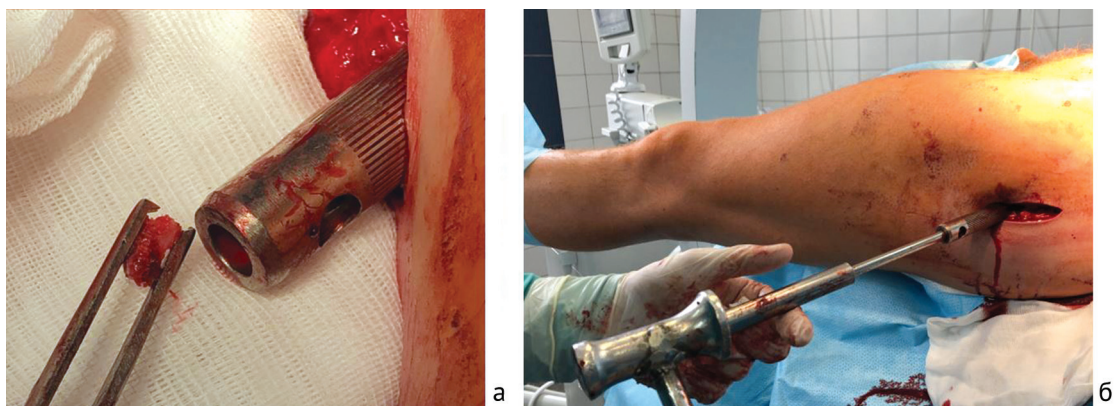


Рис. 6. Проведение размельченного костного аутогранулята с АКМ в очаг остеонекроза: а — порционная загрузка через полый костный проводник; б — импактирование



Рис. 7. Послеоперационная рентгенограмма проксимального отдела бедренной кости пациента Б., 33 лет, на которой хорошо визуализируется столбик костного аутогранулята, импактированного в зону остеонекроза

РЕЗУЛЬТАТЫ

По прошествии 6 мес. после проведенного оперативного лечения 21 пациенту (24 %) потребовалось эндопротезирование сустава ввиду сохраняющегося болевого синдрома и неудовлетворительного клинко-функционального состояния (рис. 8). Согласно МРТ, в дооперационном периоде остеонекротический очаг у данной группы исследуемых занимал более 30 % головки бедренной кости и сопровождался выраженным трабекулярным отеком, что соответствовало IIC стадии по классификации ARCO. В послеоперационном периоде у 16 (76,2 %) из этих пациентов выявлен коллапс суставной поверхности головки бедра, у 5 (23,8 %) сохранялись жалобы на болевой синдром (более 6 по ВАШ) и нарушение функции нижней конечности, в результате чего общее качество жизни пациентов значительно снизилось. Ввиду невозможности объективной оценки таких пациентов по клинко-функциональным шкалам, результаты их опроса исключались при проведении статистической обработки данных.

Полученные средние значения функционального состояния тазобедренного сустава оставшихся 65 пациентов, оцененные по шести шкалам в послеоперационном периоде, были существенно выше, чем до проведения оперативного вмешательства, а выявленные различия оказались не только достоверными, но и высоко значимыми ($p < 0,001$).

Оценка результатов лечения в этой группе пациентов (не потребовалось эндопротезирование) по шкале ВАШ указывала на снижение уровня болевого синдрома с ($6,9 \pm 1,4$) до ($2,4 \pm 1,4$) балла через 3 мес. после оперативного вмешательства. С 3 по 6 мес. наблюдений показатель интенсивности болевых ощущений практически не изменялся и составлял ($2,3 \pm 1,3$) балла, а к 12 мес. плавно снизился до ($1,7 \pm 0,5$) балла.

При анализе данных по модифицированной шкале Харриса выявлено улучшение функции тазобедренного сустава у всех 65 пациентов, которым выполняли декомпрессию и костную аутопластику с АККМ, и чьи результаты лечения учитывали при статистической обработке данных. Спустя 3 мес. после операции среднее значение достигало 76 баллов, а результат оценивался как удовлетворительный. По прошествии 12 мес. наблюдений показатель увеличивался до 83 баллов, что соответствовало по шкале хорошему клинко-функциональному состоянию сустава.

Оценка степени ограничения жизнедеятельности по шкале Лекена также указывала на постепенное улучшение таких показателей, как боль и дискомфорт, дистанция ходьбы, повседневная активность от «выраженного» ограничения до выполнения операции к «легкому» ограничению через 1 год после проведенного лечения.

Аналогичные данные получены при анализе показателей шкалы UCLA Activity Score. Пациенты отмечали существенное увеличение двигательной активности с течением времени. Небольшой прирост показателей на первых точках наблюдения объяснялся достаточно длительным периодом реабилитации, но к 1 году с момента выполнения операции зарегистрировано значимое улучшение функциональных результатов.

Анализ качества жизни пациентов на основании субъективной 100-балльной шкалы, а также опросника Eq-5d показал положительную динамику по критериям подвижность, самообслуживание, бытовая активность, боль и дискомфорт, тревога и депрессия. Согласно мнению респондентов, в дооперационном периоде качество их жизни оценивалось на 60 %, а через год после лечения показатель возрос до 85 % (табл. 1).

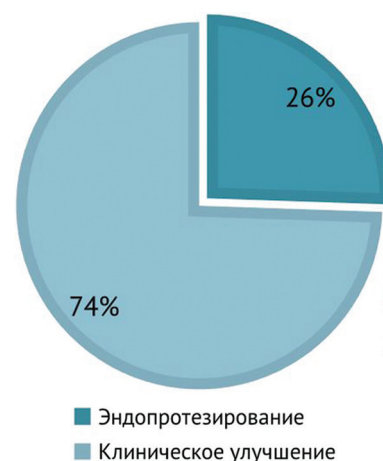


Рис. 8. Соотношение пациентов, достигших клинического улучшения после декомпрессивной аутопластики с АККМ и подвергшихся эндопротезированию тазобедренного сустава

Результаты опроса пациентов в контрольные сроки наблюдения

Таблица 1

Шкала оценки	До операции	3–6 мес. после операции	9–12 мес. после операции
ВАШ	6,9	2,4	1,7
Модифицированная шкала Харрис	66,6 (неудовлетворительно)	76,6 (удовлетворительно)	83,6 (хорошо)
Шкала Лекена (степень ограничения жизнедеятельности)	12,8 (выраженное)	5,5 (умеренное)	3,2 (легкое)
Шкала UCLA Activity Score	2,4	3,6	7,9
Eq-5d (опросник качества жизни)	10,8	9,1	7,8
Субъективная оценка качества жизни от 0 до 100 %	60	80	85

С целью оценки морфологических изменений аутооттрансплантата проведено прижизненное гистологическое исследование резецированной головки бедренной кости одного из пациентов, перенесшего операцию эндопротезирования. Сохранившиеся данные дооперационной МРТ позволили сопоставить МР-картину, визуальную характеристику распиленного макропрепарата и результаты гистологического исследования.

При сопоставлении объема поражения головки бедренной кости, видимого на макропрепарате, и объема импактированного в зону остеонекроза аутооттрансплантата становилось очевидным, что замещение всего остеонекротического очага костной ткани по данной методике у этого пациента не происходило. Согласно результатам гистологического исследования, полной перестройки аутооттрансплантата не наступало. Микроскопическая картина микропрепарата соответствовала асептическому некрозу кости с наличием бесструктурно лежащих фрагментов губчатой костной ткани, частично лизированными костными балками, фиброзными очагами с включениями жировой ткани в межбалочном пространстве (рис. 9).

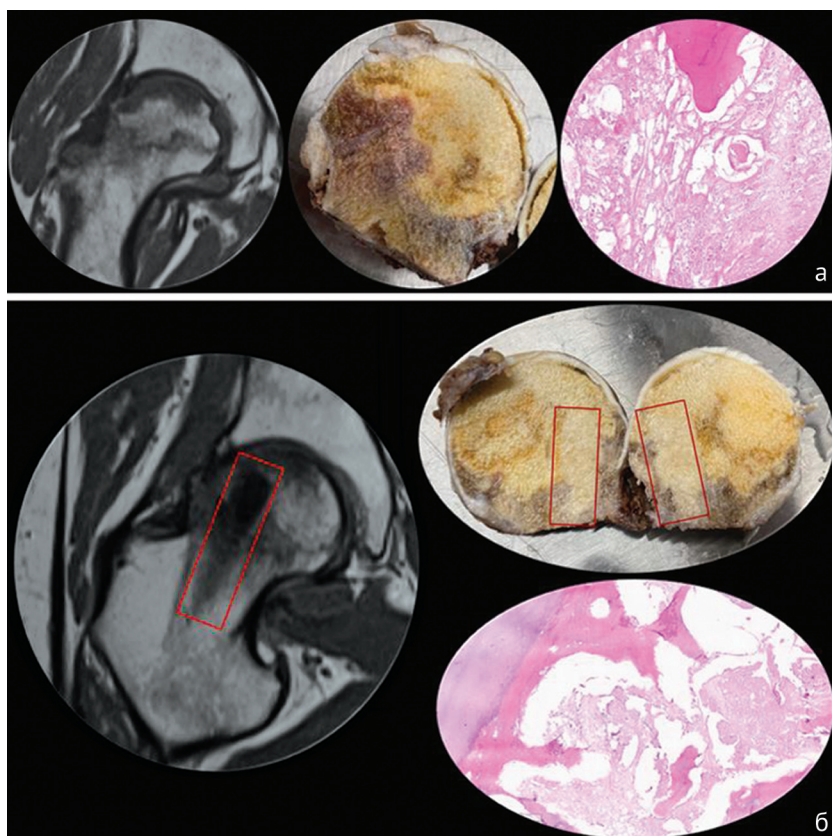


Рис. 9. МР-картина, распиленный макропрепарат и гистологическая картина участков головки бедренной кости пациента К., 43 лет: а — срез без участков костной пластики; б — срез со столбиком костного аутооттрансплантата (красный прямоугольник)

По прошествии года после оперативного лечения при сопоставлении клинической и рентгенологической картины в группе из 65 пациентов, у которых не возникло потребности в эндопротезировании сустава, несмотря на хороший клинический результат, в 10 случаях был выявлен коллапс головки бедренной кости, в 15 — отсутствие каких-либо структурных изменений костной ткани, у 40 — наблюдался регресс трабекулярного отека головки и шейки бедренной кости (рис. 10, 11).

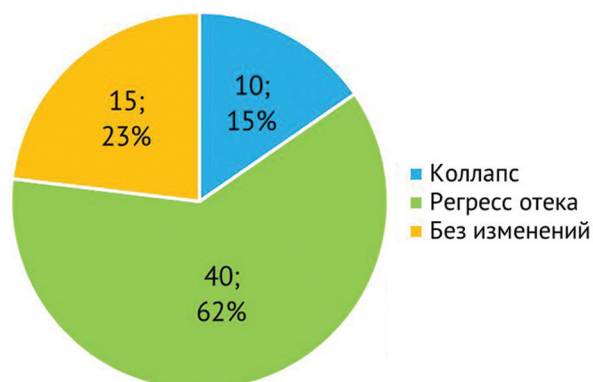


Рис. 10. Оценка структурных изменений головки бедренной кости по данным МРТ



Рис. 11. МРТ-картина тазобедренного сустава пациентки Т., 45 лет, с АНГБК: а — до операции; б — через 6 мес. после лечения

В процессе хирургического лечения и последующего наблюдения выявлено одно осложнение (0,86 %) — невропатия наружного кожного нерва бедра, которое произошло, вероятно, в результате травматизации нерва во время забора костного аутооттрансплантата из гребня подвздошной кости. Парестезия разрешилась спустя 6 мес. после операции без проведения медикаментозной терапии.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенное пилотное многоцентровое проспективное нерандомизированное исследование показало эффективность малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики с АКМ в лечении пациентов с АНГБК. У большинства пациентов отмечено снижение уровня болевого синдрома, улучшение функционального состояния тазобедренного сустава и качества жизни в целом на всех контрольных точках наблюдения.

Примененная в исследовании тактика хирургического лечения позволила остановить стадийное прогрессирование заболевания и предотвратить коллапс головки бедренной кости у 55 пациентов (63,9 %), однако заметного регресса патологических структурных изменений достигнуть не удалось. Согласно полученным результатам, предпринятое малоинвазивное оперативное вмешательство позволило 76 % пациентам отказаться от эндопротезирования тазобедренного сустава вплоть до 12 мес. наблюдений.

Предложенная Р. Ficat и J. Arlet декомпрессия остеонекротического очага является общепризнанной методикой, применяемой на протяжении последних десятилетий [31]. Считается, что данное оперативное вмешательство способно устранить отек костного мозга и избыточное внутрикостное давление, улучшить локальную перфузию костной ткани и создать условия для реваскуляризации пораженного участка [26, 30]. К сожалению, в большинстве случаев изолированное применение декомпрессии не позволяет всеобъемлюще воздействовать на основные звенья патогенеза АНГБК и получить желаемый результат от лечения данным методом. Более того, по мнению некоторых исследователей, классическая декомпрессия, подразумевающая создание туннеля диаметром 8–10 мм без выполнения костной пластики, может лишить субхондральную кость поддержки и спровоцировать коллапс последней [22, 23, 35]. Ввиду большого процента неудачных исходов лечения независимыми исследователями были осуществлены попытки усовершенствования органосохраняющих методик лечения АНГБК [32]. Основная концепция заключается в модернизации декомпрессии посредством ее комбинации с различными видами васкуляризированных и невакуляризированных трансплантатов, а также с использованием различных синтетических материалов [3, 22, 24, 27, 28].

В 1996 г. М. Mont et al. провели обзор 42 исследований с целью сравнительной оценки эффективности декомпрессии остеонекротического очага и неоперативной тактики лечения пациентов с АНГБК, проанализированы результаты лечения 2025 человек. В группе исследуемых, где была выполнена декомпрессия ($n = 1206$), процент удовлетворенных пациентов варьировал от 53 до 63. В контрольной группе ($n = 819$) с консервативным методом лечения лишь у 22 % пациентов удалось получить положительные результаты [21].

В 2008 г. Т.М. Seyler et al. проанализировали результаты лечения 33 пациентов (39 тазобедренных суставов) с АНГБК II и III стадии по классификации Р. Ficat и J. Arlet (1980 г.). Всем исследуемым выполнена декомпрессия остеонекротического очага в комбинации с импакцией невакуляризированного аутооттрансплантата. По прошествии 36 мес. 26 (67 %) из 39 тазобедренных суставов не подверглись эндопротезированию, результаты лечения этих пациентов авторы посчитали успешными [33].

В 2023 г. группа индийских ученых во главе с Н. Singh выполнила декомпрессию с аутопластикой губчатым трансплантатом 20 пациентам с АНГБК I и II стадии по классификации P. Ficat и J. Arlet (1980 г.). Девяносто процентов исследуемых составляли молодые люди в возрасте от 20 до 40 лет. По прошествии 6 мес. у 30 % пациентов авторы диагностировали развитие вторичного остеоартрита или признаки прогрессирования остеонекроза до III или IV стадии заболевания [34].

Высокий процент неудачных исходов органосохраняющих операций при АНГБК, обусловленных, главным образом, неполноценной регенерацией области асептического некроза кости, направил поиск новых подходов и возможностей для улучшения результатов лечения в сторону регенеративной медицины [18, 21, 29, 30].

Аутологичные аспират и концентрат костного мозга (АККМ) относятся к одним из базовых ортобиологических продуктов. Механизм их действия недостаточно изучен, однако содержащиеся мезенхимальные стромальные клетки с их паракринным эффектом и возможностью дифференцировки по остеогенному пути, многочисленные факторы роста, цитокины, биологически активные молекулы позволяют предполагать перспективность использования этих продуктов с целью стимуляции репаративных процессов в различных видах соединительной ткани. Проведенные экспериментальные исследования, пока немногочисленные клинические работы по применению ортобиологических продуктов в лечении заболеваний и повреждений опорно-двигательного аппарата показывают весьма обнадеживающие результаты [22, 26, 27, 28, 36, 37, 40, 41]. Что касается непосредственно асептического некроза, то стимулирующее пролиферацию сосудов действие АККМ имеет несомненное патогенетическое значение. Секреция содержащихся в АККМ факторов роста — VEGF и PDGF — способствует потенцированию ангиогенеза и уменьшению степени ишемизации пораженного участка кости. Наряду с этим, антиапоптотический и иммуномодулирующий эффекты АККМ, достигаемые за счет ингибирования TNF- α , а также IL-1, IL-6, IL-12 и других медиаторов воспаления, предотвращают прогрессирование заболевания и дальнейшее разрушение сустава [22, 28, 37].

Впервые о возможности осуществления декомпрессии в сочетании с введением АККМ доложили P. Hernigou et al. на основании результатов проспективного исследования, в котором приняли участие 534 пациента с асептическим некрозом головки бедренной кости I и II стадии по классификации Steinber [38]. Период наблюдения пациентов составил от 8 до 18 лет (в среднем 13 лет). На протяжении всего исследования 94 пациентам потребовалось эндопротезирование сустава, что составляет 17 % от общего количества добровольцев. У пациентов, которым не потребовалась замена сустава ($n = 400$), выявлено улучшение клинико-функционального состояния согласно шкале Harris (70 баллов до операции, 88 баллов в послеоперационном периоде). Авторами была отмечена прямая зависимость результатов лечения от количества введенных с концентратом прогениторных клеток [26]. Последнее логически согласовалось с известным фактом о значительном снижении количества остеобластов и МСК в костной ткани при развитии АНГБК, объясняющем уменьшение способности костной ткани к остеогенезу и замещению некротического очага «живой» костью [2, 3, 15, 16].

В отдельных сравнительных клинических исследованиях показаны преимущества использования АККМ в качестве дополнения общепринятых способов хирургического лечения. Так, в проспективном двойном слепом рандомизированном исследовании T. Wang et al., включающем 45 пациентов (53 тазобедренных сустава) с диагнозом АНГБК I–III стадии, функциональные результаты декомпрессии некротизированного очага, сочетающейся с костной аутопластикой и введением АККМ, через 24 мес. наблюдения оказались достоверно лучше таковых у пациентов, которым выполняли только декомпрессию. Причем в группе сравнения в 33,3 % случаев авторы наблюдали МРТ-признаки прогрессирования заболевания, а 4 пациентам выполнено эндопротезирование тазобедренного сустава. В основной группе пациентов отрицательную динамику отмечали лишь в 8 % случаев, тогда как необходимость в эндопротезировании возникла у 2 пациентов с III стадией АНГБК [35].

В 2020 г. L. Zhang et al. провели систематический мета-анализ с целью оценки эффективности декомпрессии очага остеонекроза в комбинации с использованием АККМ. В работу включено 16 клинических исследований, 7 из которых — рандомизированные. Общее количество участников — 1051. Пациентам основной группы ($n = 583$) осуществляли декомпрессию в сочетании с клеточной терапией, а в группе сравнения ($n = 468$) — только декомпрессию головки бедренной кости. Результаты оценивали на протяжении 24 мес. на основании шкал ВАШ и Harris, а также потребности пациентов в тотальном эндопротезировании. Согласно итоговым данным, показатели оценочных шкал были выше в группе, где декомпрессию остеонекротического очага комбинировали с применением продукта аутологичного аспирата костного мозга. После проведенного лечения 22,5 % и 43,3 % пациентов 1 и 2 групп, соответственно, нуждались в замене тазобедренного сустава [36]. В целом же, по данным систематического обзора L. Zhang et al. и ряда других тематических исследований последних лет, положительные исходы хирургического лечения с применением декомпрессии в со-

четании с АККМ на преколлаптоидных стадиях заболевания удастся достигнуть в 70–90 % случаев, что на 20 % выше по сравнению с использованием декомпрессии без применения костномозгового концентрата [21, 33, 34, 35, 36].

Целью нашего исследования была оценка влияния малоинвазивной декомпрессии, костной аутопластики и АККМ на функцию тазобедренного сустава и качество жизни пациентов с АНГБК, а также на патологические структурные изменения, происходящие в головке бедренной кости.

Согласно полученным данным, успешный исход лечения мы наблюдали в 76 % случаев. Ввиду того, что в представленное исследование включены в основном пациенты с постковидным и стероидиндуцированным остеонекрозом, а также отсутствовали исследуемые с первой стадией заболевания, процент положительных результатов лечения был несколько ниже по сравнению с показателями других подобных исследований. Также нельзя исключить, что при постановке диагноза стадия заболевания у некоторых пациентов могла быть определена некорректно. Причиной тому являлась высокая интенсивность отека костного мозга на МР-изображениях, вследствие чего симптомы субхондрального лизиса костной ткани оставались незаметными. Между тем, именно эти изменения идентифицируются как «симптом полумесяца» и считаются патогномичным признаком IIIA стадии по классификации ARCO, при которой органосохраняющие методики лечения признаются неэффективными в большинстве случаев [25, 26, 28, 30, 35].

Наряду с не вызывающей каких-либо возражений необходимостью учета стадийности АНГБК при выборе тактики лечения, в нашей работе также подтверждена не меньшая важность оценки объема поражения головки бедренной кости. У пациентов со II стадией и объемом поражения до 30 % риск возникновения необходимости в эндопротезировании после выполнения малоинвазивной декомпрессии в сочетании с костной аутопластикой и АККМ является относительно низким. В отношении пациентов с IIIB и IV стадиями оптимальным решением остается эндопротезирование тазобедренного сустава, так как в этих случаях вероятность развития вторичного остеоартрита остается крайне высокой [18, 21, 29, 30, 35, 38].

Ограничениями нашего исследования являлись относительно небольшой размер выборки пациентов, отсутствие группы контроля и пациентов с первой стадией заболевания. Кроме того, период наблюдения за исследуемыми был небольшим, а используемые для опроса клиническо-функциональные шкалы учитывали преимущественно субъективное мнение респондентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало эффективность малоинвазивной декомпрессии и костной аутопластики с АККМ в лечении пациентов с АНГБК. В большинстве случаев отмечено снижение уровня болевого синдрома, улучшение функционального состояния тазобедренного сустава и качества жизни пациентов на всех контрольных точках исследования. Однако заметного регресса патологических структурных изменений костной ткани не зарегистрировано. Для получения более объективных данных об эффективности применения АККМ в хирургическом лечении АНГБК необходимо проведение исследования с большей выборкой пациентов и наличием группы контроля, а также анализ более отдаленных результатов лечения.

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

Источник финансирования. Государственное бюджетное финансирование.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом (регистрационный номер: IRB 00005839 IORG 0004900 (OHRP)).

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное письменное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию его результатов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Торгашин А.Н., Родионова С.С., Шумский А.А. с соавт. Лечение асептического некроза головки бедренной кости. Клинические рекомендации. *Научно-практическая ревматология*. 2020;58(6):637–645. doi: 10.47360/1995-4484-2020-637-645
2. Guggenbuhl P, Robin F, Cadiou S, Albert JD. Etiology of avascular osteonecrosis of the femoral head. *Morphologie*. 2021;105(349):80–84. doi: 10.1016/j.morpho.2020.12.002
3. 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
4. Lespasio MJ, Sodhi N, Mont MA. Osteonecrosis of the Hip: A Primer. *Perm J*. 2019;23:18–100. doi: 10.7812/TPP/18-100
5. George G, Lane JM. Osteonecrosis of the Femoral Head. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev*. 2022;6(5):e21.00176. doi: 10.5435/JAOSGlobal-D-21-00176
6. Muthu S, Jeyaraman M, Selvaraj P, et al. Dose-Response Meta-Analysis of Corticosteroid Effects in SARS Outbreak: A Model for Risk Stratification and Screening Strategy for Osteonecrosis of Femoral Head Post-Corticosteroid Therapy for COVID-19. *Life (Basel)*. 2023;13(4):907. doi: 10.3390/life13040907

7. Hassan AAA, Khalifa AA. Femoral head avascular necrosis in COVID-19 survivors: a systematic review. *Rheumatol Int.* 2023;43(9):1583-1595. doi: 10.1007/s00296-023-05373-8
8. Zhu D, Yu H, Liu P, et al. Calycosin modulates inflammation via suppressing TLR4/NF- κ B pathway and promotes bone formation to ameliorate glucocorticoid-induced osteonecrosis of the femoral head in rat. *Phytother Res.* 2021;35(5):2824-2835. doi: 10.1002/ptr.7028
9. Motta F, Timilsina S, Gershwin ME, Selmi C. Steroid-induced osteonecrosis. *J Transl Autoimmun.* 2022;5:100168. doi: 10.1016/j.jtauto.2022.100168
10. Assouline-Dayana Y, Chang C, Greenspan A, et al. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis. *Semin Arthritis Rheum.* 2002;32(2):94-124.
11. Tang C, Wang Y, Lv H, et al. Caution against corticosteroid-based COVID-19 treatment. *Lancet.* 2020;395(10239):1759-1760. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30749-2
12. Velchov V, Georgiev P, Tserovski S, et al. Corticosteroid-Associated Avascular Necrosis of the Femoral Head in Patients with Severe COVID-19: A Single-Center Study. *Med Sci Monit.* 2023;29:e940965. doi: 10.12659/MSM.940965
13. Li W, Huang Z, Tan B, et al. General recommendation for assessment and management on the risk of glucocorticoid-induced osteonecrosis in patients with COVID-19. *J Orthop Translat.* 2021;31:1-9. doi: 10.1016/j.jot.2021.09.005
14. Mirzai R, Chang C, Greenspan A, Gershwin ME. The pathogenesis of osteonecrosis and the relationships to corticosteroids. *J Asthma.* 1999;36(1):77-95. doi: 10.3109/02770909909065152
15. Assouline-Dayana Y, Chang C, Greenspan A, et al. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis. *Semin Arthritis Rheum.* 2002;32(2):94-124.
16. Chang C, Greenspan A, Gershwin ME. The pathogenesis, diagnosis and clinical manifestations of steroid-induced osteonecrosis. *J Autoimmun.* 2020;110:102460. doi: 10.1016/j.jaut.2020.102460
17. Powell C, Chang C, Gershwin ME. Current concepts on the pathogenesis and natural history of steroid-induced osteonecrosis. *Clin Rev Allergy Immunol.* 2011;41(1):102-13. doi: 10.1007/s12016-010-8217-z
18. Rosenwasser MP, Garino JP, Kiernan HA, Michelsen CB. Long term followup of thorough debridement and cancellous bone grafting of the femoral head for avascular necrosis. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(306):17-27.
19. Arlet J, Ficat P, Lartigue G. Mode of onset of primary osteonecrosis of the femoral head. (Stage I. Uncomplicated). Study of 20 cases histologically verified by punch biopsy. *Rev Rhum Mal Osteoartic.* 1968;35(5):239-249.
20. Steinberg ME. Core decompression of the femoral head for avascular necrosis: indications and results. *Can J Surg.* 1995;38 Suppl 1:S18-24.
21. Mont MA, Carbone JJ, Fairbank AC. Core decompression versus nonoperative management for osteonecrosis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(324):169-178. doi: 10.1097/00003086-199603000-00020
22. Zhang C, Fang X, Huang Z, et al. Addition of Bone Marrow Stem Cells Therapy Achieves Better Clinical Outcomes and Lower Rates of Disease Progression Compared With Core Decompression Alone for Early Stage Osteonecrosis of the Femoral Head: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(23):973-979. doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00816
23. Hua KC, Yang XG, Feng JT, et al. The efficacy and safety of core decompression for the treatment of femoral head necrosis: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):306. doi: 10.1186/s13018-019-1359-7
24. Fang T, Zhang EW, Sailes FC, et al. Vascularized fibular grafts in patients with avascular necrosis of femoral head: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(1):1-10. doi: 10.1007/s00402-012-1627-z
25. Yu X, Zhang D, Chen X, et al. Effectiveness of various hip preservation treatments for non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Sci.* 2018;23(2):356-364. doi: 10.1016/j.jos.2017.12.004
26. Xu S, Zhang L, Jin H, et al. Autologous Stem Cells Combined Core Decompression for Treatment of Avascular Necrosis of the Femoral Head: A Systematic Meta-Analysis. *Biomed Res Int.* 2017;2017:6136205. doi: 10.1155/2017/6136205
27. Wang T, Wang W, Yin ZS. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with thorough debridement, bone grafting and bone-marrow mononuclear cells implantation. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(2):197-202. doi: 10.1007/s00590-012-1161-2
28. Lau RL, Perruccio AV, Evans HM, et al. Stem cell therapy for the treatment of early stage avascular necrosis of the femoral head: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2014;15:156. doi: 10.1186/1471-2474-15-156
29. Jindal K, Aggarwal S, Kumar P, Rathod P. Core decompression with bone marrow aspirate concentrate in post collapse avascular necrosis of hip: A systematic review and meta-analysis. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;17:78-87. doi: 10.1016/j.jcot.2021.02.010
30. Sadile F, Bernasconi A, Russo S, Maffulli N. Core decompression versus other joint preserving treatments for osteonecrosis of the femoral head: a meta-analysis. *Br Med Bull.* 2016;118(1):33-49. doi: 10.1093/bmb/ldw010
31. Van Laere C, Mulier M, Simon JP, et al. Core decompression for avascular necrosis of the femoral head. *Acta Orthop Belg.* 1998;64(3):269-272.
32. Mont MA, Carbone JJ, Fairbank AC. Core decompression versus nonoperative management for osteonecrosis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(324):169-178. doi: 10.1097/00003086-199603000-00020
33. Seyler TM, Marker DR, Ulrich SD, et al. Nonvascularized bone grafting defers joint arthroplasty in hip osteonecrosis. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(5):1125-1132. doi: 10.1007/s11999-008-0211-x
34. Singh H, Agarwal KK, Tyagi S, et al. An Evaluation of Core Decompression and Cancellous Bone Grafting for Early-Stage Avascular Necrosis of the Femoral Head. *Cureus.* 2023;15(4):e37878. doi: 10.7759/cureus.37878
35. Ma Y, Wang T, Liao J, et al. Efficacy of autologous bone marrow buffy coat grafting combined with core decompression in patients with avascular necrosis of femoral head: a prospective, double-blinded, randomized, controlled study. *Stem Cell Res Ther.* 2014;5(5):115. doi: 10.1186/scrt505
36. Zhang C, Fang X, Huang Z, et al. Addition of Bone Marrow Stem Cells Therapy Achieves Better Clinical Outcomes and Lower Rates of Disease Progression Compared With Core Decompression Alone for Early Stage Osteonecrosis of the Femoral Head: A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(23):973-979. doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00816
37. Oryan A, Kamali A, Moshiri A, et al. Role of Mesenchymal Stem Cells in Bone Regenerative Medicine: What Is the Evidence? *Cells Tissues Organs.* 2017;204(2):59-83. doi: 10.1159/000469704

38. Hernigou P, Poignard A, Zilber S, Rouard H. Cell therapy of hip osteonecrosis with autologous bone marrow grafting. *Indian J Orthop.* 2009;43(1):40-45. doi: 10.4103/0019-5413.45322
39. Кондрашенко В.В., Маланин Д.А., Демещенко М.В. Способ получения аутологичного концентрата клеток костного мозга для лечения воспалительно-дегенеративных заболеваний в травматологии и ортопедии. Патент РФ на изобретение № 2763250. 28.12.2021. Бюл. № 1. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servle?t?DB=RUPAT&rn=7773&DocNumber=2763250&TypeFile=html. Ссылка активна на 03.10.2024.
40. Страхов М.А., Загородний Н.В., Лазишвили Г.Д. и др. Особенности применения богатой тромбоцитами плазмы (PRP) в травматологии, ортопедии и спортивной медицине. *Opinion Leader.* 2016;1(1):50-55. URL: <http://library.opinionleaderjournal.com/books/jwkh/#p=52>
41. Переходов С.Н., Брижань Л.К., Давыдов Д.В. с соавт. Применение клеточных технологий в комплексном лечении огнестрельных переломов длинных костей конечностей. *Технологии живых систем.* 2010;7(5):60-62.

Статья поступила 29.07.2024; одобрена после рецензирования 27.09.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 29.07.2024; approved after reviewing 27.09.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Дарья Александровна Найда — кандидат медицинских наук, заведующая отделением, Darianayda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4567-2612>;

Борис Владимирович Тюлькевич — врач травматолог-ортопед, начальник отделения, 1983loki@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2123-2182>;

Дмитрий Александрович Маланин — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, malanin67@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7507-0570>;

Владимир Владимирович Кондрашенко — врач травматолог-ортопед, аспирант, vovamail2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7512-492X>;

Максим Васильевич Демещенко — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, maximus275@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1797-2431>;

Николай Николаевич Чирков — доктор медицинских наук, заведующий отделением, surgenik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7099-2672>.

Information about the authors:

Daria A. Naida — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Darianayda@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-4567-2612>;

Boris V. Tyulkevich — orthopedic surgeon, Head of the Department, 1983loki@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0004-2123-2182>;

Dmitry A. Malanin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, malanin67@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7507-0570>;

Vladimir V. Kondrashenko — orthopedic surgeon, graduate student vovamail2009@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7512-492X>;

Maxim V. Demeshchenko — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, maximus275@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1797-2431>;

Nikolay N. Chirkov — Doctor of Medical Sciences, orthopedic, Head of the Department, surgenik@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7099-2672>.

Вклад авторов:

Найда Д.А. — оперативное лечение пациентов, сбор, анализ, интерпретация данных, написание текста статьи, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Тюлькевич Б.В. — сбор, анализ, интерпретация данных.

Маланин Д.А. — оперативное лечение пациентов, сбор, анализ, интерпретация данных, написание текста статьи, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Кондрашенко В.В. — оперативное лечение пациентов, сбор, анализ, интерпретация данных, написание текста статьи.

Демещенко М.В. — оперативное лечение пациентов, сбор, анализ, интерпретация данных, редактирование для важного интеллектуального содержания.

Чирков Н.Н. — оперативное лечение пациентов, сбор, анализ, интерпретация данных, редактирование для важного интеллектуального содержания.

Научная статья

УДК 616.728.3-77-089.843:62-52

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-845-854>

Кинематическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава

А.В. Лычагин, А.А. Грицюк, Е.Б. Калинин, Я.А. Рукин, М.П. Елизаров, А.А. Грицюк, М.Я. Гавловский✉, К.Х. Томбоиди, М.Л. Бабаева

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

Автор, ответственный за переписку: Максим Ярославович Гавловский, gavlovsky.m@yandex.ru

Аннотация

Введение. Выделяют две основных концепции тотального эндопротезирования коленного сустава: механическое и анатомическое выравнивание оси нижней конечности. S.M. Howell et al. в 2013 г. предложили концепцию кинематического выравнивания, главной идеей которой являлось сохранение уровня линии сустава и оси нижней конечности, имевшихся у пациентов до начала остеоартроза. Первоначально было предложено выполнять кинематическое выравнивание по результатам КТ / МРТ-сканирования с использованием индивидуальных направителей, которые долго изготавливались, трудно устанавливались, ломались и были достаточно дорогими. Внедрение в клиническую практику роботизированных ортопедических систем позволяет планировать и выполнять резекцию костей с высокой точностью, устанавливать компоненты эндопротеза согласно предложенной концепции и дает новые возможности для кинематического выравнивания.

Цель работы — оценить эффективность роботической хирургической системы в выполнении ограниченного кинематического выравнивания при тотальном эндопротезировании коленного сустава.

Материалы и методы. Проведено проспективное одноцентровое исследование 47 пациентов (12 мужчин и 35 женщин) с гонартрозом 3–4 степени по классификации Kellgren – Lawrence среднего возраста ($65,87 \pm 7,40$) лет, со средним индексом массы тела ($31,3 \pm 4,7$) кг/м², медианой угла НКА (англ.: Hip-Knee-Ankle) — 175°, медианой латерального дистального бедренного угла — 87°, медианой медиального проксимального тибального угла — 87°. Пациентам выполнено роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава методом ограниченного кинематического выравнивания.

Результаты. На контрольных телерентгенограммах средний угол НКА после операции составил ($176,0 \pm 1,5$)°. В 42,6 % случаев отклонение от плана находилось в пределах $\pm 1^\circ$, отклонение $\pm 2^\circ$ — в 44,7 % случаев, в остальных 12,7 % случаев было отклонение в отрицательную сторону.

Обсуждение. В литературе мы не обнаружили результатов рентгенологического исследования тазобедренно-коленно-голеностопного угла во фронтальной проекции до и после роботизированной тотальной артропластики коленного сустава и сравнения их с результатами предоперационного планирования по методике кинематического выравнивания оси конечности. Полученные нами результаты показывают высокую точность реализации предоперационного плана.

Заключение. Персонализированный подход к тотальному эндопротезированию коленного сустава с применением автономной роботической установки позволяет эффективно выполнить кинематическое выравнивание оси нижней конечности с точностью до 2° у 87,3 % пациентов.

Ключевые слова: коленный сустав, робот, ограниченное кинематическое выравнивание, роботизированное тотальное эндопротезирование коленного сустава

Для цитирования: Лычагин А.В., Грицюк А.А., Калинин Е.Б., Рукин Я.А., Елизаров М.П., Грицюк А.А., Гавловский М.Я., Томбоиди К.Х., Бабаева М.Л. Кинематическое выравнивание при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):845-854. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-845-854. EDN: VQQOFA.

© Лычагин А.В., Грицюк А.А., Калинин Е.Б., Рукин Я.А., Елизаров М.П., Грицюк А.А., Гавловский М.Я., Томбоиди К.Х., Бабаева М.Л., 2024



Kinematic alignment in robotic total knee arthroplasty

A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk, E.B. Kalinsky, Ya.A. Rukin, M.P. Elizarov, A.A. Gritsyuk, M.Ya. Gavlovsky✉, K.Kh. Tomboidi, M.L. Babaeva

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

Corresponding author: Maxim Ya. Gavlovsky, gavlovsky.m@yandex.ru

Abstract

Introduction There are two main concepts of total knee arthroplasty: mechanical and anatomical alignment of the lower limb axis. Howell et al. (2013) proposed the concept of kinematic alignment, the main idea of which is to preserve the level of the joint line and the axis of the lower limb that patients had before the onset of osteoarthritis. Initially, kinematic alignment was proposed to be performed with individual guides based on the results of CT/MRI scans but they took a long time to manufacture, were difficult to install, broke down, and were quite expensive. Introduction of robotic orthopaedic systems into clinical practice enabled to plan and perform bone resection with high accuracy, to install the components of the implant system according to the necessary concept thus providing new opportunities for the application of kinematic alignment, which was the purpose of our study.

Purpose To study the possibilities of a robotic surgical system in performing restricted kinematic alignment in total knee arthroplasty (TKA).

Materials and methods A prospective single-center study was conducted in 47 patients (12 men and 35 women) with knee osteoarthritis in Kellgren – Lawrence grades 3–4, an average age of (65.87 ± 7.4) years, an average BMI of (31.3 ± 4.7) kg/m², median HKA angle of 175°, median LDFA of 87°, median MPTA of 87°. The patients underwent robotic total knee arthroplasty (RoTKA) with the method of restricted kinematic alignment.

Results On the control whole-leg radiographs, the average HKA angle after surgery was (176 ± 1.5)°. In 42.6 % of cases, the deviation from the plan was within $\pm 1^\circ$, the deviation $\pm 2^\circ$ in 44.7 % of cases, and in the remaining 12.7 % of cases the deviation was negative.

Discussion In the literature, we did not find the results of radiographic evaluation of the HKA angle in the coronal view before and after robotic total knee arthroplasty and their comparison with the results of preoperative planning using the kinematic alignment method of the limb axis. The results we obtained show high accuracy of the implementation of the preoperative plan.

Conclusion A personalized approach to TKA with application of an autonomous robotic system effectively provides kinematic alignment of the axis of the lower limb with an accuracy of up to 2° in 87.3 % of patients.

Keywords: knee joint, robot, restricted kinematic alignment, robotic total knee arthroplasty

For citation: Lychagin AV, Gritsyuk AA, Kalinsky EB, Rukin YaA, Elizarov MP, Gritsyuk AA, Gavlovsky MYa, Tomboidi KKh, Babaeva ML. Kinematic alignment in robotic total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):845-854. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-845-854

ВВЕДЕНИЕ

Анатомическое строение и биомеханика движения здорового коленного сустава постоянно изучаются и являются индивидуально варьируемыми, а патологические изменения увеличивают трудности ориентирования в операционной ране, что сказывается на результатах эндопротезирования [1–6].

В начале внедрения в 1970-х годах современных систем тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС) точность инструментов была низкой, а ошибки при имплантации — частыми, поэтому основные усилия были направлены на повышении точности установки имплантата, а воспроизведение нормальной биомеханики коленного сустава отходило на второй план [7].

Исторически сложились и долгое время практиковались две основных концепции тотального эндопротезирования коленного сустава: механическая и анатомическая техника выравнивания оси нижней конечности. Основа концепции механического выравнивания оси нижней конечности была заложена J.N. Inshall et al. и подразумевала восстановление механической нейтральной фронтальной оси конечности и расположение линии коленного сустава параллельно горизонту, что улучшало распределение нагрузки на большеберцовый компонент и уменьшало его износ. На основании этой концепции созданы инструменты и разработана техника операции [8–10]. Конкурирующая методика D.S. Hungerford et al. основывалась на концепции анатомического выравнивания оси конечности, при этом механическая ось конечности также восстанавливалась до нейтральной, но линия сустава располагалась в пределах 3° варусного отклонения к механической оси конечности, что улучшало биомеханику колена [9, 11, 12].

Философия механического выравнивания основана на точности резекции кости и устранении дисбаланса связок путем релиза связочного аппарата, что позволяло увеличить продолжительность срока службы имплантатов. При анатомическом выравнивании баланс связок не требует расширенного релиза, однако трудность выполнения резекции костей с варусным углом 3° приводила к более выраженным деформациям, что влияло на износ компонентов эндопротеза и мешало широкому распространению техники анатомического выравнивания [12].

Систематический обзор исследований по анализу походки пациентов после ТЭКС J.A. McClelland et al. продемонстрировал значительные кинематические отличия в сравнении с нормальной походкой [13]. Исследование J. Bellemans et al. показало, что 32 % мужчин и 17 % женщин имеют конституциональный варус коленного сустава в 3° [14]. По данным А.М. Almaawi et al., анатомический разброс показателей у 4884 пациентов с остеоартрозом при планировании ТЭКС выявил, что НКА (англ.: Hip-Knee-Ankle) был $> 3^\circ$ у 40 %, $> 5^\circ$ — у 19 % и $> 10^\circ$ — у 3 % пациентов. Поэтому реконструкция нейтральной механической оси у этих пациентов требовала значительной резекции кости, вызывала дисбаланс мягких тканей, проблемы с ориентацией линии сустава, что привело к выраженным изменениям кинематики коленного сустава [3].

Основываясь на данных исследованиях, S.M. Howell et al. предложили концепцию кинематического выравнивания, главной идеей которой является сохранение уровня линии сустава и оси нижней конечности, имевшихся у пациентов до начала остеоартроза [9, 10, 15].

Первоначально кинематическое выравнивание было предложено выполнять по результатам КТ / МРТ-сканирования с использованием индивидуальных направителей [16, 17]. Однако направители долго изготавливались (10–14 дней), трудно устанавливались, ломались и были достаточно дорогими. Применение стандартного инструментария не дает возможности надежно выполнить резекции костей для кинематического выравнивания, применение компьютерной навигации позволяет визуализировать ось конечности, но точность резекции не гарантирует, а специальный инструмент или индивидуальное эндопротезирование является очень дорогим [15].

Внедрение в клиническую практику роботизированных ортопедических систем позволяет планировать и выполнять резекцию костей с высокой точностью, устанавливать компоненты эндопротеза согласно выбранной концепции и дает новые возможности применения кинематического выравнивания [18–23].

Цель работы — оценить эффективность роботической хирургической системы в выполнении ограниченного кинематического выравнивания при ТЭКС.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проспективное одноцентровое исследование 47 пациентов с гонартрозом проведено в 2023 г. в клинике травматологии, ортопедии и патологии суставов университетской клинической больницы № 1 кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Сеченовского университета.

Критерии включения пациентов в исследование:

- возраст пациентов более 18 лет;
- диагноз — гонартроз 3–4 степени по классификации Kellgren – Lawrence;

— наличие письменного информированного согласия на выполнение операции ТЭКС по предложенной методике.

Критерии не включения пациентов в исследование:

- риск анестезиологического пособия по шкале ASA более III;
- индекс массы тела (ИМТ) больше 45 кг/м^2 ;
- деформация коленного сустава (варус $>10^\circ$);
- вальгусная деформация коленного сустава;
- разгибательная контрактура коленного сустава до 90° ;
- наличие металлоконструкции на пораженной стороне;
- выполненное тотальное эндопротезирование контралатерального коленного сустава методом механического выравнивания.

Критерии исключения пациентов из исследования:

- отказ пациента от дальнейшего участия в исследовании;
- несоблюдение пациентом предписанного режима.

Исследование одобрено локальным этическим комитетом Сеченовского университета (протокол от 08.12.22 № 25–22) и зарегистрировано на ClinicalTrials.gov (ID: NCT05750784). Информированное согласие пациентов на участие в исследовании получено до включения в исследование.

В исследовании изучали угол НКА, латеральный дистальный бедренный угол (ЛДБУ) и медиальный проксимальный тибиаальный угол (МПТУ) до и после операции, которые измеряли врачи-рентгенологи совместно с врачами травматологами-ортопедами в программе RadiAnt DICOM Viewer и заносили в базу данных.

Статистическую обработку клинического материала проводили с помощью программы IBM SPSS Statistics 23 (SPSS Inc., Чикаго, Иллинойс): группировка данных, вычисление интенсивных и экстенсивных показателей, определение средней ошибки относительных величин, определение нормального распределения критерием Шапиро – Уилка. Для истинно числовых переменных (возраст, ИМТ, механическая ось, ЛДБУ, МПТУ) рассчитывали частотные гистограммы и величины статистических параметров, включая среднее арифметическое (M), среднеквадратичное отклонение (σ), статистическую погрешность среднего (m), минимальное и максимальное значение и медиана (Me). Для анализа изменений показателей в динамике при нормальном распределении до и после операции использовали парный критерий Стьюдента, при ненормальном распределении — критерий Уилкоксона. Различия считали достоверными (статистически значимыми) при $p < 0,05$.

Согласно критериям включения и не включения для клинического исследования методом сплошной выборки отобрано 47 пациентов (12 мужчин и 35 женщин) (рис. 1, а). Сторона поражения: слева — у 21; справа — у 26 пациентов (рис. 1, б).

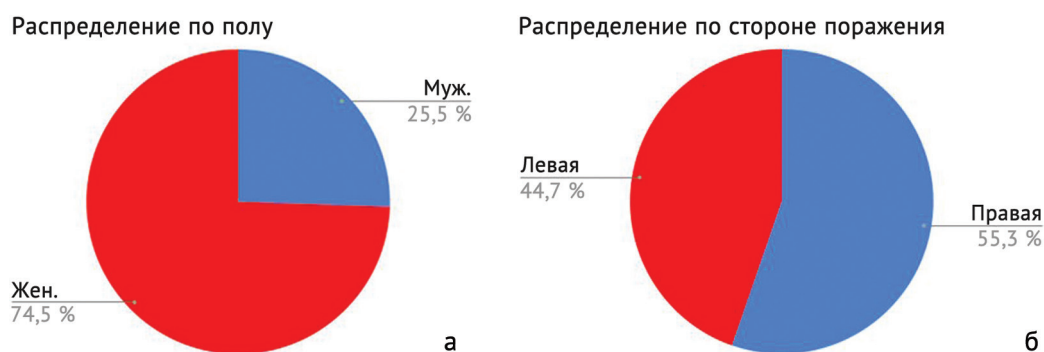


Рис. 1. Распределение пациентов: а — по полу; б — по стороне поражения

Средний возраст пациентов составил ($65,87 \pm 7,4$) года (критерий Шапиро – Уилка, $p = 0,307$), средний ИМТ — ($31,3 \pm 4,7$) кг/м^2 ($p = 0,099$). Медиана угла НКА до операции — 175° (мин. — 170° ; макс. — 178°) ($p = 0,093$). Медиана ЛДБУ до операции — 87° (мин. — 83° ; макс. — 90°) ($p = 0,002$), медиана МПТУ до операции — 87° (мин. — 83° ; макс. — 90°) ($p = 0,006$) (табл. 1).

При анализе данных по возрасту, ИМТ и механической оси распределение является нормальным; данные ЛДБУ, МПТУ оцениваются как отличные от нормального распределения (рис. 2).

Таблица 1

Распределение показателей

Показатель	Средние значения	<i>p</i>
Возраст (лет)	65,87 ± 7,4	0,307
ИМТ (кг/м ²)	31,3 ± 4,7	0,099
Угол НКА (°)	175* (мин. — 170; макс. — 178)	0,093
ЛДБУ (°)	87* (мин. — 83; макс. — 90)	0,002
МПТУ (°)	87* (мин. — 83; макс. — 90)	0,006

* — медиана

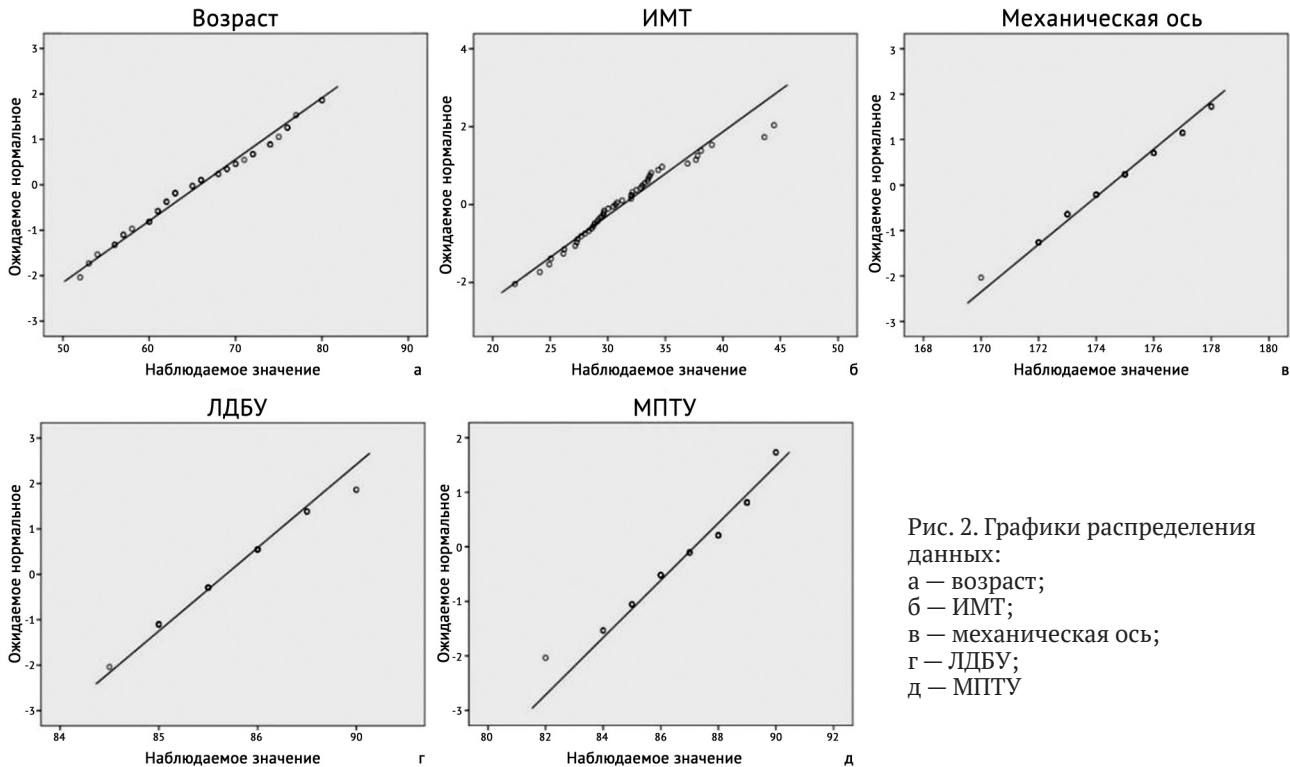


Рис. 2. Графики распределения данных:
а — возраст;
б — ИМТ;
в — механическая ось;
г — ЛДБУ;
д — МПТУ

Техника. Для реализации цели исследования использовали автономную роботическую систему T-Solution One® (THINK Surgical, Inc., США). Технология роботизированного тотального эндопротезирования коленного сустава (РоТЭКС) состояла из трех этапов: КТ-исследование нижних конечностей, предоперационное планирование в системе TPLAN и операция при помощи установки TSCAT.

КТ-исследование выполняли в положении пациента лежа на спине с калибровочным стержнем, который фиксировали к пораженной конечности, результат исследования записывали на компакт-диск [21].

Компакт-диск с данными загружали в планировочную систему TPLAN для сегментации срезов КТ-исследования с последующим созданием 3D-модели нижней конечности пациента. Во время планирования система TPLAN позволяла выбрать механический или кинематический тип выравнивания. Особенность системы TPLAN в том, что при выборе техники кинематического выравнивания во время предоперационного планирования она автоматически устанавливает компоненты эндопротеза с учетом анатомической особенности пациента, однако позволяет хирургу скорректировать положение имплантата (рис. 3).

При этом планируемый угол НКА — 177°, как до состояния гонартроза, наклон линии коленного сустава по отношению к горизонту — до 5°. Образцом служил интактный контралатеральный сустав. Ось нижней конечности, кинематические оси, такие как чрезнадмыщелковая и продольная ось большеберцовой кости, определялись автоматически во время планирования после маркировки анатомических образований (головка и надмыщелки бедренной кости, центры плато и дистальной суставной поверхности большеберцовой кости). Ось надколенника не определяли, т.к. надколенник не входит в анатомические ориентиры при компьютерном планировании. Линию сустава не измеряли, а получали в результате резекции, которая приводит к углу НКА 177°. При механическом выравнивании планировали угол НКА — 180°, угол наклона коленного сустава — 0°. План утверждал хирург, производили запись на компакт-диск (рис. 4).

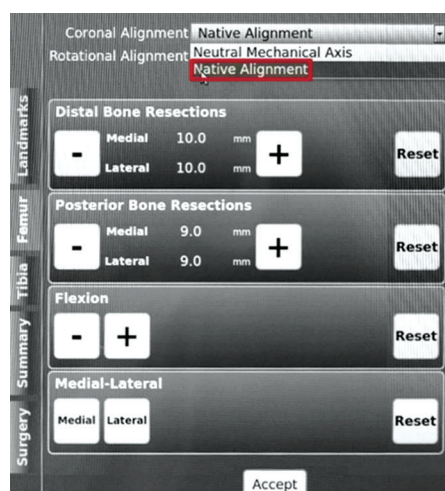


Рис. 3. Вид монитора TPLAN при планировании

Implant Alignment

Knee V-V Alignment Goal:	Native Alignment
Axial Alignment Goal:	Native Alignment
Femoral Joint Line Alignment Angle:	90°
Tibial Joint Line Alignment Angle:	87°
Hip-Knee Angle in Coronal Plane:	177°
Tibial Slope Angle:	3.5°

Resections

Distal Medial Resection:	10 mm
Distal Lateral Resection:	10 mm
Posterior Medial Resection:	9 mm
Posterior Lateral Resection:	9 mm
Medial Tibial Resection:	10 mm
Lateral Tibial Resection:	10 mm

Anterior View

Lateral View

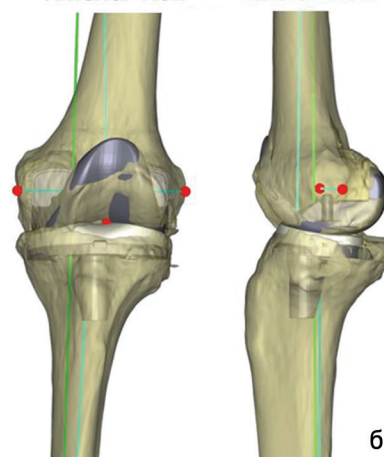
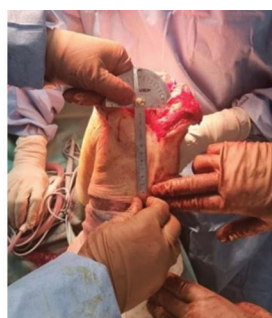


Рис. 4. Предоперационный план: а — углы расположения имплантата и уровни резекции костей; б — расположение имплантата на 3D-модели левого коленного сустава

Диск с утвержденным планом загружали в систему TCAT. Выполняли РоТЭКС с применением методики ограниченного кинематического выравнивания при помощи автономной роботической ортопедической системы T-Solution One® (THINK Surgical, Inc., США), под спинальной анестезией без использования пневматического турникета, производя медиальный парapatеллярный доступ с вывихом надколенника наружу. Этапы РоТЭКС: фиксация нижней конечности в держатель ноги под углом сгибания 90–100°, хирургический доступ, фиксация робота к конечности пациента, оцифровка коленного сустава, резекция суставных поверхностей костей, демонтаж фиксаторов робота, обработка надколенника, примерка, оценка амплитуды движений, стабильность связочного аппарата, имплантация компонентов эндопротеза и ушивание раны (рис. 5).



а



б



в



г



д

Рис. 5. Интраоперационная картина этапов РоТЭКС: а — контроль положения тибияльного компонента; б — оценка механической оси; в — оценка сгибания; г — оценка разгибания; д — вид установленного эндопротеза

Всем пациентам имплантирован эндопротез фирмы Zimmer® Persona, который на сегодняшний день имеет наибольший размерный ряд, минимальный шаг толщины вкладышей в 1 мм, тип связанности с сохранением задней крестообразной связки CR (англ.: Cruciate Retaining) с фиксированным вкладышем. Бедренные компоненты: стандартный (Standard) или узкий (Narrow), с цементным методом фиксации эндопротеза коленного сустава. Пластику надколенника не выполняли, ограничиваясь удалением остеофитов и циркулярной денервацией.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В раннем послеоперационном периоде на третьи сутки выполняли телерентгенографию нижних конечностей, после чего проводилось сравнение с дооперационной телерентгенограммой (рис. 6).

Результаты анализа предоставлены в таблице 2. На контрольных телерентгенограммах средний угол НКА после операции составил $(176 \pm 1,5)^\circ$ (парный t-критерий, $p > 0,01$). В 42,6 % случаев отклонение от плана находилось в пределах $\pm 1^\circ$, в 44,7 % случаев отклонение составило $\pm 2^\circ$, в остальных 12,7 % случаев было отклонение в отрицательную сторону: от -5° до -3° (рис. 7, 8). Среднее значение ЛДБУ и МПТУ после операции составило 88° ($p > 0,01$, критерий Уилкоксона).

Таблица 2

Анализ результатов до и после операции

Показатель	До операции (мин./макс.)	После операции (мин./макс.)	<i>p</i>
Угол НКА ($^\circ$)	175 (170/178)	176 (172/179)	$< 0,01^*$
ЛДБУ ($^\circ$)	87 (83/90)	88 (86/90)	$< 0,01^{**}$
МПТУ ($^\circ$)	87 (83/90)	88 (84/90)	$< 0,01^{**}$

Примечание: * — парный t-критерий; ** — критерий Уилкоксона

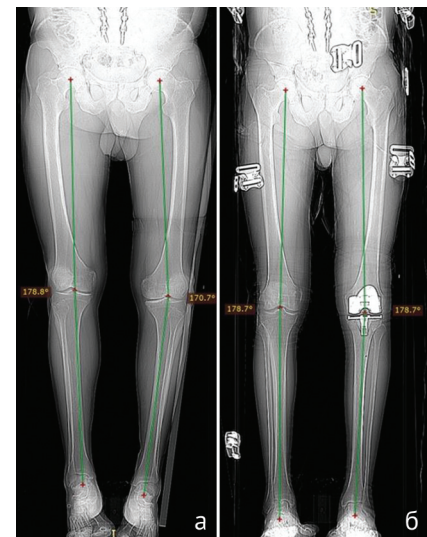


Рис. 6. Телерентгенограммы нижних конечностей: а — до операции (угол НКА — 170°); б — после операции (угол НКА — 178°)

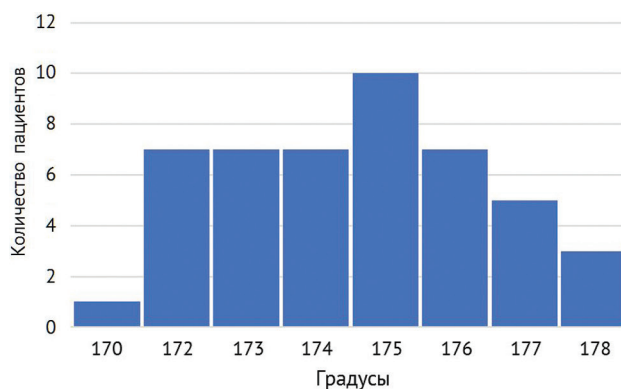


Рис. 7. Гистограмма распределения пациентов по среднему НКА до операции

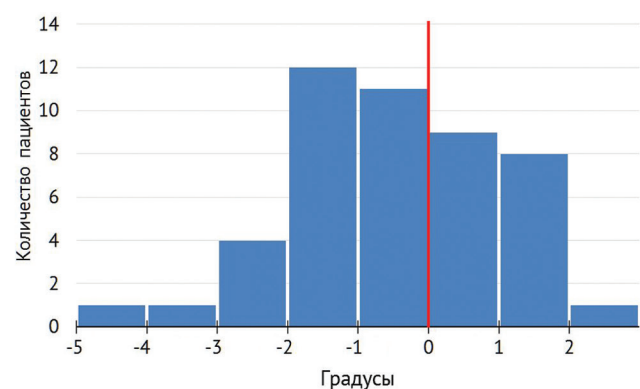


Рис. 8. Гистограмма распределения отклонений угла НКА от плана после операции (красная линия — план 177°)

ОБСУЖДЕНИЕ

Таким образом, мы получили результаты значения угла НКА после операции $(176,0 \pm 1,5)^\circ$ со статистической незначимостью парного t-критерия $< 0,01$, то есть в пределах $\pm 2^\circ$ отклонения от планового показателя в 177° были у 87,3 % пациентов, и только в 12,7 % случаев отклонение составило более 2° , что, несомненно, является отличным результатом.

V. Massé et al. описали методику персонализированного выравнивания, основной целью которой является воспроизведение натяжения связок коленного сустава до формирования артрита, при помощи полуактивного робота ROSA Knee system и имплантатов Zimmer Persona, используя вкладыш с типом связанности Medial Congruent (MC), с помощью которого авторы реализовали персонализированный метод выравнивания [24]. Но в своем исследовании авторы не приводят результатов измерения углов оси конечности после операции, ограничиваясь результатами функциональных шкал.

L. Binfeng et al. в мета-анализе провели сравнение между механическим (553 случая) и кинематическим (559 случаев) типами выравнивания, где в группе с кинематическим выравниванием функциональные результаты значительно лучше по показателям шкал WOMAC, KSS и амплитуде движений, но по радиологическим показателям (углы НКА, ЛДБУ и МПТУ) разница не зарегистрирована [25].

Исследуя параметры походки у пациентов после ТЭКС, P.-A. Vendittoli et al. показали, что пациенты, которым выполнили операцию по методике кинематического выравнивания, по характеру походки ближе к контрольной группе, чем пациенты с механическим выравниванием оси конечности [26].

В ретроспективном исследовании B. Ollivier et al., в котором 200 пациентам, разделенным на три группы (до операции с варусной, нейтральной и вальгусной деформацией), выполнили РоТЭКС при помощи полуактивной роботической установки МАКО® (Stryker) по методике кинематического выравнивания, выводом стало то, что при кинематическом выравнивании бедренный компонент располагается в чрезмерном вальгусном положении и внутренней ротации в группе вальгус и в меньшей степени в группе нейтральной оси коленного сустава по сравнению с функциональным выравниванием [27].

J.O. Aflatooni et al. пришли к мнению, что функциональное выравнивание — это компромисс между механическим и кинематическим выравниванием, которое устраняет конституционную варусную/вальгусную деформацию, обеспечивает сгибание до 90° и позволяет избежать повреждения связок, однако целью остается стабильность и длительность выживания функционирующего протеза [28].

Z.S. Morrissey et al. сравнили РоТЭКС при помощи полуактивной роботической системы VELYS™ (DePuy Synthes, Варшава, США) методом кинематического выравнивания с традиционной техникой механического выравнивания. По функциональным результатам, включая болевой синдром, через 6 нед. после операции явных отличий не было. Через 6 мес. пациенты, которым выполнено РоТЭКС, имели объем движений в оперированном коленном суставе больше, чем во второй группе [29].

M. Kafelov et al. сравнили две группы пациентов (200 случаев): пациентам одной группы выполняли РоТЭКС с функциональным позиционированием, второй — применяли мануальную технику ТЭКС с кинематическим выравниванием. В группе с РоТЭКС показатели по опроснику FJS-12 были гораздо выше, чем в группе мануальной техники [30].

K. Huber et al. в ретроспективном анализе с применением полуактивной роботической установки МАКО® (Stryker) показали, что только 44 % пациентов возможно применить методику кинематического выравнивания и получить хороший клинический результат [31].

Таким образом, в доступной литературе мы не обнаружили результатов рентгенологического исследования тазобедренно-коленно-голеностопного угла во фронтальной проекции до и после роботизированной тотальной артропластики коленного сустава и сравнения их с результатами предоперационного планирования по методике кинематического выравнивания оси конечности. Полученные нами результаты показывают высокую точность реализации предоперационного плана.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение автономной роботической установки при ТЭКС позволяет эффективно выполнить кинематическое выравнивание оси нижней конечности с точностью до $\pm 2^\circ$ у 87,3 % пациентов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bellemans J. Neutral mechanical alignment: a requirement for successful TKA: opposes. *Orthopedics*. 2011;34(9):e507-e509. doi: 10.3928/01477447-20110714-41
2. Eckhoff DG, Bach JM, Spitzer VM, et al. Three-dimensional mechanics, kinematics, and morphology of the knee viewed in virtual reality. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87 Suppl 2:71-80. doi: 10.2106/JBJS.E.00440
3. Almaawi AM, Hutt JRB, Masse V, et al. The impact of mechanical and restricted kinematic alignment on knee anatomy in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2017;32(7):2133-2140. doi: 10.1016/j.arth.2017.02.028
4. Lin YH, Chang FS, Chen KH, et al. Mismatch between femur and tibia coronal alignment in the knee joint: classification of five lower limb types according to femoral and tibial mechanical alignment. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):411. doi: 10.1186/s12891-018-2335-9
5. MacDessi SJ, Griffiths-Jones W, Harris IA, et al. Coronal Plane Alignment of the Knee (CPAK) classification. *Bone Joint J*. 2021;103-B(2):329-337. doi: 10.1302/0301-620X.103B2.BJJ-2020-1050.R1
6. Hirschmann MT, Hess S, Behrend H, et al. Phenotyping of hip-knee-ankle angle in young non-osteoarthritic knees provides better understanding of native alignment variability. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2019;27(5):1378-1384. doi: 10.1007/s00167-019-05507-1
7. Robinson RP. The early innovators of today's resurfacing condylar knees. *J Arthroplasty*. 2005;20(1 Suppl 1):2-26. doi: 10.1016/j.arth.2004.11.002
8. Insall JN, Binazzi R, Soudry M, Mestriner LA. Total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(192):13-22.
9. Matassi F, Pettinari F, Frasca F et al. Coronal alignment in total knee arthroplasty: a review. *J Orthop Traumatol*. 2023;24(1):24. doi: 10.1186/s10195-023-00702-w
10. Begum FA, Kayani B, Magan AA, et al. Current concepts in total knee arthroplasty : mechanical, kinematic, anatomical, and functional alignment. *Bone Jt Open*. 2021;2(6):397-404. doi: 10.1302/2633-1462.26.BJO-2020-0162.R1
11. Hungerford DS, Krackow KA. Total joint arthroplasty of the knee. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(192):23-33
12. Rivièrè C, Iranpour F, Auvinet E, et al. Alignment options for total knee arthroplasty: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(7):1047-1056. doi: 10.1016/j.otsr.2017.07.010

13. McClelland JA, Webster KE, Feller JA. Gait analysis of patients following total knee replacement: a systematic review. *Knee*. 2007;14(4):253-263. doi: 10.1016/j.knee.2007.04.003
14. Bellemans J, Colyn W, Vandenuecker H, Victor J. The Chitranjan Ranawat award: is neutral mechanical alignment normal for all patients? The concept of constitutional varus. *Clin Orthop Relat Res*. 2012;470(1):45-53. doi: 10.1007/s11999-011-1936-5
15. Howell SM, Papadopoulos S, Kuznik KT, Hull ML. Accurate alignment and high function after kinematically aligned TKA performed with generic instruments. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2013;21(10):2271-2280. doi: 10.1007/s00167-013-2621-x
16. Calliess T, Bauer K, Stukenborg-Colsman C, et al. PSI kinematic versus non-PSI mechanical alignment in total knee arthroplasty: a prospective, randomized study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2017;25(6):1743-1748. doi: 10.1007/s00167-016-4136-8
17. Blakeney WG, Vendittoli PA. Kinematic Alignment Total Knee Replacement with Personalized Instruments. 2020. In: Rivière C, Vendittoli PA, eds. *Personalized Hip and Knee Joint Replacement* [Internet]. Cham (CH): Springer; 2020. Chapter 25
18. Morcos MW, Uhuebor D, Vendittoli PA. Overview of the different personalized total knee arthroplasty with robotic assistance, how choosing? *Front Surg*. 2023;10:1120908. doi: 10.3389/fsurg.2023.1120908
19. Wan X, Su Q, Wang D, et al. Robotic arm-assisted total knee arthroplasty improves preoperative planning and intraoperative decision-making. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):670. doi: 10.1186/s13018-021-02815-6
20. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Рукин Я.А., Елизаров М.П. История развития робототехники в хирургии и ортопедии (Обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2020;(1):13-19. doi: 10.17238/issn2226-2016.2020.1.13-19
21. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Рукин Я.А. и др. Клиническая эффективность и точность выравнивания механической оси при роботизированном тотальном эндопротезировании коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2023;29(5):487-494. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-487-494. EDN: QKZVVF.
22. Balaguer-Castro M, Torner P, Jornet-Gibert M, Martínez-Pastor JC. Current situation of robotics in knee prosthetic surgery, a technology that has come to stay? *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2023;67(4):334-341. doi: 10.1016/j.recot.2022.10.011
23. Лычагин А.В., Грицюк А.А., Елизаров М.П. с соавт. Рандомизированное двойное контролируемое сравнительное исследование точности выравнивания механической оси нижней конечности. *Медицинский вестник ГВКГ им. Н.Н. Бурденко*. 2023;4(3):40-47. doi: 10.53652/2782-1730-2023-4-3-40-47
24. Massé V, Cholewa J, Shahin M. Personalized alignment™ for total knee arthroplasty using the ROSA® Knee and Persona® knee systems: Surgical technique. *Front Surg*. 2023;9:1098504. doi: 10.3389/fsurg.2022.1098504
25. Liu B, Feng C, Tu C. Kinematic alignment versus mechanical alignment in primary total knee arthroplasty: an updated meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res*. 2022;17(1):201. doi: 10.1186/s13018-022-03097-2
26. Vendittoli P-A, Martinov S, Blakeney WG. Restricted kinematic alignment, the fundamentals, and clinical applications. *Front Surg*. 2021;8:697020. doi: 10.3389/fsurg.2021.697020
27. Ollivier B, Vandenuecker H, Vermue H, Luyckx T. A robotic-assisted simulation of kinematic alignment in TKA leads to excessive valgus and internal rotation in valgus knees. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(11):4747-4754. doi: 10.1007/s00167-023-07504-x
28. Aflatooni JO, Wininger AE, Park KJ, Incavo SJ. Alignment options and robotics in total knee arthroplasty. *Front Surg*. 2023;10:1106608. doi: 10.3389/fsurg.2023.1106608
29. Morrissey ZS, Barra MF, Guirguis PG, Drinkwater CJ. Transition to robotic total knee arthroplasty with kinematic alignment is associated with a short learning curve and similar acute-period functional recoveries. *Cureus*. 2023;15(5):e38872. doi: 10.7759/cureus.38872
30. Kafelov M, Batailler C, Shatrov J, et al. Functional positioning principles for image-based robotic-assisted TKA achieved a higher Forgotten Joint Score at 1 year compared to conventional TKA with restricted kinematic alignment. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2023;31(12):5591-5602. doi: 10.1007/s00167-023-07609-3
31. Huber K, Christen B, Calliess S, Calliess T. True kinematic alignment is applicable in 44% of patients applying restrictive indication criteria-A retrospective analysis of 111 TKA using robotic assistance. *J Pers Med*. 2021;11(7):662. doi: 10.3390/jpm11070662

Статья поступила 15.06.2024; одобрена после рецензирования 20.09.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 15.06.2024; approved after reviewing 20.09.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

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

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

Евгений Борисович Калинин — доктор медицинских наук, профессор кафедры, Kalinsky.eugene@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8103-5613>;

Ярослав Алексеевич Рукин — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, доцент кафедры, yar.rukin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7355-8556>;

Михаил Павлович Елизаров — кандидат медицинских наук, ассистент кафедры, elizarovm07@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4811-5718>;

Андрей Андреевич Грицюк — аспирант, andrewgritsru@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3135-7526>;
Максим Ярославович Гавловский — аспирант, gavlovsky.m@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8854-6843>;
Константин Хадисович Томбоиди — клинический ординатор, tomboidi98@mail.ru,
<https://orcid.org/0009-0001-2342-504X>;
Милана Лазеровна Бабаева — клинический ординатор, milana_999013@icloud.com,
<https://orcid.org/0009-0005-3402-3299>.

Information about the authors:

Alexey V. Lychagin — Doctor of Medical Sciences, Professor, Director of the Clinic, Head of the Department, dr.lychagin@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-2202-8149>;
Andrey A. Gritsyuk — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, drgaamma@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0003-4202-4468>;
Eugene B. Kalinsky — Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department, Kalinsky.eugene@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0002-8103-5613>;
Yaroslav A. Rukin — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Assistant Professor, yar.rukin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-7355-8556>;
Mikhail P. Elizarov — Assistant of the Department, elizarovm07@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4811-5718>;
Andrey A. Gritsyuk — post-graduate student, andrewgritsru@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-3135-7526>;
Maxim Ya. Gavlovsky — post-graduate student, gavlovsky.m@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0002-8854-6843>;
Konstantin Kh. Tomboidi — clinical resident, tomboidi98@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0001-2342-504X>;
Milana L. Babaeva — clinical resident, milana_999013@icloud.com, <https://orcid.org/0009-0005-3402-3299>.

Научная статья

УДК 617.586-007.58:616.718.72-073.756.8-035-089.85

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-855-862>

Оптимальный метод латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости: томографическое исследование среди населения России

С.М. Гуди^{1✉}, Д.А. Семенова², К.О. Васильев¹, Л.К. Скуратова¹, М.Д. Лучшев¹, И.А. Пахомов¹

¹ Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

² Новосибирский национальный исследовательский государственный университет, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Сергей Михайлович Гуди, smgudinsk@gmail.com

Аннотация

Введение. По данным профессиональной литературы, удлинение латеральной колонны считается одним из эффективных и патогенетически обоснованных суставосберегающих методов коррекции плосковальгусной деформации стопы. Широко применяются в клинической практике остеотомии Evans и Hintermann. Однако данные операции сопряжены с риском повреждения суставных фасеток подтаранного сустава, что обусловлено разнообразием их количества, форм и расположения у представителей разных национальностей.

Цель работы — обзор анатомических вариантов строения суставных фасеток подтаранного сустава среди населения России для определения оптимального метода латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости с учётом индивидуальных особенностей.

Материалы и методы. На базе НИИТО им Я.Л. Цивьяна проведён анализ результатов мультиспиральной компьютерной томографии стоп 250 пациентов. После применения критериев исключения конечная выборка составила 150 пациентов, которым выполнили 3D-моделирование с визуализацией суставных фасеток подтаранного сустава на рабочей станции syngo.via–SiemensViewer. Систематизацию пациентов проводили по классификации P. Bunning и C. Barnett. На 3D-моделях пяточных костей измеряли расстояние между передней и средней, а также между средней и задней суставными фасетками.

Результаты. Передняя и средняя суставные фасетки подтаранного сустава были разделены (тип А) у 40,7 % (61 стопа), оставшиеся 59,3 % (89 стоп) имели сросшиеся переднюю и среднюю фасетки (тип В). Полностью сросшиеся передняя, средняя и задняя фасетки (тип С) не обнаружены. Среднее расстояние между передней и средней суставными фасетками составило $(4,2 \pm 0,08)$ мм, а среднее расстояние между средней и задней — $(5,3 \pm 0,0027)$ мм.

Обсуждение. Суставные фасетки типа В преобладали среди населения России. При проведении остеотомии Evans они повреждаются в 100 % случаев. Остеотомия Hintermann позволяет уменьшить вероятность их повреждения. Однако расстояние между фасетками очень мало, визуализация при проведении остеотомии затруднена, что может приводить к повреждению подтаранного сустава. Таким образом, создание нового метода определения и контроля уровня остеотомии пяточной кости, исключающего повреждение сустава, является актуальной задачей дальнейших исследований.

Заключение. Способ остеотомии пяточной кости Hintermann может быть успешно применен среди населения России с наименьшими осложнениями, в частности меньшим количеством повреждений суставных фасеток подтаранного сустава.

Ключевые слова: латеральная удлиняющая остеотомия, суставные фасетки подтаранного сустава, плосковальгусная деформация стопы

Для цитирования: Гуди С.М., Семенова Д.А., Васильев К.О., Скуратова Л.К., Лучшев М.Д., Пахомов И.А. Оптимальный метод латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости: томографическое исследование среди населения России. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):855-862. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-855-862. EDN: TPZRNA.



The optimal method of lateral lengthening osteotomy of the calcaneus: CT study in the Russian population

S.M. Gudi¹✉, D.A. Semenova², K.O. Vasiliev¹, L.K. Skuratova¹, M.D. Luchshev¹, I.A. Pakhomov¹

¹ Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russian Federation

² Novosibirsk National Research State University, Novosibirsk, Russian Federation

Corresponding author: Sergey M. Gudi, smgudinsk@gmail.com

Abstract

Introduction In the current professional literature, lengthening of the lateral column is considered to be one of the most effective and pathogenetically sound joint salvage methods for correction of plano-valgus deformity of the foot. The most widely used osteotomies in clinical practice are those of Evans and Hintermann. However, the articular facets of the subtalar joint are at risk of damage due to the variety of their number, shapes and location in different nationalities.

The **purpose** of the work was to reveal the anatomical variants of the structure of the articular facets of the subtalar joint in the Russian population in order to determine the optimal method of lateral lengthening osteotomy of the calcaneus, based on personal characteristics.

Material and methods The results of multispiral computed tomography (MSCT) of the feet of 250 patients were analyzed on the basis of the Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics. After applying the exclusion criteria, the final sample consisted of 150 patients. 3D modeling of their calcaneal bones with visualization of articular facets of the subtalar joint was performed on a workstation using the syngo.via–Siemens Viewer program. Patients were systematized according to the classification of P. Bunning and C. Barnett (1965). On 3D models of calcaneal bones, the distance between the anterior and middle, as well as between the middle and posterior articular facets was measured.

Results The anterior and middle articular facets of the subtalar joint were separated (type A) in 40.7 % (61 feet), the remaining 59.3 % (89 feet) had fused anterior and middle facets (type B). Fully fused anterior, middle and posterior facets (type C) were not found. The average distance between the anterior and middle articular facets was 4.2 ± 0.08 mm, and the average distance between the middle and posterior facets was 5.3 ± 0.0027 mm.

Discussion Articular facets of type B prevailed in the Russian population. Evans osteotomy will damage them 100 % of the cases. Hintermann osteotomy decreases the chance of their damage. However, the distance between the facets is very small, visualization during osteotomy is difficult, what can lead to damage to the subtalar joint. Thus, the development of a new method for determining and controlling the level of calcaneal osteotomy that would exclude joint damage is an urgent problem for further research.

Conclusion Hintermann's lateral lengthening osteotomy of the calcaneus may be successfully applied in the Russian population with the least complications in the postoperative period and less damage to the articular facets of the subtalar joint.

Keywords: lateral lengthening osteotomy, articular facets of the subtalar joint, plano-valgus deformity of the foot

For citation: Gudi SM, Semenova DA, Vasiliev KO, Skuratova LK, Luchshev MD, Pakhomov IA. The optimal method of lateral lengthening osteotomy of the calcaneus: CT study in the Russian population. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):855-862. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-855-862

ВВЕДЕНИЕ

Приобретённое плоскостопие характеризуется снижением высоты свода стопы, вальгусной деформацией ее заднего отдела и отведением переднего [1]. Распространённость заболевания составляет 26,6–60,0 %, оно является одной из самых частых причин обращения к травматологу-ортопеду [2, 3]. Среди существующих хирургических методов лечения отведенной плосковальгусной деформации стопы латеральная удлиняющая остеотомия пяточной кости является одной из самых эффективных суставосберегающих операций [4–6]. Впервые способ проведения удлиняющей остеотомии пяточной кости между передней и средней суставными фасетками подтаранного сустава был предложен D. Evans в 1975 г. [7]. Изначально Evans проводил такой вариант остеотомии пяточной кости детям с вальгусной деформацией стопы, возникшей в результате гиперкоррекции косолапости, но, наблюдая высокую эффективность операции, стал использовать её и для коррекции плоскостопия у подростков. Классически остеотомию Evans выполняют на расстоянии 1,5 см проксимальнее пяточно-кубовидного сустава и параллельно ему [7]. Операция имела хорошие клинические результаты, со временем приобрела широкую популярность среди хирургов, ее стали применять не только у детей, но и у взрослых с отведением переднего отдела стопы, вальгусной деформацией пяточной кости и дорсолатеральным перитаранным подвывихом [8]. Однако, несмотря на хорошие клинические и рентгенологические результаты, среди осложнений в послеоперационном периоде наблюдали недостаточную коррекцию, несращение, артроз подтаранного сустава, подвывих пяточно-кубовидного сустава, повреждения сурального нерва, сухожилий малоберцовых мышц и инфекцию области хирургического вмешательства [8–11]. В своём труде Evans не учитывал вариабельность строения подтаранного сустава и по данным, полученным после 13 лет наблюдения за прооперированными им пациентами, только 17 из 23 имели хорошие и очень хорошие результаты [10]. Оставшиеся 6 пациентов в отдалённом послеоперационном периоде имели осложнения. У троих сохранялся болевой синдром при нагрузках, однако он не мешал заниматься спортом и вести обычный образ жизни, отмечался остеоартроз таранно-ладьевидного сустава. У трех других пациентов наблюдался клинический и рентгенологический регресс результатов лечения, сохранялся вальгус заднего отдела стопы, возникал остеоартроз подтаранного сустава и других суставов, за исключением пяточно-кубовидного. С целью уменьшения послеоперационных осложнений и риска повреждения подтаранного сустава в 1995 г. V. Mosca [12] модифицировал остеотомию Evans. В его варианте сначала в подтаранный сустав вводили костный распатор между передней и средней суставными фасетками для определения их местоположения, затем в определенном интервале проводили остеотомию на уровне 1,5–2 см кзади от пяточно-кубовидного сустава. Однако данный метод имел недостатки, связанные с необходимостью вскрытия капсулы подтаранного сустава, а также трудностями определения допустимого для остеотомии интервала в процессе операции из-за ограниченного хирургического обзора, что делает создание нового эффективного метода определения и контроля уровня и направления остеотомии значимым вопросом в улучшении результатов латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости.

Первое исследование структур, подверженных риску во время операции Evans, провели R. Raines и M. Brage в 1998 г. [9]. Они сделали вывод, что идеальный уровень остеотомии для предотвращения повреждения передней и средней суставных фасеток подтаранного сустава — на расстоянии 10 мм проксимальнее пяточно-кубовидного сустава. При этом C. Huer et al. [13] определили, что у пяточной кости с разделёнными передней и средней суставными фасетками среднее расстояние между ними составляет 3,9 мм, и рекомендовали оптимальный уровень остеотомии на расстоянии 1,1–1,5 см (в среднем 1,3 см) кзади пяточно-кубовидного сустава. В то же время B.W. Bussewitz et al. [14] сообщают, что при точке входа пилы на уровне 1,3 см кзади от пяточно-кубовидного сустава риску подвергаются суставные фасетки подтаранного сустава и опора таранной кости. Отсутствие единого мнения у исследователей об уровне и направлении проведения остеотомии может быть связано со значительной индивидуальной анатомической вариабельностью. С целью защиты передней и средней суставных фасеток подтаранного сустава в 1999 г. B. Hintermann et al. [15] предложили новый вариант латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости, линия которой проходит вдоль передней границы задней суставной фасетки подтаранного сустава. Описанные хирургические способы лечения по Evans и Hintermann показывают отличные клинические и рентгенологические результаты [16].

Впервые морфологию суставных фасеток подтаранного сустава у представителей европейской, африканской и индийской популяций изучили P. Bunning и C. Barnett [17] в 1965 г. и предложили первую классификацию. В последующие годы проведены исследования среди населения многих стран, опубликованы самые разные варианты классификации. Например, в 2008 г. C. Madhavi et al. [18] расширили классификацию P. Bunning и C. Barnett, предложив шесть типов суставных фасеток подтаранного сустава. Они выделили различные варианты сращения передней и средней суставных фасеток, включая тип, где передняя фасетка полностью отсутствует. Однако такой детальный подход к описанию значительной вариабельности не упрощает хирургам выбор способа оперативного лечения, в резуль-

тате которого суставные фасетки подтаранного сустава не были бы повреждены. При этом из-за существенных различий анатомического строения области подтаранного сустава у представителей разных национальностей и вариативного подхода исследователей к систематизации данных единая классификация всё ещё не принята [13, 17, 19–26]. Однако ни в одном из представленных на сегодняшний день исследований, изучающих анатомические особенности подтаранного сустава и их взаимосвязь с риском повреждения суставных фасеток при проведении латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости, не оценивали население России. Следовательно, оптимальный способ оперативного лечения отведённой плосковальгусной деформации стопы для населения Российской Федерации всё ещё остаётся неопределённым.

Цель работы — обзор анатомических вариантов строения суставных фасеток подтаранного сустава среди населения России для определения оптимального метода латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости с учётом индивидуальных особенностей.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведён анализ МСКТ 250 пациентов (92 (36,8 %) мужчины и 158 (63,2 %) женщин), выполненных в период с октября 2023 г. по март 2024 г. на базе НИИТО им. Я.Л. Цивьяна. Средний возраст пациентов — (45 ± 19) лет. Из выборки исключены больные со свежими и застарелыми переломами пяточной кости, тяжёлыми дегенеративными поражениями подтаранного сустава, перенесшие в анамнезе оперативные вмешательства в области подтаранного сустава и имеющие металлоконструкции в пяточной области, так как в данных случаях не представлялось возможным после 3D-реконструкции изображения и его ручной обработки визуализировать суставные фасетки подтаранного сустава с достоверной точностью. Конечная выборка составила 150 человек (66 мужчин (44 %), 84 (56 %) женщины), средний возраст — (46 ± 16) лет.

У каждого из отобранных пациентов на основе МСКТ стоп на рабочей станции томографа оценивали индивидуальные особенности суставных фасеток подтаранного сустава на 3D-моделях пяточных костей. 3D-модели пяточных костей перед оценкой проходили определенный алгоритм обработки. Обработку начинали с загрузки на рабочей станции томографа стандартного МСКТ-исследования стопы в Dicom-формате (рис. 1, а). Далее проводили 3D-реконструкцию стопы в костном режиме при помощи программы syngo.via — SiemensViewer (рис. 1, б). Используя инструмент Punch (вырезание), удаляли все кости, за исключением пяточной. Также удаляли артефакты от мягких тканей (рис. 1, в). Затем включали высокоразрешающий режим «Cinematic VRT» и вырезали оставшиеся артефакты (рис. 1, г). 3D-модель пяточной кости выравнивали. В результате всех проведенных манипуляций получали полностью подготовленную 3D-модель (рис. 1, д). Затем использовали инструмент Distanceline (расстояние) для вычисления интервала между фасетками в мм.



Рис. 1. Фото: а — загрузки стандартного Dicom-изображения на рабочую станцию; б — 3D-реконструкции стопы из мультипланарных изображений на рабочей станции; в — использования инструмента Punch на рабочей станции; г — 3D-модели пяточной кости в высокоразрешающем режиме CinematicVRT на рабочей станции. Видны артефакты от мягких тканей; д — полностью подготовленного 3D-изображения без артефакта

Измерение выполняли путем установки двух точек в самой узкой части между суставными фасетками подтаранного сустава и автоматического расчета длины полученного отрезка между ними. У пяточных костей с суставными фасетками типа А измеряли расстояние от заднего края передней суставной фасетки до переднего края средней в самой узкой части между ними (рис. 2). При типах А и В дополнительно измеряли ширину от заднего края средней суставной фасетки до переднего края задней в самой узкой части между ними (рис. 3).



Рис. 2. Схема методики измерения расстояния между передней и средней суставными фасетками при типе А строения подтаранного сустава с помощью инструмента Distanceline



Рис. 3. Схема методики измерения расстояния между средней и задней суставными фасетками при типе В строения подтаранного сустава

Систематизацию пациентов проводили по классификации P. Bunning и C. Barnett [17]:

- тип А: на поверхности пяточной кости имеются три суставные фасетки, при этом передняя и средняя отделены друг от друга;
- тип В: на поверхности пяточной кости имеются две суставные фасетки, при этом передняя и средняя соединены между собой;
- тип С: на поверхности пяточной кости имеется одна суставная фасетка, поскольку все три сращены между собой.

Полученные данные сводили в единую таблицу. Для всех полученных измерений вычисляли соотношение между мужчинами и женщинами в каждой группе, их процентную долю среди всей выборки, средний возраст и стандартное отклонение для каждой из приведенных величин, а также стандартное отклонение для измеренных в мм интервалов между фасетками. Все вычисления проводили с использованием программы spss21.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Согласно классификации P. Bunning и C. Barnett, к типу А отнесён 61 (40,7 %) пациент (34 (55,7 %) женщины и 27 (44,3 %) мужчин; средний возраст $(42,9 \pm 14)$ лет) (рис. 4). К типу В отнесено 89 (59,3 %) пациентов (50 (56,2 %) женщин, 39 (43,8 %) мужчин; средний возраст $(48,1 \pm 21,3)$ года) (рис. 5). Пациентов с типом С в исследовании не было.



Рис. 4. Фото 3D-модели пяточной кости пациента А.: определяются разделённые суставные фасетки, тип А по классификации P. Bunning и C. Burnett

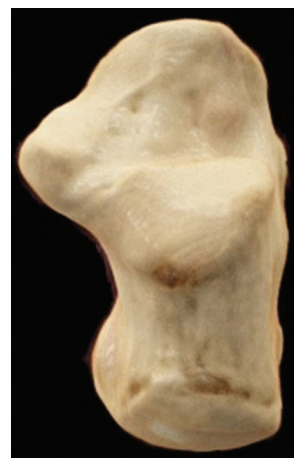


Рис. 5. Фото 3D-модели пяточной кости пациента В.: определяются сращённые суставные фасетки, тип В по классификации P. Bunning и C. Burnett

Согласно измерениям, у представителей с типом А среднее расстояние в самой узкой части между передней и средней суставными фасетками подтаранного сустава составляет $(4,20 \pm 0,08)$ мм. Среднее расстояние между средней и задней у типов А и В составляет $(5,3 \pm 0,0027)$ мм.

ОБСУЖДЕНИЕ

Типы суставных фасеток подтаранного сустава исследовали у представителей разных национальностей, включая Америку [13], Африку [17], Японию [20], Корею [21], Индию [17, 22], Египет [23], Испанию [24], Турцию [25] и Китай [26], Россию [27]. Несмотря на различия в применяемых классификациях, среди большинства исследований доля разделённых передней и средней суставных фасеток подтаранного сустава варьировала от 30 до 40 % в разных странах, при этом наиболее распространены слитые суставные фасетки. Только среди населения Бельгии [19] и Великобритании [17] выявлен преимущественно тип А (61 % и 67 % соответственно). Вариабельность строения подтаранного сустава у представителей российской популяции была изучена в 2014 г. М. Байрошевской с соавт. [27]. Они провели аутопсийное исследование 57 стоп в возрастном диапазоне 20–70 лет, представили собственную классификацию, на основании которой слитые передняя и средняя суставные фасетки подтаранного сустава встречались в 26 (45,61 %) случаях, все разделённые суставные фасетки составили 26 (45,61 %) случаев, в 4 (7,02 %) случаях передняя фасетка отсутствовала, полностью слитые все три суставные фасетки были обнаружены в 1 (1,76 %) случае. По их данным, объединённые передняя и средняя, а также разобщённые передняя и средняя суставные фасетки имели одинаковую встречаемость. В нашем же исследовании обнаружено, что суставные фасетки подтаранного сустава типа В по классификации Р. Bunning и С. Burnett являются преобладающими в российской популяции (59,3 %). Соответственно, при проведении таким пациентам остеотомии по Evans объединённая суставная фасетка будет повреждена в 100 % случаев. Однако, по нашим результатам, в группе с типом А среднее расстояние между передней и средней суставными фасетками составляет всего $(4,20 \pm 0,08)$ мм. При этом толщина полотна осциллярной пилы, которой проводят остеотомию, колеблется от 0,5 до 1,47 мм, а интраоперационная визуализация суставных фасеток подтаранного сустава крайне затруднена, на сегодняшний день нет метода точного определения и контроля уровня и направления остеотомии, соответственно, проведение операции в безопасном интервале без повреждения подтаранного сустава — трудновыполнимая задача. В связи с перечисленными выше сложностями, возникающими во время операции, популяризация использования МСКТ с 3D-моделированием на этапе подготовки к оперативному вмешательству позволит визуализировать суставные фасетки подтаранного сустава, определить их тип и способ проведения операции, а также вычислить уровень и угол направления остеотомии с учётом индивидуальных особенностей анатомического строения, в результате чего снизится риск повреждения подтаранного сустава [28]. Таким образом, требуется создание нового метода интраоперационного эффективного и безопасного определения и контроля уровня и направления остеотомии с использованием данных, вычисленных с помощью компьютерного моделирования, для каждого отдельного пациента в ходе предоперационного планирования с учётом типа суставных фасеток подтаранного сустава. Такой подход к предоперационной подготовке позволит избежать повреждения подтаранного сустава и, соответственно, улучшит результаты оперативного лечения.

Способы латеральной удлиняющей остеотомии пяточной кости Evans и Hintermann сравнивали друг с другом разные авторы. Анатомические структуры, подверженные риску во время операций, анализировали S. Ettinger et al. [29]. Исследователи сообщают, что способ Hintermann является лучшим вариантом с точки зрения потенциального повреждения суставных фасеток подтаранного сустава и приводит к редким осложнениям в виде дегенеративных изменений пяточно-кубовидного сустава [30]. При этом С. Xu et al. [16] сообщают, что при использовании трансплантатов одинаковой длины и толщины корригирующая способность операции Hintermann выше, однако характеристики контактного напряжения в окружающих суставах более аномальные. При этом давление в пяточно-кубовидном суставе при проведении остеотомии Evans не повышалось, по сравнению с давлением в этом же суставе деформированной стопы [31]. Также S. Ettinger et al. [29] сообщают о том, что при проведении операции Hintermann передняя и средняя суставные фасетки подтаранного сустава остаются не повреждёнными в 100,0 % и 85,7 % случаев соответственно. В то время как для способа Evans они остаются нетронутыми только в 42,9 % случаев для передней и в 71,4 % случаев для средней фасетки. Задняя суставная фасетка подтаранного сустава оказывается интактна во всех случаях [29]. Несколько исследований были сосредоточены на исходах после операций Evans и Hintermann, которые показали хорошие клинические и рентгенологические результаты [16]. В целом при меньшем риске для подтаранного и пяточно-кубовидного суставов, но схожих клинических результатах, способ Hintermann представляется лучшей альтернативой операции Evans среди населения Российской Федерации.

Стоит признать, что наше исследование имело ряд ограничений. Во-первых, в выборку были включены не только пациенты с отведённой плосковальгусной деформацией стопы, но и с другими диагнозами (кроме переломов пяточной кости, любых предшествующих оперативных вмешательств в области подтаранного сустава и тяжелых дегенеративных изменений подтаранного сустава). Во-вторых, размер нашей выборки (150 стоп) не может полностью отразить общую ситуацию среди многочисленного

населения России. В-третьих, исследование проводили с помощью методов 3D-КТ-реконструкции, при которых суставной хрящ не визуализируется, измерения проводили между костными структурами, которые имеют разную форму и высоту, что в спорных случаях могло привести к неточностям.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анатомия подтаранного сустава имеет значительные индивидуальные различия в российской популяции. Сросшиеся передняя и средняя суставные фасетки подтаранного сустава обнаружены более чем у половины обследованных. Таким образом, проведение остеотомии Evans у данной группы пациентов во всех случаях приведёт к повреждению подтаранного сустава. При разделённых передней и средней суставных фасетках среднее расстояние между ними составило всего 4,2 мм. С учётом того, что во время операции фасетки недоступны для визуализации, а толщина полотна пилы в среднем 1 мм, вслепую попасть в доступный интервал является практически невыполнимой задачей. Исходя из этого, операция Hintermann может быть более предпочтительной среди российской популяции, при этом безопасное окно проведения остеотомии составляет всего 5,3 мм.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источники финансирования. Отсутствие внешнего финансирования при проведении исследования.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ «ННИИТО им. Я. Л. Цивьяна» Минздрава России (протокол № 01-18/4853 от 11.07.2024) и проводится в соответствии с этическими стандартами, разработанными согласно Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации.

Информированное согласие. Пациенты дали добровольное письменное информированное согласие на включение в исследование.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Trnka HJ, Easley ME, Myerson MS. The role of calcaneal osteotomies for correction of adult flatfoot. *Clin Orthop Relat Res.* 1999;(365):50-64. doi: 10.1097/00003086-199908000-00007
2. Samarakoon JN, de Silva NL, Fernando D. Prevalence and Associated Factors of Flat Feet among Patients with Hypertension; Findings from a Cross Sectional Study Carried Out at a Tertiary Care Hospital in Sri Lanka. *Arch Physiother Rehabil.* 2020;3(4):76-83. doi: 10.26502/fapr0016
3. Давыдова Н.И. Плоскостопие и меры борьбы с ним. *Стопа и вопросы построения рациональной обуви.* М.: ЦИТО; 1960:157.
4. Tao X, Chen W, Tang K. Surgical procedures for treatment of adult acquired flatfoot deformity: a network meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):62. doi: 10.1186/s13018-019-1094-0
5. Процко В.Г. Хирургическое лечение плосковальгусной деформации стоп у взрослых: дис. ... д-ра мед. наук. М.; 2018:204. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/khirurgicheskoe-lechenie-ploskovalgusnoi-deformatsii-stop-u-vzroslykh>. Ссылка активна на 04.10.2024.
6. Кенис В.М., Лапкин Ю.А., Хусаинов Р.Х., Сапоговский А.В. Мобильное плоскостопие у детей (обзор литературы). *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2014;2(2):44-54. doi: 10.17816/PTORS2244-54
7. Evans D. Calcaneo-valgus deformity. *J Bone Joint Surg Br.* 1975;57(3):270-278.
8. Mahan KT, McGlamry ED. Evans calcaneal osteotomy for flexible pes valgus deformity. A preliminary study. *Clin Podiatr Med Surg.* 1987;4(1):137-151.
9. Raines RA Jr, Brage ME. Evans osteotomy in the adult foot: an anatomic study of structures at risk. *Foot Ankle Int.* 1998;19(11):743-747. doi: 10.1177/107110079801901106
10. Phillips GE. A review of elongation of os calcis for flat feet. *J Bone Joint Surg Br.* 1983;65(1):15-18. doi: 10.1302/0301-620X.65B1.6337167
11. Jara ME. Evans Osteotomy Complications. *Foot Ankle Clin.* 2017;22(3):573-585. doi: 10.1016/j.fcl.2017.04.006
12. Mosca VS. Calcaneal lengthening for valgus deformity of the hindfoot. Results in children who had severe, symptomatic flatfoot and skewfoot. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(4):500-512. doi: 10.2106/00004623-199504000-00002
13. Hyer CF, Lee T, Block AJ, VanCourt R. Evaluation of the anterior and middle talocalcaneal articular facets and the Evans osteotomy. *J Foot Ankle Surg.* 2002;41(6):389-393. doi: 10.1016/s1067-2516(02)80085-0
14. Bussewitz BW, DeVries JG, Hyer CF. Evans osteotomy and risk to subtalar joint articular facets and sustentaculum tali: a cadaver study. *J Foot Ankle Surg.* 2013;52(5):594-597. doi: 10.1053/j.jfas.2013.03.006
15. Hintermann B, Valderrabano V, Kundert HP. Lengthening of the lateral column and reconstruction of the medial soft tissue for treatment of acquired flatfoot deformity associated with insufficiency of the posterior tibial tendon. *J Foot Ankle Surg.* 1999;20(10):622-629. doi: 10.1177/107110079902001002
16. Xu C, Liu H, Li M, et al. Biomechanical effects of Evans versus Hintermann osteotomy for treating adult acquired flatfoot deformity: a patient-specific finite element investigation. *J Orthop Surg Res.* 2024 Feb 1;19(1):107. doi: 10.1186/s13018-024-04584-4
17. Bunning PS, Barnett CH. A comparison of adult and foetal talocalcaneal articulations. *J Anat.* 1965;99(Pt 1):71-76.
18. Madhavi C, Madhuri V, George VM, Antonisamy B. South Indian calcaneal talar facet configurations and osteoarthritic changes. *Clin Anat.* 2008;21(6):581-586. doi: 10.1002/ca.20653
19. Barbaix E, Van Roy P, Clarys JP. Variations of anatomical elements contributing to subtalar joint stability: intrinsic risk factors for post-traumatic lateral instability of the ankle? *Ergonomics.* 2000;43(10):1718-1725. doi: 10.1080/001401300750004122
20. Nakashima T, Hojo T. Variations in the talar articular facets of Japanese calcanei. *Fukuoka Igaku Zasshi.* 1986;77(10):544-548.

21. Jung MH, Choi BY, Lee JY, et al. Types of subtalar joint facets. *Surg Radiol Anat.* 2015;37(6):629-638. doi: 10.1007/s00276-015-1472-1
22. Gupta SC, Gupta CD, Arora AK. Pattern of talar articular facets in Indian calcanei. *J Anat.* 1977;124(Pt 3):651-655.
23. el-Eishi H. Variations in the talar articular facets in Egyptian calcanei. *Acta Anat (Basel).* 1974;89(1):134-138. doi: 10.1159/000144277
24. Forriol Campos F, Gomez Pellico L. Talar articular facets (facies articulares talaris) in human calcanei. *Acta Anat (Basel).* 1989;134(2):124-127. doi: 10.1159/000146675
25. Uygur M, Atamaz F, Celik S, Pinar Y. The types of talar articular facets and morphometric measurements of the human calcaneus bone on Turkish race. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(7):909-914. doi: 10.1007/s00402-008-0729-0
26. Wu J, Liu H, Xu C. The optimal procedure for lateral column lengthening calcaneal osteotomy according to anatomical patterns of the subtalar joint: an anatomical study in the Chinese population. *BMC Musculoskelet Disord.* 2022;23(1):751. doi: 10.1186/s12891-022-05715-w
27. Байрошевская М.В., Сафиуллина А.Ф., Хайруллин Р.М. Частота типов пяточной кости по модифицированной классификации форм таранных суставных поверхностей. *Морфологические ведомости.* 2014;22(1):26-32. doi: 10.20340/mv-mn.2014.0(1):26-32
28. Canavese F, Dimeglio A, Bonnel F. Postoperative CT-scan 3D reconstruction of the calcaneus following lateral calcaneal lengthening osteotomy for flatfoot deformity in children. Is the surgical procedure potentially associated with subtalar joint damage? *Foot Ankle Surg.* 2018;24(5):453-459. doi: 10.1016/j.fas.2017.05.005
29. Ettinger S, Mattinger T, Stukenborg-Colsman C, Yao D, et al. Outcomes of Evans Versus Hintermann Calcaneal Lengthening Osteotomy for Flexible Flatfoot. *Foot Ankle Int.* 2019;40(6):661-671. doi: 10.1177/1071100719835464
30. Ettinger S, Sibai K, Stukenborg-Colsman C, et al. Comparison of Anatomic Structures at Risk With 2 Lateral Lengthening Calcaneal Osteotomies. *Foot Ankle Int.* 2018;39(12):1481-1486. doi: 10.1177/1071100718789435
31. Momberger N, Morgan JM, Bachus KN, West JR. Calcaneocuboid joint pressure after lateral column lengthening in a cadaveric planovalgus deformity model. *Foot Ankle Int.* 2000;21(9):730-735. doi: 10.1177/107110070002100903

Статья поступила 15.07.2024; одобрена после рецензирования 01.10.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 15.07.2024; approved after reviewing 01.10.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Сергей Михайлович Гуди — кандидат медицинских наук, научный сотрудник, врач травматолог-ортопед, smgudinsk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1851-5566>;

Дарья Алексеевна Семенова — студентка, semenovadasha544@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6108-9365>;

Константин Олегович Васильев — врач-рентгенолог, vasiliev_ko@maiol.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2726-1392>;

Лилия Константиновна Скуратова — младший научный сотрудник, врач травматолог-ортопед, lilipetrov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3736-3270>;

Матвей Дмитриевич Лучшев — аспирант, врач травматолог-ортопед, mat.luchshev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4975-9494>;

Игорь Анатольевич Пахомов — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, заведующий отделением, pahomovigor@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-0677>.

Information about the authors:

Sergey M. Gudi — Candidate of Medical Sciences, Researcher, orthopaedic surgeon, smgudinsk@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1851-5566>;

Daria A. Semenova — student, semenovadasha544@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0005-6108-9365>;

Konstantin O. Vasiliev — radiologist, vasiliev_ko@maiol.ru, <https://orcid.org/0009-0006-2726-1392>;

Lilia K. Skuratova — Junior Research Fellow, orthopaedic surgeon, lilipetrov@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3736-3270>;

Matvey D. Luchshev — post-graduate student, orthopaedic surgeon, mat.luchshev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-4975-9494>;

Igor A. Pakhomov — Doctor of Medical Science, Leading Researcher, Head of the Department, pahomovigor@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1501-0677>.

Вклад авторов:

Гуди С. М. — методология, формальный анализ, редактирование, контроль.

Семенова Д. А. — исследование, обработка данных, написание - первоначальный вариант.

Васильев К. О. — методология, исследование, визуализация, рецензирование.

Скуратова Л. К. — исследование, концептуализация.

Лучшев М. Д. — исследование.

Пахомов И. А. — редактирование, контроль, управление проектом.

Научная статья

УДК 616.718.5/.6-001.5-089.227.84]-003.93-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-863-872>

Влияние трансфизарного интрамедуллярного стержня на формирование дистракционного регенерата голени и ее последующий рост у ягнят

Н.А. Кононович✉, С.С. Леончук, Е.С. Горбач, Е.Н. Горбач, Д.А. Попков

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

Автор, ответственный за переписку: Наталья Андреевна Кононович, n.a.kononovich@mail.ru

Аннотация

Введение. При удлинении конечностей у детей сочетание эластичного интрамедуллярного армирования и внешней фиксации имеет преимущества перед стандартными методиками, но требует удаления эластичных стержней и не предусматривает возможности блокирования, что могло бы существенно сократить период фиксации наружными конструкциями.

Цель работы — определить особенности формирования дистракционного регенерата большеберцовой кости и резидуального роста удлинённого сегмента у ягнят в условиях внешнего остеосинтеза с использованием трансфизарного ригидного титанового стержня.

Материалы и методы. Выполнили эксперименты *in vivo* на ягнятах ($n = 7$) в периоде роста. В контрольной группе удлиняли правую большеберцовую кость методом чрескостного дистракционного остеосинтеза 28 сут. В основной группе сегмент дополнительно армировали интрамедуллярным ригидным стержнем. На рентгенограммах измеряли высоту диастаза между отломками, поперечные размеры дистракционного регенерата, высоту костных отделов регенерата и зоны роста, длину большеберцовых костей; рентгеноанатомические углы проксимального суставного конца большеберцовой кости. Для определения собственной динамики роста оперированного сегмента из значений длины большеберцовой кости вычитали величину дистракционного регенерата.

Результаты. В основной группе поперечные размеры дистракционного регенерата были больше, а высота зоны роста — меньше, чем в контрольной группе. Консолидация регенерата в основной группе происходила через 30 сут., а в контрольной — через 60 сут. после прекращения удлинения. Не отмечено замедления продольного роста удлинённого сегмента в сравнении с контралатеральным, не изменялись углы ориентации наклона проксимальных суставных поверхностей.

Обсуждение. Трансфизарные имплантаты для снижения риска эпифизиодезов должны располагаться центрально, их площадь не должна превышать 7 % ростковой зоны. Эти условия соблюдены в выполненном исследовании. Сокращение сроков кортикализации дистракционного регенерата и раннего прекращения наружной фиксации связано с выраженным периостальным остеогенезом и повышенной стабильностью положения костных фрагментов. Расположение стержня в пластинке роста не приводит к эпифизиодезу и не препятствует нормальному росту сегмента.

Заключение. Выраженный периостальный остеогенез и дополнительная стабилизация положения костных фрагментов при использовании трансфизарного ригидного титанового стержня способствуют быстрейшему формированию и созреванию костного регенерата. Отсутствуют признаки угнетения спонтанного роста удлиняемого сегмента и формирования рентгеновских признаков эпифизиодеза на уровне расположения трансфизарной конструкции. Центральное расположение трансфизарного стержня относительно плоскости ростковой зоны и его площади сечения менее 5 % площади физиса можно считать условиями, при которых эпифизиодез не развивается.

Ключевые слова: ростковый хрящ, интрамедуллярный стержень, удлинение конечности

Для цитирования: Кононович Н.А., Леончук С.С., Горбач Е.С., Горбач Е.Н., Попков Д.А. Влияние трансфизарного интрамедуллярного стержня на формирование дистракционного регенерата голени и ее последующий рост у ягнят. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):863-872. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-863-872. EDN: TIHOSL.

© Кононович Н.А., Леончук С.С., Горбач Е.С., Горбач Е.Н., Попков Д.А., 2024



Impact of transphyseal intramedullary nailing on tibial distraction regenerate and subsequent tibial growth in sheep: an experimental study

N.A. Kononovich✉, S.S. Leonchuk, E.S. Gorbach, E.N. Gorbach, D.A. Popkov

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

Corresponding author: Natalia A. Kononovich, n.a.kononovich@mail.ru

Abstract

Introduction In lengthening of limbs in children, the combination of elastic intramedullary reinforcement and external fixation has advantages over standard techniques, but requires the removal of elastic nails and does not provide the possibility of their locking, that could significantly reduce the period of external fixation.

The **purpose** of the work was to study the features of tibial distraction regenerate formation and residual growth of the lengthened segment in lambs under the conditions of external fixation combined with a transphyseal rigid titanium rod.

Materials and methods *In vivo* experiments were performed on lambs ($n = 7$) during their growth period. In the control group, the right tibia was lengthened using transosseous distraction osteosynthesis for 28 days. In the study group, the segment was additionally reinforced with an intramedullary rigid rod. The following were measured in radiographs: the height of the distraction gap between the fragments, the transverse dimensions of the distraction regenerate, the height of the bone sections of the regenerate and the growth zone, the length of the tibia; the anatomical angles of the proximal articular end of the tibia. To determine the intrinsic growth dynamics of the segment under lengthening, the size of the distraction regenerate was subtracted from the length of the tibia.

Results In the main group, the transverse dimensions of the distraction regenerate were larger, and the height of the growth zone was smaller than in the control group. Consolidation of the regenerate in the main group occurred after 30 days, and in the control group 60 days after the cessation of lengthening. No slowdown in the longitudinal growth of the elongated segment was noted compared to the contralateral one, the orientation angles of the inclination of the proximal articular surfaces did not change.

Discussion Transphyseal implants should be located centrally to reduce the risk of epiphysiodesis, their area should not exceed 7 % of the growth zone. These conditions were met in the study. The reduction in the time of distraction regenerate corticalization and early termination of external fixation was associated with pronounced periosteal osteogenesis and increased bone fragments stability. The location of the rod in the growth plate does not lead to epiphysiodesis and does not interfere with normal growth of the segment.

Conclusion Pronounced periosteal osteogenesis and additional stabilization of the bone fragments with a transphyseal rigid titanium rod contribute to the faster bone regenerate formation and maturation. There are no signs of inhibition of spontaneous growth of the segment under lengthening and radiographic signs of epiphysiodesis at the transphyseal level. The central location of the transphyseal rod relative to the growth zone plane and its cross-sectional area of less than 5 % of the physis area can be considered conditions under which epiphysiodesis does not develop.

Keywords: intramedullary nail, limb lengthening, discrepancy, physis

For citation: Kononovich NA, Leonchuk SS, Gorbach ES, Gorbach EN, Popkov DA. Impact of transphyseal intramedullary nailing on tibial distraction regenerate and subsequent tibial growth in sheep: an experimental study. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):863-872. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-863-872

ВВЕДЕНИЕ

Удлинение конечностей у детей рекомендовано начинать в раннем детском возрасте, что обусловлено значительной величиной укорочения и сопутствующих деформаций и настоятельным требованием родителей [1, 2]. Удлинение классическими методиками требует длительного периода внешней фиксации, что сопряжено как с повышенным риском осложнений, так и с психологической нагрузкой на пациента и его семью [3, 4]. Применение полностью имплантируемых удлиняющих интрамедуллярных конструкций у детей невозможно вследствие малого диаметра кости и открытых зон роста [5]. Использование эластичного интрамедуллярного армирования показало свои преимущества: сокращение времени ношения аппарата внешней фиксации (АВФ), снижение частоты осложнений, возможности применения методики при малых диаметрах костномозгового канала [6, 7]. Однако применение этого способа подразумевает дополнительную операцию по удалению эластичных стержней [8]. Кроме того, эластичные титановые стержни не обеспечивают возможности выполнения блокируемого остеосинтеза, что теоретически позволило бы ускорить снятие АВФ. Наши недавние экспериментальные исследования показали, что трансфизарный титановый ригидный стержень с резьбовыми частями, введенными в эпифизы, и гладкой частью на уровне зон роста метафизарных и диафизарных отделов большеберцовой кости в условиях эксперимента не ведет к замедлению роста оперированного сегмента [9].

Цель работы — определить особенности формирования дистракционного регенерата большеберцовой кости и резидуального роста удлинённого сегмента у ягнят в условиях внешнего остеосинтеза с использованием трансфизарного ригидного титанового стержня.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Выполнено проспективное, рандомизированное, контролируемое моноцентровое экспериментальное исследование *in vivo* на ягнятах в периоде роста, разделенных на две группы: контрольную ($n = 3$) и основную ($n = 5$). Всем животным осуществляли удлинение правой большеберцовой кости методом чрескостного дистракционного остеосинтеза с темпом 1,0 мм/сут. за 4 перемещения в течение 28 сут. В основной группе дополнительно выполняли армирование сегмента интрамедуллярным ригидным стержнем. Преддистракционный период составлял 7 сут.

Критерии соответствия

В эксперименте использовали клинически здоровых овец обоего пола, у которых диаметр костномозгового канала большеберцовой кости был не менее 5 мм, а биологический возраст варьировал в диапазоне 4,5–5 мес. (критерии включения). Критериями исключения были: гибель животных или патологические состояния, не связанные с условиями эксперимента.

Периоды исследования

Перед началом эксперимента определены контрольные этапы исследования: непосредственно перед оперативным вмешательством; окончание периода удлинения; 30 сут. фиксации после прекращения периода удлинения; окончание фиксации АВФ; 30 сут. после прекращения аппаратной фиксации.

Описание оперативного вмешательства

Все оперативные вмешательства выполняли в условиях операционной одной хирургической бригадой.

Животным контрольной группы на правую голень монтировали аппарат Илизарова, состоящий из четырех опор, образующих две подсистемы, — проксимальную и дистальную (рис. 1, а). Подсистемы соединяли между собой резьбовыми стержнями с возможностью последующего продольного перемещения. Через продольный разрез мягких тканей выполняли поперечную остеотомию диафиза большеберцовой кости при помощи пилы Джигли. После этого на мягкие ткани накладывали узловые швы.

У животных основной группы использовали две опоры, — проксимальную и дистальную. Перед выполнением остеотомии осуществляли армирование большеберцовой кости интрамедуллярным ригидным титановым стержнем (сплав Ti6Al4V) (рис. 1, б). Диаметр стержня (4,5 мм или 5,0 мм) зависел от диаметра костномозгового канала. Стер-

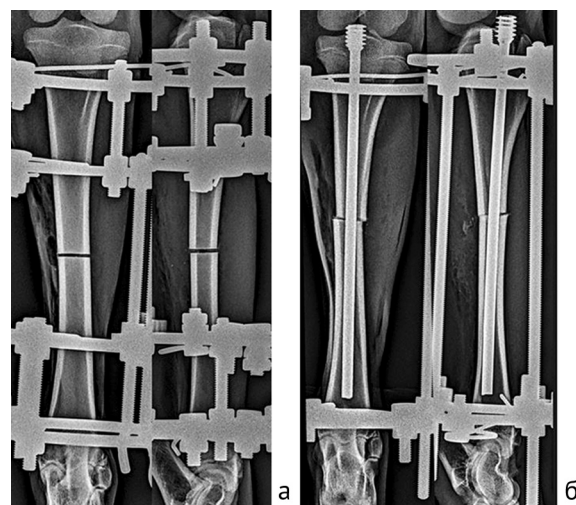


Рис. 1. Рентгенограммы голени, выполненные в день оперативного вмешательства: а — пример из контрольной группы; б — пример из опытной группы

жень подбирали так, чтобы диаметр канала в самой узкой части превышал диаметр стержня на 2–3 мм. Костномозговой канал не рассверливали. Длину стержня определяли для каждого животного индивидуально. Стержень устанавливали через парapatеллярный доступ. В межмышечковом пространстве большеберцовой кости канюлированным сверлом по спице-направителю на медленных оборотах рассверливали канал в проксимальном эпифизе, проходя до костномозгового канала. Через сформированный канал вводили ригидный стержень, вкручивая при этом его резьбовую часть под рентгеновским контролем. Высота резьбовой части не превышала высоты эпифиза и не заходила в зону росткового хряща. Диаметр резьбовой части соответствовал 11 мм. Через продольный разрез мягких тканей выполняли поперечную остеотомию диафиза большеберцовой кости при помощи пилы Джигли с последующим послойным ушиванием раны.

Всем животным ежедневно в течение 5 дней после выполнения оперативного вмешательства назначали инъекции кетопрофена (50 мг/мл) для внутримышечного введения по 0,5 мл в сут. Кожу вокруг спиц и швы обрабатывали 3 % раствором перекиси водорода.

Всем животным осуществляли рентгенографию опытного и контралатерального сегмента с помощью рентгеновской системы Premium VET (TOSHIBA (Rotanode) Model E7239. N: 10G749, Япония) и системы цифровой рентгенографии с плоскостанельным детектором CANON CXDI-401C COMPACT (Canon Inc. Medical Equipment Group, Япония).

Животных содержали в условиях вивария в соответствии с требованиями ГОСТ Р 33044-2014 «Принципы надлежащей лабораторной практики», ГОСТ 33215-2014 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила оборудования помещений и организации процедур», ГОСТ 34088-2017 «Руководство по содержанию и уходу за лабораторными животными. Правила содержания и ухода за сельскохозяйственными животными». При выполнении экспериментов соблюдали требования Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей, и Директивы 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22.09.2010 по охране животных, используемых в научных целях.

Основной исход исследования

Для определения особенностей формирования дистракционного костного регенерата на рентгенограммах отмечали структуру его теней, его форму, зональность строения, наличие и выраженность срединной зоны просветления (зоны роста).

Для количественной оценки на цифровых рентгеновских изображениях измеряли: высоту диастаза между костными отломками (см), поперечные размеры дистракционного костного регенерата, высоту его костных отделов и высоту зоны роста (см).

Дополнительно изучали особенности роста сегмента в созданных условиях и формирование проксимального суставного конца. Для этого измеряли: длину большеберцовых костей в боковой проекции (см), механический медиальный проксимальный угол большеберцовой кости (англ.: mechanical medial proximal tibial angle, mMPPTA), механический задний проксимальный большеберцовый угол (англ.: mechanical posterior proximal tibial angle, mPPPTA). Собственную динамику роста оперированного сегмента рассчитывали вычитанием величины дистракционного регенерата из длины большеберцовой кости.

Статистический анализ проводили с использованием надстройки AtteStat версии 13.1 к электронным таблицам Excel (2016, 16.0.5278.1000). Использовали методы описательной статистики: средние значения (M) и стандартное отклонение (SD). Сравнительные исследования производили с применением критерия Манна – Уитни. Различия показателей считали статистически значимыми при $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Полностью полноценно период дистракции, фиксации и период после снятия АВФ протекал у семи животных. В одном случае основной группы произошла преждевременная костная консолидация на второй неделе дистракции, что заставило нас исключить этот случай из анализа.

Во всех случаях результаты остеометрии большеберцовых костей ягнят перед началом эксперимента не выявили достоверной разницы ($p = 0,7$) между длиной опытного и интактного сегментов. В контрольной группе эти показатели составляли $(20,07 \pm 0,3)$ см и $(20,03 \pm 0,31)$ см, а в основной группе $(19,81 \pm 1,05)$ см и $(19,83 \pm 1,05)$ см соответственно.

При оценке рентгенологических особенностей дистракционного регенерата определили, что у животных контрольной группы к окончанию периода удлинения контуры концов отломков были ровные, четкие. Диастаз между костными отломками составлял в среднем $(3,1 \pm 0,1)$ см, $(12,3 \pm 1,8)$ %. В его полости определялись тени дистракционного костного регенерата продольно-исчерченной структуры и зонального строения. Как правило, высота проксимального костного отдела регенерата

((1,74 ± 0,29) см) была больше высоты дистального костного отдела ((0,9 ± 0,21) см) более чем на 90 %. Протяженность срединной зоны просветления варьировала от 0,41 см до 1,68 см, в среднем — (0,85 ± 0,35) см. Эти значения составляли 27,42 % от высоты диастаза. Зону роста на отдельных участках перекрывали тени костных трабекул. Поперечные размеры регенерата превышали диаметр концов отломков более чем на 35 %. Их значения были в диапазоне от 1,61 см до 2,36 см и составляли в среднем (1,87 ± 0,27) см (диаметр материнской кости — (1,36 ± 0,1) см).

К 30 суткам фиксации у животных этой группы контуры концов отломков становились менее четкими в сравнении с предыдущим периодом обследования. Тени костного регенерата приобретали гомогенную структуру. Его костные отделы (проксимальный и дистальный) на отдельных участках объединялись между собой. Диаметр регенерата в проекции зоны роста составлял (1,99 ± 0,4) см. Зона роста была представлена отдельными участками просветления либо была в виде зигзагообразной линии. Ее высота резко уменьшалась по отношению к предыдущему этапу и составляла в среднем (0,25 ± 0,14) см.

В созданных условиях формирование опороспособного костного регенерата происходило к 60 сут. фиксации после прекращения периода удлинения. На данном этапе контуры концов отломков становились еще менее четкими. Зональное строение новообразованного костного дистракционного регенерата полностью утрачивалась. Его представляли непрерывные гомогенные тени. Зона роста выявлялась чаще в проекции периферической части регенерата в виде единичных участков просветления с одной или двух сторон. Была сформирована тонкая непрерывная корковая пластинка.

В этот период при выполнении клинической пробы патологической подвижности и болезненности в области удлинения не выявляли, что позволяло прекратить фиксацию аппаратом Илизарова.

Через 30 сут. после прекращения фиксации аппаратом Илизарова контуры концов отломков были размыты. Новообразованный участок диафиза был представлен однородными тенями. Его высота не изменялась в сравнении с величиной, достигнутой в периоде окончания удлинения, а поперечные размеры в среднем составляли (1,83 ± 0,16) см. Определялись признаки формирования костномозгового канала.

Рентгенологическая динамика формирования дистракционного костного регенерата у животных контрольной группы представлена на рис. 2.

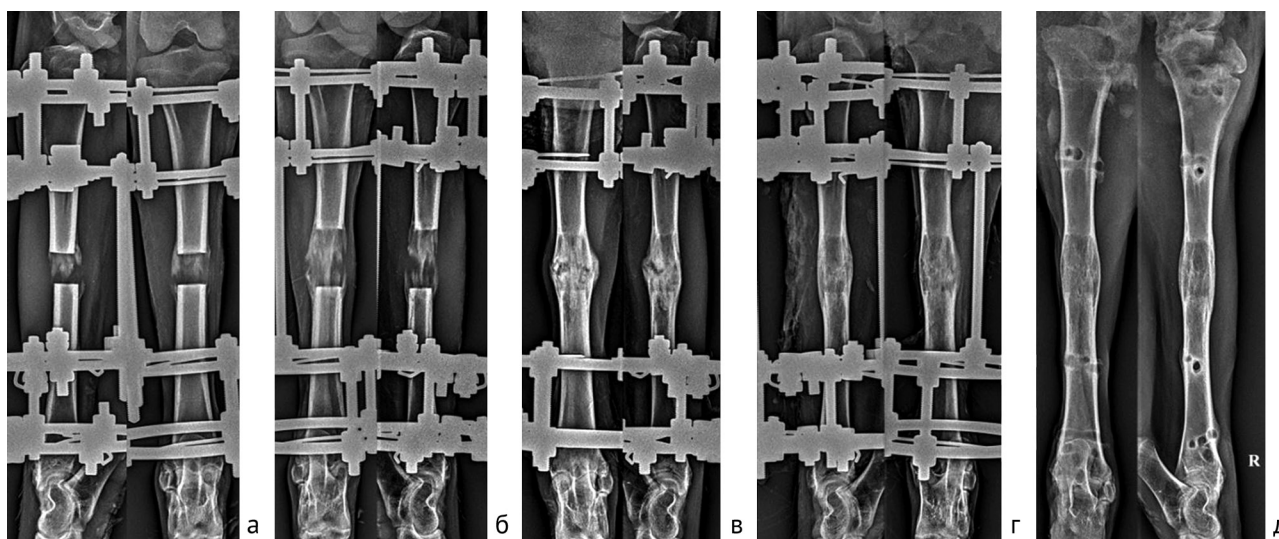


Рис. 2. Рентгенограммы голени в процессе удлинения классической методикой, контрольная группа: а — 14 дн. дистракции; б — 28 дн. дистракции (окончание удлинения); в — 30 дн. периода фиксации; г — 60 дн. периода фиксации, костное сращение, день снятия аппарата; д — 30 дн. после демонтажа аппарата внешней фиксации

При оценке рентгенологических особенностей дистракционного регенерата определили, что у животных основной группы диастаз между костными отломками в момент окончания дистракции составлял в среднем (2,75 ± 0,14) см, (12,1 ± 1,5) %. В полости диастаза определяли тени костного дистракционного регенерата зонального строения. Поперечные размеры регенерата были в среднем (2,32 ± 0,38) см и превышали диаметр материнской кости на 51,6 %. Высота проксимального костного отдела регенерата варьировала от 0,75 до 2,75 см и в среднем составляла (1,56 ± 0,69) см. Протяженность дистального отдела, также как в контрольной группе, была меньше. Ее значения соответствовали (0,94 ± 0,97) см (от 0,44 см до 1,26 см). Зону роста высотой (0,54 ± 0,22) см чаще определяли по периферии. Ее, как правило, перекрывали тени костных трабекул продольно-исчерченной структуры, более сильно выраженные, чем в группе контроля.

Через 30 сут. фиксации после прекращения периода удлинения на рентгенограммах контуры концов отломков слабо определялись. Дистракционный костный регенерат утрачивал зональное строение. Его поперечные размеры составляли в среднем ($2,38 \pm 0,42$) см. Тени костных отделов регенерата были однородной продольно исчерченной структуры и объединялись между собой. Зона роста была представлена единичными маленькими участками просветления, в среднем ($0,43 \pm 0,2$) см. По периферии начинала формироваться тонкая корковая пластинка.

У животных этой группы в данный период на основании результатов выполненной клинической пробы и рентгенологической картины прекращали фиксацию аппаратом Илизарова.

Через 30 сут. после демонтажа АВФ ось удлиненного сегмента на рентгенограммах была правильная. Контуры концов отломков не определялись. Тени новообразованного дистракционного костного регенерата частично компактизировались в сравнении с предыдущим этапом обследования. Его поперечные размеры незначительно уменьшались и составляли ($2,14 \pm 0,14$) см. Со всех сторон была сформирована непрерывная корковая пластинка. Вдоль поверхности стержня был сформирован единый непрерывный костномозговой канал.

Рентгенологическая динамика формирования дистракционного костного регенерата у животных основной группы представлена на рис. 3.

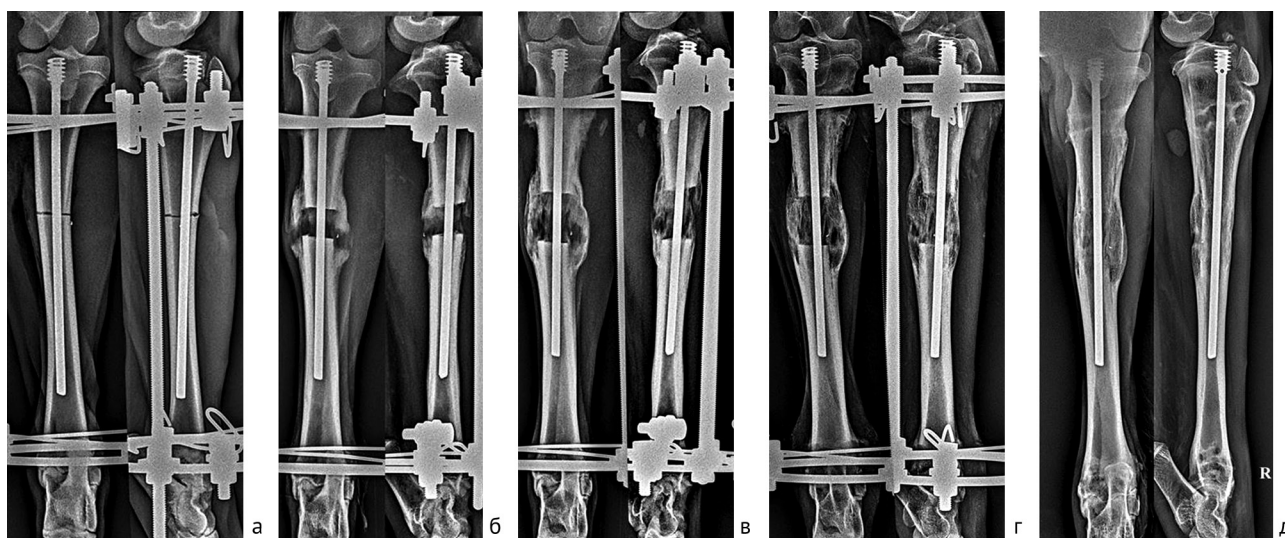


Рис. 3. Рентгенограммы голени в процессе удлинения на титановом стержне, основная группа: а — день операции; б — 14 дн. дистракции; в — 28 дн. дистракции (окончание удлинения); г — 30 дн. периода фиксации, костное сращение, день снятия аппарата; д — 30 дн. после демонтажа АВФ

Измерения показали, что площадь повреждения росткового хряща составила в среднем ($4,08 \pm 0,32$) %. При анализе длины большеберцовой кости, сформированной за счет спонтанного роста (без учета высоты дистракционного регенерата), через 60 дн. после окончания периода фиксации были выявлены показатели, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Длина оперированной и интактной большеберцовых костей через 60 дн. после окончания периода фиксации

Группы	Интактная б/б кость; см	Оперированная б/б кость; см	Достоверность отличий
Классическое удлинение (контрольная)	$20,9 \pm 0,32$	$21,54 \pm 0,19$	$P = 0,045$
Удлинение на титановом стержне (основная)	$21,14 \pm 0,41$	$21,31 \pm 0,23$	$P = 0,274$

Таким образом, не были выявлены нарушения продольного роста удлиняемых большеберцовых костей в сравнении с интактными контралатеральными.

Разница значений рентгеновских углов ориентации наклона проксимальных суставных поверхностей МРТА ($p = 0,51$) и РРТА ($p = 0,03$) отсутствовала как непосредственно перед оперативным вмешательством, так и в последующем на разных сроках наблюдения в обеих группах по сравнению с контралатеральной (интактной) конечностью (табл. 2).

Отметим также, что ни у одного животного, которому осуществляли удлинение на стержне, не произошло его блокирования в костномозговом канале в процессе дистракции, а также не произошло потери фиксации резьбовой части в проксимальном эпифизе большеберцовой кости.

Таблица 2

Рентгенанатомические углы проксимального суставного конца большеберцовой кости

Измеряемый показатель	Интактная большеберцовая кость		Опытная большеберцовая кость	
	До операции	30 дн. после демонтажа аппарата	До операции	30 дн. после демонтажа аппарата
Контрольная группа				
mMPTA; °	91,65 ± 0,50	95,02 ± 2,25	91,15 ± 1,78	94,01 ± 2,08
mPPTA; °	62,47 ± 3,02	65,07 ± 1,97	64,55 ± 5,83	71,1 ± 1,08
Основная группа				
mMPTA; °	92,4 ± 1,35	92,4 ± 1,39	92,35 ± 3,02	92,5 ± 1,22
mPPTA; °	65,7 ± 1,36	69,6 ± 3,1	66,92 ± 4,17	70,3 ± 0,92

ОБСУЖДЕНИЕ

В детской ортопедии и травматологии вопрос о длительном присутствии трансфизарных имплантов наиболее активно обсуждается в трех областях: оперативное лечение переломов длинных трубчатых костей с повреждением зон роста, реконструкция передней крестообразной связки коленного сустава до закрытия зон роста, а также реконструкция и/или превентивное трансфизарное армирование костей при патологии костной ткани, сопровождающейся снижением ее прочностных свойств [10–16].

В экспериментальной хирургии различные модели используют для определения влияния повреждений и имплантов на функцию и структуру росткового хряща и суставного хряща коленного сустава. В большинстве случаев исследования проводят на ягнятах, кроликах и поросятах [17–20]. Признано, что модель операций на коленном суставе и области ростковых зон ягнят в большей степени подходит для трансляции полученных в эксперименте результатов в клиническую практику [21]. Проверка на экспериментальной модели особенностей патологии и эффективности принципов новых методов хирургии остается обязательной с начала существования доказательной медицины [22].

При переломах конечностей у детей в 20 % случаев вовлекается ростковый хрящ [23]. При этом в трети этих травм формируются зоны эпифизиодеза как исход перелома [24]. В травматологической практике мнения авторов о влиянии трансфизарного проведения спиц при фиксации мелких фрагментов при остеоэпифизиолизах на функцию ростковых хрящей и формирование ограниченных эпифизиодезов противоречивы. Например, при лечении переломов у детей J. Horneta. описывали частичный эпифизиодез и развитие угловой деформации [25]. В свою очередь P.S. Yung et al. и R. Langenhan et al. не нашли влияния трансфизарно проведенных прямых спиц Киршнера на последующий рост оперированной конечности [11, 12]. B.R. Garrett et al. [26] также не выявили статистических корреляций между диафиксацией дистальных эпифизиолизом и остеоэпифизиолизом бедра и частотой эпифизиодезов, в то время как тяжесть травмы и тип перелома по классификации Salter – Harris имели достоверное влияние. В контексте устранения последствий травм в зонах роста методом резекции участков эпифизиодеза экспериментальные исследования сыграли свою роль, показав отсутствие повторного формирования костных сращений между эпифизом и метафизом в случае заполнения зоны резекции аутологичной хрящевой тканью [20]. При заполнении зон жировой тканью или оставлении их пустыми во всех случаях наблюдали костное сращение на месте удаленного росткового хряща. Важность замедления резорбции трансфизарного материала и его инертных свойств для предотвращения формирования зон эпифизиодеза показана в работе южнокорейских исследователей: микродуговое оксидирование тонких имплантов из сплавов Mg-Ca-Zn замедляло резорбцию в зоне физисов и исключало формирование костных сращений между эпифизом и метафизом [27].

Существует мнение, что при реконструкции передней крестообразной связки коленного сустава у детей анатомическая реконструкция возможна лишь при трансфизарном формировании туннелей и расположении аутоимплантов [28, 29]. Однако такой способ выполнения операции повышает риск формирования укорочения и вальгусной деформации вследствие травматизации зон роста [14, 15]. Экспериментальные исследования методик реконструкции передней крестообразной связки выявили факторы, снижающие риски эпифизиодезов: центральное расположение каналов в зонах роста, их малый диаметр (5 мм) и расположение биологически инертного материала (собственных сухожилий). В то время как больший диаметр каналов (8 мм), их заднелатеральная локализация и незаполнение сухожилиями вели к формированию эпифизиодезов у ягнят [30]. Важность расположения сухожилий внутри трансфизарного канала для предотвращения эпифизиодеза была также подтверждена экспериментально [31].

Вопрос о влиянии трансфизарных конструкций на рост конечностей при реконструктивных операциях на костях конечностей, используемых в клинической практике лечения детей с генетическими заболеваниями, пока не находит ответа вследствие как отсутствия методов прогноза спонтанного роста при таких патологиях, так и невысокой актуальности данной проблемы до недавнего времени [32–34].

Именно в области реконструктивной ортопедии экспериментальные исследования являются авангардом научного поиска, а не следуют в фарватере расширения показаний к уже состоявшимся клиническим технологиям. При исследовании величины повреждения и длительности диафиксации каким-либо материалом E.A. Mäkelä et al. [35] удалось показать, что трансфизарное нахождение прямых стальных спиц диаметром 2 мм менее 12 нед. не вызвало развития нарушения функции роста, а в периоде 12–24 нед. наблюдали эпифизиодез и укорочение сегмента. Использование спиц диаметром 3,2–3,5 мм, занимающих 7 % от площади зоны роста, неизбежно приводило к эпифизиодезу и укорочению. Данная критичная величина площади повреждения (7–9 %) зоны роста подтверждена другим исследованием, однако расположение в канале собственного сухожилия позволяло избежать формирования костного сращения [31]. В нашем собственном исследовании повреждение 6 % площади физиса при трансфизарном армировании стальными спицами, но и длительном нахождении имплантов *in situ* (в течение 25 нед.) приводило к потере 5,4 % остаточного роста, а при сочетании армирования с остеотомией — к потере 9,5 % резидуального роста армированной большеберцовой кости [36]. Важно отметить, что телескопический характер трансфизарных имплантов (скользящих один внутри другого) из титановых сплавов, введенных в большеберцовую кость центрально относительно геометрии зон роста и без дополнительных остеотомий кости, не приводил к угнетению функции физисов [9]. В данной дискуссии важны результаты экспериментального исследования ретроградного введения в бедренную кость поросят массивного титанового стержня в периоде 8 нед. (без выполнения дополнительной остеотомии), которое не привело к торможению продольного роста [37]. Данная работа направлена на обоснование возможности применения полностью имплантируемых электромагнитных стержней у детей для удлинения конечностей, но авторы признают, что экспериментальные исследования должны быть продолжены для изучения влияния трансфизарных имплантов на функцию роста в условиях хирургического удлинения сегментов.

Таким образом, для снижения рисков эпифизиодезов трансфизарные импланты, потенциально используемые в реконструктивной ортопедии, должны обладать инертными свойствами в отношении окружающих тканей, быть нерезорбируемыми (или с длительным периодом резорбции), располагаться центрально, не превышать площадь 7 % ростковой зоны.

В нашей экспериментальной серии использованы титановые трансфизарные стержни, способ применения которых отвечал вышеуказанным критериям, за исключением того, что они являлись составляющей комбинированной методики удлинения конечностей.

Результаты экспериментальной серии показали не только возможность такого удлинения, но и ускорение созревания и консолидации дистракционного регенерата в условиях применения тонкого ригидного стержня по сравнению со стандартной методикой. Мы видим два объяснения такому феномену: выраженная периостальная реакция и повышенная стабильность положения костных фрагментов [38–42]. Наше исследование подтвердило преимущество удлинения с интрамедуллярными конструкциями, в данном случае с ригидным интрамедуллярным стержнем с возможностью блокирования. Во всех случаях экспериментального удлинения комбинированной методикой костное сращение с полноценной кортикализацией дистракционного регенерата достигнуто в течение 30 дн. фиксации.

Что касается влияния на рост постоянно находящегося трансфизарного стержня, многообещающим результатом является отсутствие торможения роста удлинённого сегмента и, тем более, наступления эпифизиодеза. Статистически значимой разницы в длине интактного и удлинённого (за вычетом высоты диастаза) сегмента не обнаружено.

Ограничением данного исследования для клинической интерпретации результатов является его экспериментальный характер, а также величина относительного удлинения в пределах 13 %. Также к ограничениям можно отнести небольшое количество животных, используемых в эксперименте. В последующие годы выполнения НИР запланировано дополнить количество наблюдений в каждой из групп.

Тем не менее, очевидно, что соблюдения доказанных требований к трансфизарным имплантам и в условиях удлинения позволяет избежать негативного влияния на функцию вовлеченной зоны роста.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявлена возможность экспериментального удлинения большеберцовой кости в условиях внешнего остеосинтеза с использованием трансфизарного ригидного титанового стержня. Выраженный периостальный остеогенез и дополнительная стабилизация положения костных фрагментов способствуют быстрейшему формированию и созреванию костного регенерата по сравнению с классической методикой. Отсутствуют признаки угнетения спонтанного роста удлиняемого сегмента и формирования рентгеновских признаков эпифизиодеза на уровне расположения трансфизарной конструкции. Центральное расположение трансфизарного стержня относительно плоскости ростковой зоны и его площади сечения менее 5 % площади физиса можно считать условиями, при которых не развивается эпифизиодез при экспериментальном удлинении конечности.

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

Источник финансирования. Исследование и подготовка публикации проведены в рамках государственного задания и при финансовой поддержке Министерства здравоохранения РФ: «Разработка трансфизарного интрамедуллярного ригидного стержня для реконструктивной хирургии конечностей и инструментария для его установки» (2024–2026 гг.).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Fuller CB, Shannon CE, Paley D. Lengthening Reconstruction Surgery for Fibular Hemimelia: A Review. *Children* (Basel). 2021;8(6):467. doi: 10.3390/children8060467
- Lazović M., Леончук С.С., Ducić S. и др. Удлинение и коррекция деформаций конечности у пациентов с тяжелыми формами малоберцовой гемимелии: опыт детской университетской больницы Белграда. *Гений ортопедии*. 2024;30(1):38–45. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-38-45
- Antoci V, Ono CM, Antoci V Jr, Raney EM. Bone lengthening in children: how to predict the complications rate and complexity? *J Pediatr Orthop*. 2006;26(5):634–640. doi: 10.1097/01.bpo.0000229977.31931.69
- Moraal JM, Elzinga-Plomp A, Jongmans MJ, et al. Long-term psychosocial functioning after Ilizarov limb lengthening during childhood. *Acta Orthop*. 2009;80(6):704–710. doi: 10.3109/17453670903473024
- Popkov A, Foster P, Gubin A, et al. The use of flexible intramedullary nails in limb lengthening. *Expert Rev Med Devices*. 2017;14(9):741–753. doi: 10.1080/17434440.2017.1367284
- Popkov D, Popkov A, Haumont T, et al. Flexible intramedullary nail use in limb lengthening. *J Pediatr Orthop*. 2010;30(8):910–918. doi: 10.1097/BPO.0b013e3181f0eaf9
- Launay F, Jouve JL, Guillaume JM, et al. Progressive forearm lengthening in children: 14 cases. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2001;87(8):786–795. (In French.)
- Клышников К.А., Сазонова Н.В., Попков А.В. Комбинированный остеосинтез при лечении диафизарных переломов большеберцовой кости. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):635–639. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-635-639
- Kononovich N, Mingazov E, Gorbach E, et al. Impact of telescopic intramedullary rodding on the growth of tibia: Comparative experimental study in dogs. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2024;110(6):103645. doi: 10.1016/j.otsr.2023.103645
- Meyers AB. Physéal bridges: causes, diagnosis, characterization and post-treatment imaging. *Pediatr Radiol*. 2019;49(12):1595–1609. doi: 10.1007/s00247-019-04461-x
- Langenhan R, Baumann M, Hohendorff B, et al. Arthroscopically assisted reduction and internal fixation of a femoral anterior cruciate ligament osteochondral avulsion fracture in a 14-year-old girl via transphyseal inside-out technique. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2013;8(3):193–197. doi: 10.1007/s11751-013-0175-6
- Yung PS, Lam CY, Ng BK, et al. Percutaneous transphyseal intramedullary Kirschner wire pinning: a safe and effective procedure for treatment of displaced diaphyseal forearm fracture in children. *J Pediatr Orthop*. 2004;24(1):7–12. doi: 10.1097/00004694-200401000-00002
- Nicolaou N, Bowe JD, Wilkinson JM, et al. Use of the Sheffield telescopic intramedullary rod system for the management of osteogenesis imperfecta: clinical outcomes at an average follow-up of nineteen years. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(21):1994–2000. doi: 10.2106/JBJS.J.01893
- Petersen W, Bierke S, Stöhr A, et al. A systematic review of transphyseal ACL reconstruction in children and adolescents: comparing the transtibial and independent femoral tunnel drilling techniques. *J Exp Orthop*. 2023;10(1):7. doi: 10.1186/s40634-023-00577-0
- Peterson DC, Ayeni OR. Pediatric anterior cruciate ligament reconstruction outcomes. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2016;9(4):339–347. doi: 10.1007/s12178-016-9358-3
- Wu C, Zheng G, Wang D, et al. Combination Treatment by Cross-Union of the Tibia and Fibula, Autogenic Iliac Bone Grafting, Reliable Fixation and Bone Morphogenetic Proteins for the Treatment of Refractory Congenital Pseudarthrosis of the Tibia. *J Pediatr Orthop*. 2022;42(6):e623–e629. doi: 10.1097/BPO.0000000000002138
- Guzzanti V, Falciglia F, Gigante A, Fabbriani C. The effect of intra-articular ACL reconstruction on the growth plates of rabbits. *J Bone Joint Surg Br*. 1994;76(6):960–963.
- Ono T, Wada Y, Takahashi K, et al. Tibial deformities and failures of anterior cruciate ligament reconstruction in immature rabbits. *J Orthop Sci*. 1998;3(3):150–155. doi: 10.1007/s007760050035
- Seil R, Pape D, Kohn D. The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. *Arthroscopy*. 2008;24(7):824–833. doi: 10.1016/j.arthro.2008.02.007
- Abood AA, Møller-Madsen B, Shiguetomi-Medina JM, et al. Autologous cartilage and fibrin sealant may be superior to conventional fat grafting in preventing physeal bone bridge formation - a pilot study in porcines. *J Child Orthop*. 2020;14(5):459–465. doi: 10.1302/1863-2548.14.200024
- Madry H, Ochi M, Cucchiari M, et al. Large animal models in experimental knee sports surgery: focus on clinical translation. *J Exp Orthop*. 2015;2(1):9. doi: 10.1186/s40634-015-0025-1
- Bernard C. Experimental Pathology-Rational Principles of Therapeutics: Lecture XII. Delivered at the College of France, during the Winter Session, 1859–60. *Chic Med J*. 1860;17(8):487–493.
- Mizuta T, Benson WM, Foster BK, et al. Statistical analysis of the incidence of physeal injuries. *J Pediatr Orthop*. 1987;7(5):518–523. doi: 10.1097/01241398-198709000-00003
- Mann DC, Rajmaira S. Distribution of physeal and nonphyseal fractures in 2,650 long-bone fractures in children aged 0–16 years. *J Pediatr Orthop*. 1990;10(6):713–716. doi: 10.1097/01241398-199011000-00002
- Horn J, Kristiansen LP, Steen H. Partial physeal arrest after temporary transphyseal pinning--a case report. *Acta Orthop*. 2008;79(6):867–869. doi: 10.1080/17453670810016975
- Garrett BR, Hoffman EB, Carrara H. The effect of percutaneous pin fixation in the treatment of distal femoral physeal fractures. *J Bone Joint Surg Br*. 2011;93(5):689–694. doi: 10.1302/0301-620X.93B5.25422

27. Song MH, Yoo WJ, Cho TJ, et al. In Vivo Response of Growth Plate to Biodegradable Mg-Ca-Zn Alloys Depending on the Surface Modification. *Int J Mol Sci.* 2019;20(15):3761. doi: 10.3390/ijms20153761
28. van Eck CF, Gravare-Silbernagel K, Samuelsson K, et al. Evidence to support the interpretation and use of the Anatomic Anterior Cruciate Ligament Reconstruction Checklist. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(20):e153. doi: 10.2106/JBJS.L.01437
29. Zantop T, Wellmann M, Fu FH, Petersen W. Tunnel positioning of anteromedial and posterolateral bundles in anatomic anterior cruciate ligament reconstruction: anatomic and radiographic findings. *Am J Sports Med.* 2008;36(1):65-72. doi: 10.1177/0363546507308361
30. Seil R, Pape D, Kohn D. The risk of growth changes during transphyseal drilling in sheep with open physes. *Arthroscopy.* 2008;24(7):824-833. doi: 10.1016/j.arthro.2008.02.007
31. Janarv PM, Wikström B, Hirsch G. The influence of transphyseal drilling and tendon grafting on bone growth: an experimental study in the rabbit. *J Pediatr Orthop.* 1998;18(2):149-154.
32. Nguyen CV, Makarewich CA, Poon SC, et al. Long-term Outcomes of Intramedullary Nails in Osteogenesis Imperfecta: Fewer Surgeries and Longer Survival Times With Telescoping Rods in Patients With Over Ten Years Follow-up. *J Pediatr Orthop.* 2024. doi: 10.1097/BPO.0000000000002810
33. Мингазов Э.Р., Гофман Ф.Ф., Попков А.В. и др. Первый опыт применения титанового телескопического стержня при коррекции деформаций конечностей у детей с несовершенным остеогенезом. *Гений ортопедии.* 2019;25(3):297-303. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-297-303
34. Mingazov E, Gvozdev N, Popkov A, et al. Preliminary Results of Bone Lengthening over Telescopic Titanium Intramedullary Rod. *Case Rep Orthop.* 2023;2023:4796006. doi: 10.1155/2023/4796006
35. Mäkelä EA, Vainionpää S, Vihtonen K, et al. The effect of trauma to the lower femoral epiphyseal plate. An experimental study in rabbits. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(2):187-191. doi: 10.1302/0301-620X.70B2.3346285
36. Попков Д.А., Кононович Н.А., Мингазов Э.Р. и др. Интрамедуллярный эластичный трансфизарный остеосинтез большеберцовой кости и его влияние на рост сегмента. *Вестник Российской академии медицинских наук.* 2015;70(4):441-449. doi: 10.15690/vramn.v70.i4.1410
37. Abood AA, Rahbek O, Olesen ML, et al. Does Retrograde Femoral Nailing through a Normal Physis Impair Growth? An Experimental Porcine Model. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2021;16(1):8-13. doi: 10.5005/jp-journals-10080-1515
38. Caton J, Rubini J, Panisset JC, et al. Progressive limb lengthening with a centromedullary nail versus an external fixator: experimental study in sheep. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 2001;87(3):237-247. (In French.)
39. Lin CC, Huang SC, Liu TK, Chapman MW. Limb lengthening over an intramedullary nail. An animal study and clinical report. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(330):208-216. doi: 10.1097/00003086-199609000-00028
40. Kojimoto H, Yasui N, Goto T, et al. Bone lengthening in rabbits by callus distraction. The role of periosteum and endosteum. *J Bone Joint Surg Br.* 1988;70(4):543-549. doi: 10.1302/0301-620X.70B4.3403595
41. Popkov DA, Popkov AV, Kononovich NA, et al. Experimental study of progressive tibial lengthening in dogs using the Ilizarov technique. Comparison with and without associated intramedullary K-wires. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2014;100(7):809-814. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.021
42. Черкашин А. Механические способы стимуляции дистракционного регенерата: мини-обзор современных концепций. *Гений ортопедии.* 2023;29(6):656-661. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-656-661

Статья поступила 11.10.2024; одобрена после рецензирования 18.10.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 11.10.2024; approved after reviewing 18.10.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Наталья Андреевна Кононович — кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, n.a.kononovich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8908>;

Сергей Сергеевич Леончук — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, leon4yk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0883-9663>;

Евгений Сергеевич Горбач — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, gorbach.eyg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0682-1825>;

Елена Николаевна Горбач — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, gorbach.e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9516-7481>;

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

Information about the authors:

Natalia A. Kononovich — Candidate of Veterinary Sciences, leading researcher, n.a.kononovich@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5990-8908>;

Sergey S. Leonchuk — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Department, leon4yk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0883-9663>;

Evgeniy S. Gorbach — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, gorbach.eyg@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0682-1825>;

Elena N. Gorbach — Candidate of Biological Sciences, leading researcher, gorbach.e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9516-7481>;

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

Научная статья

УДК 616.71-018.46-002-004.8-089.844-74:615.33

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-873-880>

Высвобождение антибиотиков из материалов для замещения постостеомиелитических дефектов кости

М.В. Стогов✉, А.Л. Шастов, Е.А. Киреева, Н.В. Тушина

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

Автор, ответственный за переписку: Максим Валерьевич Стогов, stogo_off@list.ru

Аннотация

Введение. Поиск материалов для замещения костных дефектов, который обеспечивал бы пролонгированное высвобождение антибиотиков в терапевтических объемах в течение продолжительного периода, — актуальная задача при лечении пациентов с остеомиелитом.

Цель работы — сравнить кинетику высвобождения антибиотиков из материала на основе полимеров полиуретанового ряда для замещения постостеомиелитических дефектов кости.

Материалы и методы. Проведен *in vitro* сравнительный анализ кинетики высвобождения цефотаксима, ванкомицина и меропенема из двух материалов: на основе полимеров полиуретанового ряда (серия РК) и на основе полиметилметакрилата (серия ПММА). В каждой серии антибиотики вносили в исходные материалы в трех пропорциях полимер : антибиотик — 10:1 (группа 1); 10:0,5 (группа 2) и 10:0,25 (группа 3). Образцы инкубировали в 10 мл физиологического раствора при 37 °С. Инкубационный раствор в течение первой недели меняли ежедневно, в последующем — раз в неделю. В каждой группе инкубировали по 6 образцов.

Результаты. Показано, что объем элюируемого цефотаксима из материала серии ПММА был выше, чем из материала серии РК при всех концентрациях антибиотика. В свою очередь для ванкомицина и меропенема эта особенность наблюдалась только для образцов группы 1. Для групп 0,5 и 0,25 в серии РК отмечался больший объем высвобождающихся антибиотиков, чем из ПММА. Обнаружено, что в серии РК высвобождение ванкомицина и цефотаксима в эффективной (терапевтической) концентрации было более пролонгировано. В серии РК пролонгированное сохранение эффективных концентраций происходило на фоне меньшего объема высвободившегося антибиотика, чем в серии ПММА.

Обсуждение. Каждый материал показал свой профиль элюции антибиотика, и каждый из них может иметь свои показания. Материал на основе РК в части длительности элюции антибиотиков в терапевтических дозах имеет преимущества.

Заключение. Длительность высвобождения изученных антибиотиков в эффективных концентрациях из материала на основе полимеров полиуретанового ряда выше, чем из материала на основе ПММА.

Ключевые слова: остеомиелит, костные дефекты, костный цемент, антибиотики, кинетика элюции

Для цитирования: Стогов М.В., Шастов А.Л., Киреева Е.А., Тушина Н.В. Высвобождение антибиотиков из материалов для замещения постостеомиелитических дефектов кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):873-880. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-873-880. EDN: UIOYYM.



Release of antibiotics from the materials for post-osteomyelitic bone defect filling

M.V. Stogov✉, A.L. Shastov, E.A. Kireeva, N.V. Tushina

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

Corresponding author: Maksim V. Stogov, stogo_off@list.ru

Abstract

Introduction The search for materials for bone defect filling that would provide a release of antibiotics in therapeutic levels over a long period is a pressing issue in the treatment of patients with osteomyelitis.

The **purpose** of the work was to compare the kinetics of antibiotic release from materials based on polyurethane polymers for filling post-osteomyelitic bone defects.

Materials and methods A comparative *in vitro* analysis of the kinetic release of cefotaxime, vancomycin, and meropenem from two materials was performed: one was based on polyurethane polymers (RK series) and the other on polymethyl methacrylate (PMMA series). In each series, antibiotics were added to the original materials in three proportions: polymer/ antibiotic — 10:1 (group 1); 10:0.5 (group 2), and 10:0.25 (group 3). The samples were incubated in 10 ml of saline at 37 °C. The incubation solution was changed daily during the first week, and then once a week. Six samples were incubated in each group.

Results It was revealed that the volume of eluted cefotaxime in the PMMA series was higher than in the RK series for all antibiotic concentrations. In turn, for vancomycin and meropenem, it was observed only for group 1 samples. For groups 0.5 and 0.25, a larger volume of released antibiotics was noted in the RK series than in the PMMA series. It was found that in the RK series, the release of vancomycin and cefotaxime in an effective (therapeutic) concentration was more prolonged. In the RK series, there was prolonged release of effective concentrations but in a smaller volume of released antibiotic than in the PMMA series.

Discussion Each material showed its own antibiotic elution profile and each of them may have its own indications. The RK-based material has advantages in terms of the duration of antibiotic elution in therapeutic doses.

Conclusion The release of the studied antibiotics in effective concentrations from the material based on polyurethane polymers is longer than from the PMMA-based material.

Keywords: osteomyelitis, bone defect, bone cement, antibiotics, elution kinetics

For citation: Stogov MV, Shastov AL, Kireeva EA, Tushina NV. Release of antibiotics from the materials for post-osteomyelitic bone defect filling. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):873-880. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-873-880

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время для замещения костных дефектов, образующихся при удалении остеомиелитических очагов, широко применяют различные материалы, насыщенные антибиотиками [1, 2]. Это позволяет наиболее эффективно купировать локальный инфекционный процесс, тем самым снижая зависимость от системных антибиотиков [3–5]. Основным материалом, используемым для этих целей, является полиметилметакрилат (ПММА) (т.н. костный цемент) [6]. Накопленный опыт применения ПММА как носителя антибиотиков указывает на ряд недостатков при решении задач купирования остеомиелитического очага. В частности, к ключевым недостаткам относят особенности кинетики высвобождения антибиотика из материала, когда большая его часть высвобождается в течение первых суток после имплантации, что вызывает риски реинфицирования пациентов в отдаленный период, а также повышает токсическую нагрузку на организм, при этом присутствует дополнительный фактор — сложность удаления данного материала [7, 8]. Эти обстоятельства позволяют сохранять актуальность проблемы поиска основного материала (носителя) для замещения костных дефектов, который обеспечивал бы пролонгированное высвобождение антибиотиков в терапевтических объемах в течение продолжительного периода [9–11]. В этом плане для решения таких задач перспективным материалом является отечественный материал Рекост (РЗН 2014/1646, дата гос. регистрации 03.07.2014, бессрочно) [12] на основе полимеров полиуретанового ряда [13].

Цель работы — сравнить кинетику высвобождения антибиотиков из материала на основе полимеров полиуретанового ряда для замещения постостеомиелитических дефектов кости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании проведен *in vitro* сравнительный анализ кинетики высвобождения трех антибиотиков (цефотаксим, ванкомицин, меропенем) из двух материалов: Рекост на основе полимеров полиуретанового ряда (Нижний Новгород, РЗН 2014/1646 от 03.07.2014, бессрочно) (серия РК) и костный цемент (ПУ № ФСЗ 2012/11622 от 19.03.2012, бессрочно) на основе полиметилметакрилата (серия ПММА).

Из тестируемых материалов (согласно инструкции к их применению) формировали цилиндры высотой 7 мм и диаметром 4 мм. Антибиотики вносили в исходные материалы в трех пропорциях:

- 1) полимер : антибиотик — 10:1 (группа 1 в каждой серии);
- 2) полимер : антибиотик — 10:0,5 (группа 0,5 в каждой серии);
- 3) полимер : антибиотик — 10:0,25 (группа 0,25 в каждой серии).

Цилиндры инкубировали в физиологическом растворе объемом 10 мл при 37 °С. Инкубационный раствор в течение первой недели меняли ежедневно, в последующем — раз в неделю. В каждой группе инкубировали по 6 образцов. Параллельно инкубировали образцы без антибиотика (контроль).

В каждой пробе инкубационного раствора спектрофотометрически, относительно стандартной калибровочной кривой, по интенсивности поглощения определяли концентрацию тестируемых антибиотиков: цефотаксим — при 243 нм, ванкомицин — при 280 нм, меропенем — при 298 нм. При расчетах концентрации опытных проб вычитали значения экстинкции в пробах контрольного материала (без антибиотиков). Инкубацию прекращали, когда в пробах в течение двух недель отмечали следовые количества.

В параллелях рассчитывали медиану и интерквартильный размах. Достоверность различий между группами оценивали с помощью W-критерия Вилкоксона для независимых выборок.

Исследования выполнены с учетом рекомендаций, обозначенных в ГОСТе ISO 10993-13-2016 «Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 13. Идентификация и количественное определение продуктов деструкции полимерных медицинских изделий».

Работа выполнена в формате исследования *in vitro* без применения биоматериалов, поэтому этическое заключение не требовалось.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты кинетики высвобождения цефотаксима показали, что выход антибиотика из образцов серии ПММА для всех концентраций был максимален в течение первых суток опыта — 25–40 % (рис. 1). Высвобождение цефотаксима из образцов серии РК в этот период составило около 10 %. В последующие сроки наблюдения выход антибиотика из образцов серии РК в среднем был выше, чем в серии ПММА.

Высвобождение ванкомицина в первые сутки опыта в серии ПММА для всех концентраций также было максимальным за весь период наблюдения и существенно превышало значения серии РК (рис. 2). Однако в последующие сроки опыта выход антибиотика из образцов серии РК был более значителен относительно серии ПММА, особенно в группе 0,25.

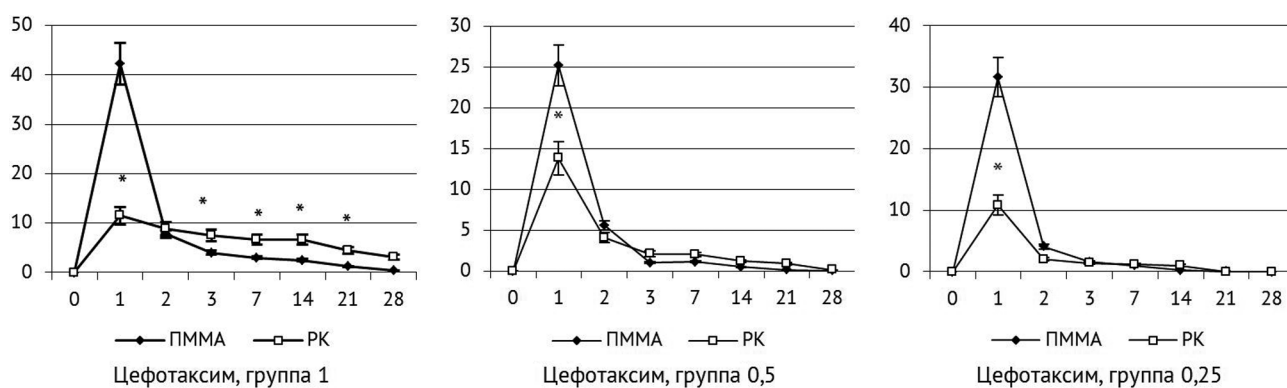


Рис. 1. Динамика высвобождения цефотаксима (% от общей массы введенного антибиотика) из тестируемых материалов (Ме, интерквартильный размах). * — достоверность различий между сериями при $p < 0,05$. По оси абсцисс — сутки инкубации



Рис. 2. Динамика высвобождения ванкомицина (% от общей массы введенного антибиотика) из тестируемых материалов (Ме, интерквартильный размах). * — достоверность различий между сериями при $p < 0,05$. По оси абсцисс — сутки инкубации

Высвобождение меропенема в первые сутки опыта в серии ПММА группы 1 было существенно выше значений аналогичной серии РК (рис. 3). В группе 0,5 кинетика высвобождения в серии РК в течение первой недели опыта была идентична аналогичной группе серии ПММА, а в последующие сроки даже превышала уровень выхода в серии ПММА. В группе 0,25 выход антибиотика из образцов серии РК был выше относительно серии ПММА на всех сроках наблюдения.

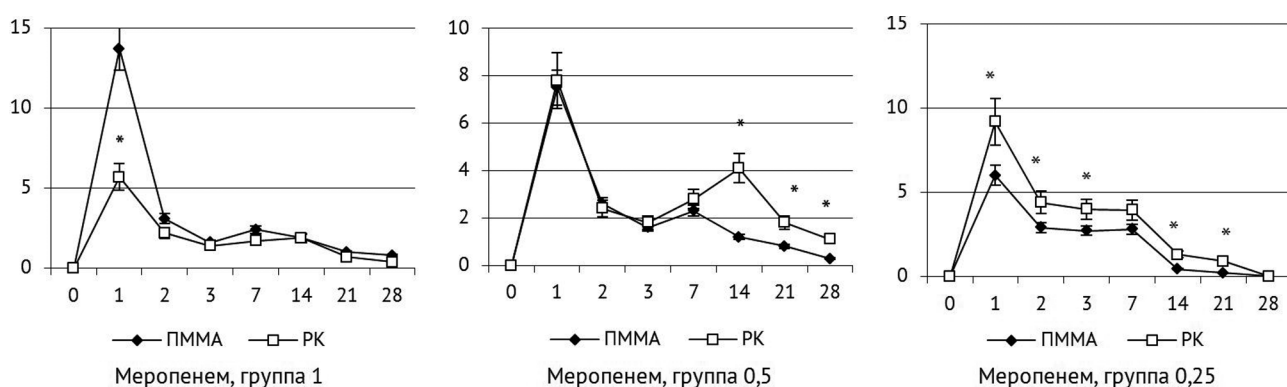


Рис. 3. Динамика высвобождения меропенема (% от общей массы введенного антибиотика) из тестируемых материалов (Ме, интерквартильный размах). * — достоверность различий между сериями при $p < 0,05$. По оси абсцисс — сутки инкубации

Обобщенные результаты кинетики высвобождения изученных антибиотиков в разных концентрациях из материалов ППМА и РК показаны в таблице 1. Обнаружено, что общая длительность высвобождения антибиотиков (L) снижалась при уменьшении в образцах их содержания. При этом общая длительность высвобождения ванкомицина и меропенема была одинакова для групп ПММА и РК. Для цефотаксима в группах 1 и 0,5 более длительно антибиотик выходил из материала серии РК. Однако общий объем (V_0) высвобожденного цефотаксима из ПММА был выше, чем из РК при всех концентрациях.

Для ванкомицина и меропенема суммарный выход из ПММА был в группе 1, тогда как в группах 0,5 и 0,25 больший объем высвобождался из материала серии РК. Для всех серий максимум высвобождающегося объема антибиотиков (Max) отмечен после первых суток инкубации.

Таблица 1

Общие результаты кинетики высвобождения антибиотиков в разных концентрациях из материалов ПММА и РК (Медиана)

Антибиотик	Группа	L, сутки ПММА/РК	V ₀ , % ПММА/РК	Max, сутки (%) ПММА/РК
Цефотаксим	1	56/70	69,2/48,2	1(52,2)/1(11,5)
	0,5	21/28	30,6/25,5	1(25,2)/1(13,8)
	0,25	14/14	39,7/15,8	1(31,6)/1(10,8)
Ванкомицин	1	42/42	52,1/49,5	1(26,5)/1(8,5)
	0,5	35/35	20,8/30,1	1(9,4)/1(4,4)
	0,25	21/21	13,8/33,6	1(7,0)/1(14,7)
Меропенем	1	42/42	25,8/14,3	1(13,7)/1(5,7)
	0,5	28/28	16,5/21,5	1(7,5)/1(7,7)
	0,25	14/14	15,3/23,4	1(5,9)/1(9,1)

Примечание: L — длительность высвобождения антибиотика; V₀ — суммарный объем высвободившегося антибиотика в % относительно всего импрегнированного антибиотика; Max — срок наблюдения (в сутках), когда отмечался максимальный объем высвободившегося антибиотика, и в скобках процент этого высвободившегося антибиотика относительно всего импрегнированного антибиотика

Таким образом, нами показано, что объемы высвобождающихся антибиотиков зависят как от их концентрации в материале, так и от природы самого материала. Для оценки вероятных клинических приложений полученных данных далее нами проведено сопоставление количеств элюированного антибиотика со значениями минимальной подавляющей концентрации (МПК) для основных классов микроорганизмов. Значения МПК взяты из данных «Европейского комитета по определению чувствительности к антимикробным препаратам. Таблицы пограничных значений для интерпретации значений МПК и диаметров зон подавления роста. Версия 13.0, 2023» (https://amrnet.crie.ru/upload/iblock/4c9/od4c56ltfmoaatnkv6d8i1n1r4mg1cj8/v_13.0_Breakpoint_Tables_RU_Translation.pdf). Согласно справочнику для цефотаксима и меропенема по отношению к *Staphylococcus spp.* МПК составляет 4 мг/л, для ванкомицина по отношению к *Staphylococcus spp.* — 2 мг/л, по отношению к *Enterococcus spp.* — 4 мг/л, для меропенема по отношению к *Pseudomonas spp.* — 2 мг/л.

Таблица 2

Сроки сохранения уровня антибиотиков выше значений МПК для разных микроорганизмов в элюатах из изученных материалов

Антибиотик	Группа	<i>Staphylococcus spp.</i> , ПММА/РК	<i>Enterococcus spp.</i> , ПММА/РК	<i>Pseudomonas spp.</i> , ПММА/РК
Цефотаксим	1	7/56	—	—
	0,5	3/7	—	—
	0,25	2/1	—	—
Ванкомицин	1	35/42	14/42	—
	0,5	3/21	1/7	—
	0,25	3/14	1/7	—
Меропенем	1	14/14	—	35/21
	0,5	2/2	—	14/21
	0,25	1/1	—	7/7

Обнаружено, что концентрация цефотаксима, превышающая МПК в отношении *Staphylococcus spp.*, в элюате из образцов серии РК поддерживалась дольше, чем для образцов серии ПММА в группах 1 и 0,5, удерживаясь соответственно 56 и 7 суток (табл. 2). В образцах группы 0,25 концентрация цефотаксима, превышающая МПК, отмечалась в элюате только в течение первых двух суток инкубации в серии ПММА и первых суток в серии с РК. Концентрация в элюате ванкомицина выше МПК в отношении *Staphylococcus spp.* и *Enterococcus spp.* из образцов серии РК поддерживалась дольше, чем в серии с ПММА во всех изученных группах. Концентрация меропенема выше МПК в отношении *Staphylococcus spp.* в элюате из образцов серии РК и ПММА сохранялась в течение одинакового периода. По отношению к *Pseudomonas spp.* МПК была превышена в образцах серии РК в группах 1 и 0,5 и поддерживалась дольше относительно серии ПММА.

ОБСУЖДЕНИЕ

Полученные нами данные позволяют заключить, что объемы высвобождающихся антибиотиков и, соответственно, длительность сохранения МПК в элюатах определяются их содержанием в исходном материале и типом носителя. Показано, что объем элюируемого цефотаксима из материала серии ПММА был выше, чем из материала серии РК при всех концентрациях антибиотика. В свою очередь для ванкомицина и меропенема эта особенность наблюдалась только для образцов группы 1. Для групп 0,5 и 0,25 в серии РК отмечался больший объем высвобождающихся антибиотиков, чем из ПММА. Оценивая такой важный показатель как длительность удержания уровня антибиотиков в элюатах выше значений МПК очевидно, что в серии с РК высвобождение ванкомицина и цефотаксима в эффективной (терапевтической) концентрации было более пролонгировано. На этом фоне к дополнительным критериям в пользу РК можно отнести и то, что пролонгированное сохранение эффективных концентраций происходило на фоне меньшего объема высвободившегося антибиотика, что снижает токсическую нагрузку.

Наши данные для серии с ПММА вполне согласуются с данными других авторов [14]. Однако показатели элюции носителей, которые предлагаются в качестве аналога ПММА, существенно отличаются. Так достаточно вариабельные характеристики в части длительности элюции имеют разрабатываемые системы доставки антибиотиков, где носителем выступают кальций-фосфатные материалы. В частности, варьируя составом данного материала, исследователи добиваются длительности высвобождения антибиотиков в терапевтических объемах (выше значений МПК) от одних [15] до 18–34 суток [16, 17].

Применение искусственных полимеров, в частности сополимера полимолочной и полигликолевой кислоты (PLGA), в качестве носителя выглядит достаточно перспективным за счет того, что материал деградируем, имеет достаточную механическую прочность и может быть использован для создания 3D-моделей замещающего дефекта [18]. Однако имеющиеся исследования демонстрируют, что высвобождение антибиотиков из данного материала в основном происходит в течение первых двух дней [19, 20].

В плане биodeградируемости стоит отметить материалы натурального происхождения. Так, практически полное высвобождение клиндамицина или гентамицина из гидрогеля коллагена человеческого происхождения происходило в течение 18 часов [21]. Использование хитозана в качестве носителя повышает длительность элюции, но её скорость зависела от природы антибиотика: цефотаксим высвобождался в течение 3 суток, гентамицин и линкомицин — 15 [22].

Попытки повышения длительности элюции антибиотиков в терапевтических дозах привело исследователей к разработке материалов комбинированного состава. Так, материал на основе коллагена и гидроксиапатита показал элюцию ванкомицина в течение 28 дней [23], элюция ципрофлоксацина из гидрогеля на основе карбоксиметилрезистентного крахмала и полиакриловой кислоты — 3 суток [24], элюция ампициллина из нанокомпозитов хитозан/крахмал — в течение суток [25].

Разрабатываются и новые потенциальные носители: нанокомпозитные гидрогели, содержащие полиакриламид/декстран, содержащие углеродные квантовые точки [26], гидрогели на основе аспарагиновой кислоты/акриламида [27], ион-содержащие носители [28], молекулярно-импринтированные полимеры, представляющие собой синтетические рецепторы [29].

В целом большинство из текущих исследований представлено работами, в которых попытка получения материалов с характеристиками пролонгированного высвобождения антибиотиков сводилась к поиску оптимальных химических составов. Поэтому достаточно интересным выглядит группа новых материалов, позволяющих регулировать кинетику высвобождения за счет изменения физико-химических параметров носителя. Так, группа авторов показала возможность регулировать скорость элюции антибиотика из оксидных нанотрубок путем модификации размеров этих нанотрубок [30]. Предложены носители, в которых высвобождение антибиотиков регулируется переменным магнитным полем [31]. Разработан гидрогель, скорость высвобождения антибиотиков из которого зависит от pH окружения и наличия в нём свободных радикалов [32].

Представленные данные показывают, что каждый материал имеет свой профиль элюции антибиотика и каждый из них может иметь свои показания, связанные с необходимостью либо пролонгированной элюции действующего вещества (хронический процесс), либо, наоборот, с необходимостью создания «ударной» концентрации в локальном объеме (острый процесс). При этом большая часть используемых и разрабатываемых материалов имеет ограничения по длительности элюции антибиотиков в эффективных концентрациях. В этом плане можно говорить о том, что материал на основе РК в части длительности элюции антибиотиков в терапевтических дозах имеет преимущества. По этому критерию РК соответствует аналогичным разрабатываемым материалам на основе кальций-фосфата.

В целом на основе выполненного исследования применение материала РК выглядит достаточно перспективным для использования в качестве носителя антибиотиков при замещении костных дефектов. При этом возможность достижения дозы высвобождающегося антибиотика выше значений МПК при меньших концентрациях лекарственных средств в материале позволит импрегнировать в состав материала несколько действующих веществ для повышения эффективности антибиотикотерапии. Такие исследования встречаются в литературе [33].

Несомненно, дизайн выполненного исследования имеет ограничения. В частности, проведённые модельные опыты должны быть подтверждены исследованиями на живых объектах, что требует последующих наблюдений.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Таким образом, длительность высвобождения ряда антибиотиков в эффективных концентрациях из материала на основе полимеров полиуретанового ряда выше, чем из материала на основе ПММА. Эти характеристики делают перспективным применение исследуемого изделия для профилактики инфицирования при замещении постостеомиелитических дефектов кости.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Финансирование. Работа выполнена в рамках темы государственного задания на осуществление научных исследований «Разработка временных биорезорбируемых антибактериальных носителей для замещения постостеомиелитических дефектов костей нижних конечностей» (2024–2026 гг.).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Афанасьев А.В., Божкова С.А., Артюх В.А. и др. Применение синтетических заменителей костной ткани при одноэтапном лечении пациентов с хроническим остеомиелитом. *Гений ортопедии*. 2021;27(2):232–236. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-232-236
2. Liu Y, He L, Cheng L, et al. Enhancing Bone Grafting Outcomes: A Comprehensive Review of Antibacterial Artificial Composite Bone Scaffolds. *Med Sci Monit*. 2023;29:e939972. doi: 10.12659/MSM.939972
3. Cara A, Ferry T, Laurent F, Josse J. Prophylactic Antibiofilm Activity of Antibiotic-Loaded Bone Cements against Gram-Negative Bacteria. *Antibiotics* (Basel). 2022;11(2):137. doi: 10.3390/antibiotics11020137
4. Liu Y, Li X, Liang A. Current research progress of local drug delivery systems based on biodegradable polymers in treating chronic osteomyelitis. *Front Bioeng Biotechnol*. 2022;10:1042128. doi: 10.3389/fbioe.2022.1042128
5. Wassif RK, Elkayal M, Shamma RN, Elkheshen SA. Recent advances in the local antibiotics delivery systems for management of osteomyelitis. *Drug Deliv*. 2021;28(1):2392–2414. doi: 10.1080/10717544.2021.1998246
6. Chen P, Chen B, Liu N, et al. Global research trends of antibiotic-loaded bone cement: A bibliometric and visualized study. *Heliyon*. 2024;10(17):e36720. doi: 10.1016/j.heliyon.2024.e36720
7. Тапальский Д.В., Волотовский П.А., Козлова А.И., Ситник А.А. Антибактериальная активность покрытий на основе импрегнированного антибиотиками костного цемента в отношении микроорганизмов с различными уровнями антибиотикорезистентности. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(4):105–110. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-105-110
8. Wall V, Nguyen TH, Nguyen N, Tran PA. Controlling Antibiotic Release from Polymethylmethacrylate Bone Cement. *Biomedicines*. 2021;9(1):26. doi: 10.3390/biomedicines9010026
9. Chen L, Lin X, Wei M, et al. Hierarchical antibiotic delivery system based on calcium phosphate cement/montmorillonite-gentamicin sulfate with drug release pathways. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2024;238:113925. doi: 10.1016/j.colsurfb.2024.113925
10. Jin Y, Liu H, Chu L, et al. Initial therapeutic evidence of a borosilicate bioactive glass (BSG) and Fe₃O₄ magnetic nanoparticle scaffold on implant-associated Staphylococcal aureus bone infection. *Bioact Mater*. 2024;40:148–167. doi: 10.1016/j.bioactmat.2024.05.040
11. Wathoni N, Herdiana Y, Suhandi C, et al. Chitosan/Alginate-Based Nanoparticles for Antibacterial Agents Delivery. *Int J Nanomedicine*. 2024;19:5021–5044. doi: 10.2147/IJN.S469572
12. Балязин-Парфенов И.В., Балязин В.А., Зайцев В.Д. и др. Отдаленные результаты аллокрраниопластики с применением индивидуальных биополимерных остеоинтегрируемых имплантов из материала «Рекост-М». *Российский нейрохирургический журнал имени профессора А. Л. Поленова*. 2024;16(2):6–15. doi: 10.56618/2071-2693_2024_16_2_6. EDN: QCCTXS
13. Колмогоров Ю.Н., Успенский И.В., Маслов А.Н. и др. Костнозамещающие имплантаты из материала «Рекост-М» на основе 3D-моделирования для закрытия посттравматических дефектов черепа: доклинические и клинические исследования. *Современные технологии в медицине*. 2018;10(3):95–103. doi: 10.17691/stm2018.10.3.11
14. Madadi AK, Sohn MJ. Pharmacokinetic Interpretation of Applying Local Drug Delivery System for the Treatment of Deep Surgical Site Infection in the Spine. *Pharmaceutics*. 2024;16(1):94. doi: 10.3390/pharmaceutics16010094
15. Kai KC, Borges R, Pedroni ACF, et al. Tricalcium phosphate-loaded injectable hydrogel as a promising osteogenic and bactericidal teicoplanin-delivery system for osteomyelitis treatment: An in vitro and in vivo investigation. *Biomater Adv*. 2024;164:213966. doi: 10.1016/j.bioadv.2024.213966
16. Mabroum H, Elbaza H, Ben Youcef H, et al. Design of antibacterial apatitic composite cement loaded with Ciprofloxacin: Investigations on the physicochemical Properties, release Kinetics, and antibacterial activity. *Int J Pharm*. 2023;637:122861. doi: 10.1016/j.ijpharm.2023.122861
17. Noukrati H, Hamdan Y, Marsan O, et al. Sodium fusidate loaded apatitic calcium phosphates: Adsorption behavior, release kinetics, antibacterial efficacy, and cytotoxicity assessment. *Int J Pharm*. 2024;660:124331. doi: 10.1016/j.ijpharm.2024.124331

18. Visan AI, Negut I. Development and Applications of PLGA Hydrogels for Sustained Delivery of Therapeutic Agents. *Gels*. 2024;10(8):497. doi: 10.3390/gels10080497
19. Попков А.В., Кононович Н.А., Попков Д.А. и др. Индукция бактерицидной активности разлагаемыми имплантатами. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):596-601. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-596-601. EDN: GFHUED
20. Lan Z, Guo L, Fletcher A, et al. Antimicrobial hydrogel foam dressing with controlled release of gallium maltolate for infection control in chronic wounds. *Bioact Mater*. 2024;42:433-448. doi: 10.1016/j.bioactmat.2024.08.044
21. Jarman E, Burgess J, Sharma A, et al. Human-Derived collagen hydrogel as an antibiotic vehicle for topical treatment of bacterial biofilms. *PLoS One*. 2024;19(5):e0303039. doi: 10.1371/journal.pone.0303039
22. Севостьянов М.А., Федотов А.Ю., Насакина Е.О. и др. Кинетика высвобождения антибиотиков из биodeградируемых биополимерных мембран на основе хитозана. *Доклады Академии наук*. 2015;465(2):194-197. doi: 10.7868/S086956521532016X
23. Sheehy EJ, von Diemling C, Ryan E, et al. Antibiotic-eluting scaffolds with responsive dual-release kinetics facilitate bone healing and eliminate *S. aureus* infection. *Biomaterials*. 2025;313:122774. doi: 10.1016/j.biomaterials.2024.122774
24. Li X, Wei A, Zhao H, et al. A carboxymethyl-resistant starch/polyacrylic acid semi-IPN hydrogel with excellent adhesive and antibacterial properties for peri-implantitis prevention. *Colloids Surf B Biointerfaces*. 2024;242:114082. doi: 10.1016/j.colsurfb.2024.114082
25. Nguyen VN, Wang SL, Nguyen TH, et al. Preparation and Characterization of Chitosan/Starch Nanocomposites Loaded with Ampicillin to Enhance Antibacterial Activity against *Escherichia coli*. *Polymers (Basel)*. 2024;16(18):2647. doi: 10.3390/polym16182647
26. Sahu KM, Biswal A, Manisha U, Swain SK. Synthesis and drug release kinetics of ciprofloxacin from polyacrylamide/dextran/carbon quantum dots (PAM/Dex/CQD) hydrogels. *Int J Biol Macromol*. 2024;269(Pt 2):132132. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2024.132132
27. Wang G, An S, Huang S, et al. Fabrication, optimization, and in vitro validation of penicillin-loaded hydrogels for controlled drug delivery. *J Biomater Sci Polym Ed*. 2024;1-21. doi: 10.1080/09205063.2024.2387953
28. Shi Y, Wang L, Song S, et al. Controllable Silver Release for Efficient Treatment of Drug-Resistant Bacterial-Infected Wounds. *Chembiochem*. 2024;25(16):e202400406. doi: 10.1002/cbic.202400406
29. Galván-Romero V, Gonzalez-Salazar F, Vargas-Berrones K, et al. Development and evaluation of ciprofloxacin local controlled release materials based on molecularly imprinted polymers. *Eur J Pharm Biopharm*. 2024;195:114178. doi: 10.1016/j.ejpb.2024.114178
30. Osak P, Skwarek S, Łukowiec D, et al. Preparation and Characterization of Oxide Nanotubes on Titanium Surface for Use in Controlled Drug Release Systems. *Materials (Basel)*. 2024;17(15):3753. doi: 10.3390/ma17153753
31. Huang Z, Li Y, Yin W, et al. A magnetic-guided nano-antibacterial platform for alternating magnetic field controlled vancomycin release in staphylococcus aureus biofilm eradication. *Drug Deliv Transl Res*. 2024. doi: 10.1007/s13346-024-01667-x
32. Qi H, Wang B, Wang M, et al. A pH/ROS-responsive antioxidative and antimicrobial GelMA hydrogel for on-demand drug delivery and enhanced osteogenic differentiation in vitro. *Int J Pharm*. 2024 Mar;657:124134. doi: 10.1016/j.ijpharm.2024.124134
33. Seidenstuecker M, Hess J, Baghnavi A, et al. Biodegradable composites with antibiotics and growth factors for dual release kinetics. *J Mater Sci Mater Med*. 2024;35(1):40. doi: 10.1007/s10856-024-06809-8

Статья поступила 11.09.2024; одобрена после рецензирования 11.10.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 11.09.2024; approved after reviewing 11.10.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Максим Валерьевич Стогов — доктор биологических наук, доцент, руководитель отдела, stogo_off@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

Александр Леонидович Шастов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, старший научный сотрудник, alshastov@yandex.ru;

Елена Анатольевна Киреева — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ea_tkachuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>;

Наталья Владимировна Тушина — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, ntushina76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>.

Information about the authors:

Maksim V. Stogov — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Department, stogo_off@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

Alexander L. Shastov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Senior Researcher, alshastov@yandex.ru;

Elena A. Kireeva — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, ea_tkachuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>;

Natalya V. Tushina — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, ntushina76@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1322-608X>.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-881-888>

Localization of osteocalcin in bone healing treated by local application of collagen and beta-tricalcium phosphate in rats

Bayan Jabr Hussein✉, Ban A. Ghani

College of Dentistry, University of Baghdad, Baghdad, Iraq

Corresponding author: Bayan Jabr Hussein, medicalresearch79@yahoo.com

Abstract

Introduction Bone repair is a complex and multifaceted process that generally happens naturally unless complicated by situations such as substantial bone defects. The bone healing process is typically divided into three stages: inflammation, repair, and remodeling. Beta-tricalcium phosphate (β -TCP) renowned for its abundant reserves of calcium and phosphorus, easily assimilated by the body. Its exceptional biocompatibility assists in the formation of an absorbable interlinked structure at the injury site, contributing to the advancement of the healing process.

Purpose This study aimed to estimate the effects of a scaffold of collagen/ β -tricalcium phosphate (Coll/ β -TCP) on bone construction to evaluate its latent usage as a bone auxiliary to repair bone defects.

Material and Methods The experiment was performed on 20 adult male albino rats. Four holes were surgically created on each animal, two in each femur; two holes were treated separately with Coll or β -TCP, one hole with their combination. The untreated hole served as a control. Animals were scarified after two- and four-week treatment periods (10 rats for each). Immunohistochemical analysis of bone marrow stromal cells, osteocytes, osteoblasts and osteoclasts using polyclonal antibodies to osteocalcin was performed.

Result Immunohistochemical results discovered strong positive expression of osteocalcin in bone healing in the group of combined treatment (β -TCP and collagen) as compared to other groups. Highly significant differences were seen between the combination of collagen with β -TCP and the control group at both time-points of the experiment.

Discussion The marker osteocalcin is unique to osteoblasts, specifically to osteoblasts that are actively forming new osteoid or remodeling bone. The obtained findings showed that mean values of osteocalcin expression were greater in the experimental groups than in the control group.

Conclusion The combination of collagen with β -TCP showed the greatest efficacy in accelerating bone healing and increasing osteogenic capacity due to increased osteocalcin immunoreactivity.

Keywords: bone defect, collagen, β -TCP, osteocalcin

For citation: Jabr Hussein B, Ghani BA. Localization of osteocalcin in bone healing treated by local application of collagen and beta-tricalcium phosphate in rats. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):881-888. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-881-888

Научная статья

УДК 616.718.4-004.8-089.844-74:577.112:661.635.41:616.71-003.93-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-881-888>



Локализация остеокальцина в процессе заживления костной ткани при местном применении коллагена и бета-трикальцийфосфата у крыс

Bayan Jabr Hussein✉, Ban A. Ghani

College of Dentistry, University of Baghdad, Baghdad, Iraq

Автор, ответственный за переписку: Bayan Jabr Hussein, medicalresearch79@yahoo.com

Аннотация

Введение. Восстановление костной ткани — сложный и многогранный процесс, который происходит естественным образом, если не осложняется значительными дефектами кости. Бета-трикальцийфосфат (β -ТСР) известен своими богатыми запасами кальция и фосфора, легко усваиваемыми организмом. Его исключительная биосовместимость способствует формированию рассасывающейся структуры в зоне повреждения, активизируя процесс заживления.

Цель работы — определение влияния скаффолда из коллагена/ β -трикальцийфосфата (Coll/ β -ТСР) на формирование костной ткани для оценки возможности его дальнейшего использования в качестве вспомогательного средства для возмещения дефектов кости.

Материалы и методы. Эксперимент проведен на 20 взрослых самцах крыс-альбиносов. У каждого животного в условиях операционной создано по два отверстия в каждой бедренной кости; два отверстия обрабатывали отдельно Coll или β -ТСР, одно отверстие — их комбинацией. Необработанное отверстие служило контролем. Скарификацию животных проводили после двух- и четырехнедельного периода лечения (по 10 крыс на каждый). Проведен иммуногистохимический анализ стромальных клеток костного мозга, остеоцитов, остеобластов и остеокластов с помощью поликлональных антител к остеокальцину.

Результаты. Иммуногистохимические результаты выявили сильную положительную экспрессию остеокальцина при заживлении костей в комбинированной группе (β -ТСР и коллаген) по сравнению с другими группами. Высоко значимые различия были обнаружены между группой с комбинацией коллагена с β -ТСР и контрольной группой на обоих сроках эксперимента.

Обсуждение. Маркер остеокальцина уникален для остеобластов, в частности для остеобластов, активно формирующих новый остеоид или ремоделирующих кость. Полученные результаты показали, что экспрессия остеокальцина была выше в опытных группах, чем в контрольной.

Заключение. Комбинация коллагена с β -ТСР показала наибольшую эффективность ускорения заживления костной ткани и увеличения остеогенной способности за счет повышенной иммунореактивности остеокальцина.

Ключевые слова: дефект кости, коллаген, β -ТСР, остеокальцин

Для цитирования: Jabr Hussein B., Ghani BA. Локализация остеокальцина в процессе заживления костной ткани при местном применении коллагена и бета-трикальцийфосфата у крыс. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):881-888. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-881-888. EDN: UZZAIC.

INTRODUCTION

Bone repair is a complex and multifaceted process that generally happens naturally unless complicated by situations such as substantial bone defects. The bone healing process is typically divided into three stages: inflammation, repair, and remodeling [1]. However, the system of healing of bone defect is time intense, and generation of original bone takes place gradually as a result of the size of defects or unbalanced biomechanical possessions, uncomplimentary environment of wound, suboptimal surgical preparation, metabolic aspects, hormones, nutrition, and functional stress [2]. The two primary tissue compartments that make up a bone are called trabecular bone (also known as cancellous or spongy bone) and cortical bone (also known as thick or compact bone). The structural makeup of bone is a combination of inorganic substances like hydroxyapatite and whitlockite with organic collagen nanoparticles [3]. With hydroxyapatite (HA) and within the collagen matrix, there is an existing bone material called whitlockite. It plays a vital role via earlier stages of bone development. It is present in short-range order and is difficult to identify in the bone, when compared to HA mineral that cover 80 % of the bone inorganic phase. It has similar structural analogy with β -tricalcium phosphate (β -TCP), however detailed structural and crystallographic analyses of bone have shown that β -TCP is merely a synthetic analog of bone whitlockite, having the same crystalline structure whereas different chemically. Whitlockite contain magnesium at Ca(IV), Ca(V) positions, and HPO_4^{2-} on a threefold axis in a rhombohedral crystal lattice. Its bio-compatibility, functionality, negative surface charge, mechanical strength, and stability in physiological solvents make it an ideal bone substitute as compared to hydroxyapatite (HA) and β -TCP [4].

Beta-tricalcium phosphate (β -TCP) also called bone ash is a tertiary calcium phosphate $[\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2]$, renowned for its abundant reserves of calcium and phosphorus, easily assimilated by the body. Its exceptional biocompatibility assists in the formation of an absorbable interlinked structure at the injury site, contributing to the advancement of the healing process [5]. β -TCP is widely acknowledged for its ability to support new bone growth and induce bone formation, making it a highly effective material in managing bone defects in orthopedic and maxillofacial surgery [6]. It facilitates the process of bone renewal and gradually disintegrates inside the body, paving the way for the development of new bone tissue, thereby ensuring the effective repair of the injury [7]. Collagen (Coll), a crucial protein naturally synthesized in the body, serves as the primary structural component in the skin, tendons, and bones. Renowned for its favorable biocompatibility and minimal immune response, collagen has been extensively researched for its potential applications in various biomedical products, including cosmetics and pharmaceuticals [8]. Collagen, a reliable biomaterial, has been widely utilized in tissue manufacturing and clinical contexts, serving as an essential component in dental compounds, regeneration of skin templates, and biodegradable conditions. Its usefulness extends to various medical fields, including cardiovascular operation, plastic surgery, orthopedics, urology, neurology, and ophthalmology [9]. When employed as a scaffold, collagen not only provides a structural foundation for cells to adhere to and proliferate, but also impacts cellular activity. Studies have confirmed that collagen-based biomaterials effectively facilitate bone regeneration when inserted into bone defectiveness [10]. Collagen sponge promotes wound healing by allowing blood vessels and fibroblasts from the surrounding tissue to infiltrate the sponge inside and form granulation tissue. Furthermore, the collagen sponge device is required for the healing of dental extraction sockets [11]. Osteocalcin (OCN) serves as an exclusive protein in bones, serving as an indicator of fully developed osteoblast function. This protein acting a crucial role in the process of bone restructuring, the creation of novel bone tissue, and the strengthening of bone minerals [12]. Naturally pro-osteoblastic, or bone-building, osteoblasts secrete osteocalcin and it is believed to have a role in the regulation of the body metabolism. Moreover, calcium ion homeostasis and bone mineralization are related to it [13]. Osteocalcin is a helpful indicator of bone turnover that is especially beneficial for patients who are receiving treatment for bone disease [14]. Serum osteocalcin levels are an indicator of osteoblast activity and bone turnover. Osteoblasts secrete OCN, which has a strong affinity for the bone hydroxyapatite matrix [15]. The primary sources of OCN are chondrocytes, cementoblasts, odontoblasts, mature osteoblasts, and osteocytes. OCN is essential for bone mineralization [16].

Identification of bone marrow mesenchymal stromal cells (BMSCs), firstly by Frieden in 1976 [17], as peri-cytes comprising the hematopoietic niche, which are a group of heterogeneous cells composed of multi-potent stem cells, involving osteo-chondral and adipocyte progenitors [18]. They are forming immunomodulatory ability with niche, which of great clinical significance and are widely explored in biological engineering and the treatment of autoimmune disorders [19, 20]. BMSCs have limited applications because of less well-defined [21], however the traditional RNA sequencing can only obtain the average data of cells, which fail to reflecting cellular heterogeneity [22]. Recently, by lineage tracing and single-cell sequencing, many new subgroups of BMSCs and their roles in normal physiological and pathological conditions have been clarified [17].

Purpose This study aimed to estimate the effects of a scaffold of collagen/ β - tricalcium phosphate (Coll/ β -TCP) on bone construction to evaluate its latent usage as a bone auxiliary to repair the defects of bone.

MATERIALS AND METHODS

Study design

Twenty adult male albino rats weighing approximately 250–350 g and aged 3–4 months were used in this study. Rats were given an intramuscular injection, with a dosage of 50 mg ketamine hydrochloride per 1 ml per kilogram of body weight, combined with 2 % xylazine at a rate of 0.2 ml per kilogram of body weight. Sterile conditions were maintained during the surgical procedure by making an incision on the skin and underlying fascia. Then, reflection was performed to expose the rat femurs. Intrabony holes approximately 3 mm in depth and 2 mm in width were induced in both femurs of each animal (Fig. 1), with intermittent drilling and constant cooling with normal saline using a micro engine that was set at a rotary speed of 2500 rpm. The operation sites were washed with normal saline to remove debris. Then they were subdivided into:

1. Group A (control group); 20 holes were left untreated for spontaneous healing.
2. Group B; 20 holes were filled with collagen.
3. Group C; 20 holes were filled with β -TCP.
4. Group D (20 holes) were filled with combination of Coll and β -TCP material in a ratio of 1:1.

Finally, animals were sacrificed by administering an excessive amount of anesthesia, two and four weeks after surgery (10 rats for each healing interval).

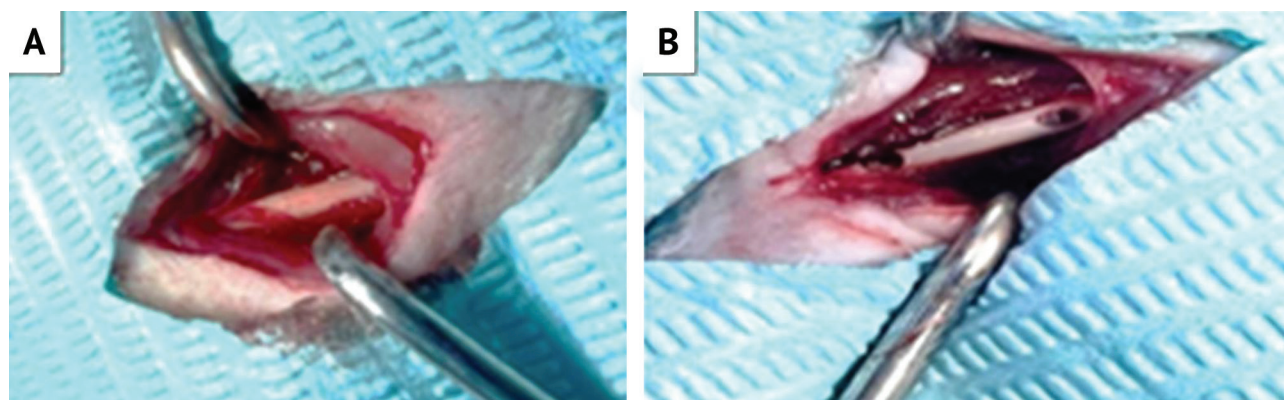


Fig. 1. A: Exposure of rat femur; B: Holes prepared

Immunohistochemical preparation

Collected bone specimens were fixed for 24 hours using 10 % freshly made formalin; then the process of decalcification was done by using 10 % formic acid for 2–3 days; afterwards, they were embedded in paraffin wax. A microtome that operated automatically divided the blocks for serial slices of 4 μ m, which were positioned on charged slide. After immunohistochemical staining, osteocalcin localization by bone cells and bone marrow stromal cells (BMSCs) was analyzed for all collected bone specimens at 2- and 4-weeks.

Statistical analysis

Descriptive analysis of mean, standard deviation (SD), minimum (Min), and maximum (Max) values of the immunoreactive score (IRS) of OCN by bone cells (OB, OC, and OCL) and bone marrow stromal cells (BMSC) at 2- and 4-week duration was done for all investigated groups. Immunohistochemical scoring of OCN. Employing an objective lens with a power of $\times 40$, the procedure was carried out, taking into account scoring systems were used as follows. To estimate the immunostaining of the antibodies, positively stained cells were calculated at 5 representative fields ($\times 40$) for 2- and 4-weeks periods of healing. Within the chosen fields, the percentage of cells that tested positive for OCN was scored and evaluated visually. Calculation of the ratio of stained cells to the total cell count and multiplying it by 100 offers an approximation of the percentage of cells that display positive staining. The scores were: 0 (no stain), 1 (< 25 %), 2 (25–50 %), 3 (> 51–80 %), 4 (> 80 %) stained cells in two sections and scoring the intensity of stain as: 0 (no clear stain), 1 (mild stain), 2 (moderate stain), 3 (intense stain) and calculating the immunoreactive score (IRS), which is obtained by multiplying the of positive cells (0–4) by the staining intensity score, has a range of {0–12} [23].

RESULTS

Immunohistochemical results for expression of osteocalcin after 2 and 4 weeks

Two weeks

Immunohistochemical localization of osteocalcin in the control group showed strong positive expression in osteoblasts, osteocytes and negative staining is evident within the bone (Fig. 2, A). Moderate positive expression of immunohistochemical localization of osteocalcin in collagen group was shown in osteoblasts and osteocytes (Fig. 2, B). In the β -tricalcium phosphate group, immunohistochemical localization of osteocalcin revealed positive expression in osteoblasts, osteocytes and bone marrow stromal cells, with negative expression seen in trabecular bone (Fig. 2, C). Positive immunohistochemical localization of osteocalcin in bone section postoperatively in the combination group was detected in osteocytes and osteoblasts, while trabecular bone had a negative expression (Fig. 2, D).

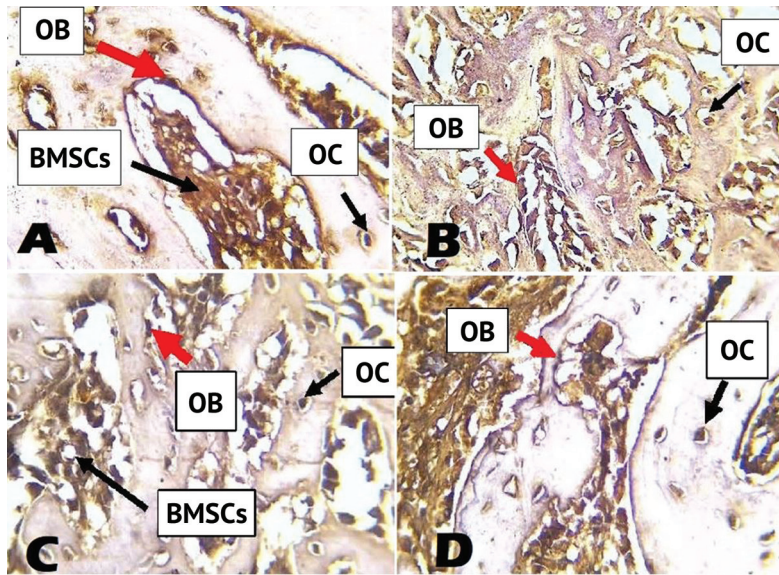


Fig. 2. A: View of the control group after 2 weeks shows positive localization of osteocalcin in osteoblasts (OB), osteocytes (OC) and bone marrow stromal cells (BMSCs); B: Collagen group shows positive expression of OCN after 2 weeks in OBs and OCs; C: Positive localization of osteocalcin in the β -TCP group after 2 weeks is seen in OBs, OCs and BMSCs; D: View of combination group after 2 weeks shows a strong positive expression of osteocalcin in OCs and OBs. (DAB stain with counter stain hematoxylin $\times 40$)

Four weeks

Immunohistochemical localization of osteocalcin antibody in bone sections of the control group showed positive expression in bone marrow stromal cells, osteoblasts, osteocytes; bone was negatively stained (Fig. 3, A). The collagen group revealed positive expression of osteocalcin seen in osteocytes and osteoblasts, negative expression noticed in bone (Fig. 3, B). Positive expression of osteocalcin seen in osteoblasts, osteocytes, bone was negatively stained in β -TCP group (Fig. 3, C). Immunohistochemical localization of osteocalcin in the combination group shows positive expression in osteoblasts and osteocytes (Fig. 3, D).

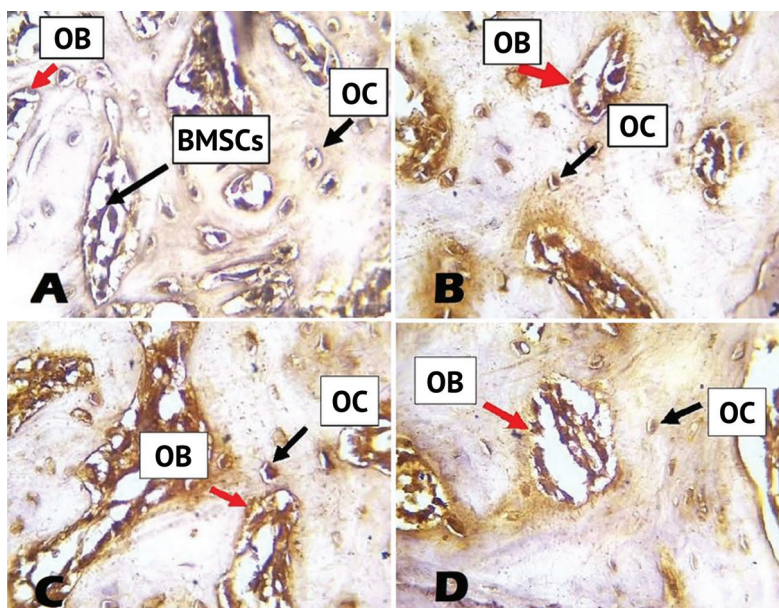


Fig. 3. A: View of the control group after 4 weeks shows strong positive expression of osteocalcin in osteocytes (OC), osteoblasts (OB), bone marrow stromal cells (BMSC); B: View of the collagen group after 4 weeks shows strong positive expression of osteocalcin in OCs and OBs; C: View of the β -TCP group after 4 weeks shows a strong positive expression of osteocalcin in OCs and OBs; D: View of the combination group after 4 weeks shows positive expression of osteocalcin in OCs and OBs. (DAB stain with counter stain hematoxylin $\times 40$)

Descriptive data analysis for percentages of positively expressed bone cells for OCN in the studied groups at 2 and 4 weeks

The descriptive data of mean, SD, minimum and maximum values of the immunoreactive score (IRS) for expression of OCN by bone cells (osteoblasts, osteocytes, osteoclast) and bone marrow stromal cells at 2 and 4 weeks in all studied groups are illustrated in Table 1 and Figure 4. The mean value of IRS of osteocalcin by OB, OC and BMSCs decreased with time in all studied groups, the highest values were detected in the combination group at both time-points. Regarding OCs, increase in mean values of IRS of osteocalcin was seen in all groups and highest values were noticed after 4 weeks in the combination group.

Table 1

Descriptive mean values of IRS of OCN in bone cells and BMSC in the studied groups at 2 and 4 weeks

Variable	Duration	A(Control) group				B (Collagen) group				C (β-TCP) group				D Collagen/ β-TCP (combination) group			
		Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.	Mean	SD	Min.	Max.
Osteoblasts	2 weeks	4.2	0.7	2	5.8	5.1	1.2	3.3	6.2	6	1	3.5	8	8.6	0.9	6.5	10.5
	4 weeks	3.1	0.8	0	4.3	4	0.8	0.8	5.5	5.1	0.6	3.8	7	6	0.7	3	8.8
Osteocytes	2 weeks	2.8	1.2	0	4	3.9	1.1	0	5	4	1.1	1	5.8	5.5	1	4	6.8
	4 weeks	4.5	1.7	1.3	5.3	5.9	1.7	3.5	8	7.1	1.3	3	8	8.2	0.7	6.5	10
Osteoclasts	2 weeks	1	0.6	0	1.5	0.6	1.1	0	3	0.4	0.6	0	1.5	0.2	0.6	0	0.8
	4 weeks	0.45	0.1	0	0.6	0.33	0.05	0	0.5	0.06	0.05	0	0.1	0.04	0.05	0	0.09
BMSCs	2 weeks	5.5	1.8	4	8.3	6.8	1.7	4	8.3	8.2	1.2	4	9.8	9.1	1.3	6	11.5
	4 weeks	4.2	1	3	5.3	4.8	1.4	1.8	5.9	5.9	1.2	1.5	6.5	6.2	1.1	3	8.3

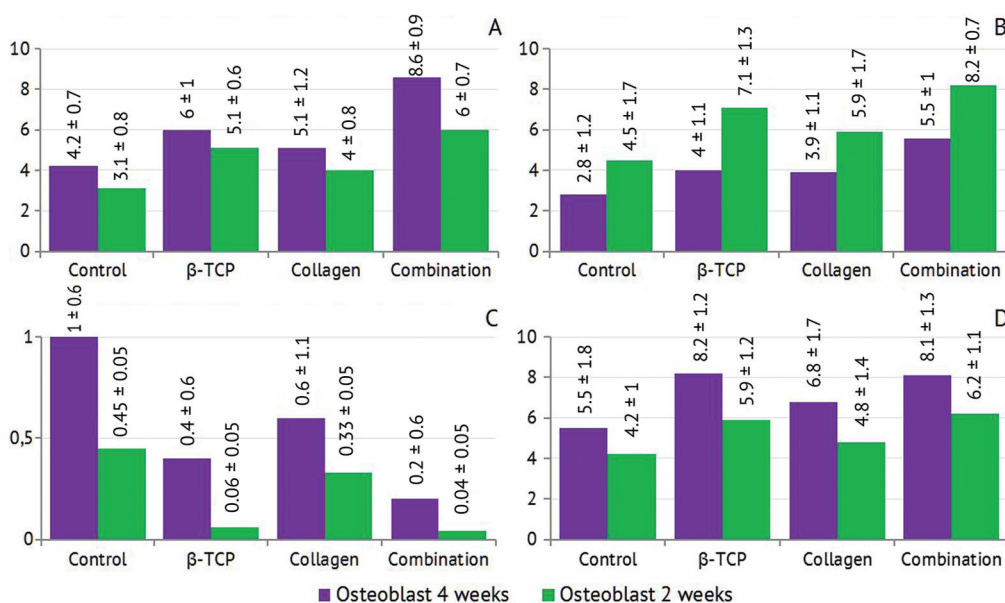


Fig. 4. A: Mean value of IRS for OCN in OB after 2- and 4-weeks healing intervals; B: Mean value of IRS for OCN in OC after 2- and 4-weeks healing intervals; C: Mean value of IRS for OCN in OC after 2- and 4-weeks healing intervals; D: Mean value of IRS for OCN in BMSCs after 2- and 4-weeks healing intervals

Group comparison for bone cells after 2 and 4 weeks

The group comparison of IRS expression of OCN for bone cells (OB, OC, OCL) and BMSCs illustrated in Table 2 using ANOVA test, a highly significant difference was found between all investigated groups at 2 and 4 weeks.

Table 2

Group comparison for bone cells and BMSCs for OCN expression at 2 and 4 weeks

Variable	Duration	Group comparison	
		F test	P value
Osteoblasts	2 weeks	6.256	0.000**
	4 weeks	6.025	0.000**
Osteocytes	2 weeks	4.873	0.003**
	4 weeks	5.719	0.000**
Osteoclasts	2 weeks	5.767	0.000**
	4 weeks	5.016	0.000**
BMSCs	2 weeks	6.124	0.000**

** Highly significant result

DISCUSSION

When there is a loss of bone substance, it is referred to as a bone defect. This can be caused by a variety of congenital disorders, infections, degenerative diseases, trauma, bone tumors, and infections [24]. Bone reconstruction involves the reconfiguration of various bone cells to maintain bone strength and regulate mineral balance in response to environmental adjustments. This complex procedure can be categorized into four phases: initiation, maintenance, reversal, and growth through absorption, carried out by osteoclasts and osteoblasts, respectively [25].

The marker osteocalcin is unique to osteoblasts, specifically to osteoblasts that are actively forming new osteoid or remodeling bone. The obtained findings showed that mean values of IRS of osteocalcin expression were greater in the experimental groups than in the control group, except for OCL where values were greater in the control group at both time-points and that at 2 weeks they were greater than at 4 weeks. This coincides with A.L. Alpan et al. study [26] that showed an early detection of strong positive expression for osteocalcin recorded as new bone matrix and the surrounding region of the resorptive lacunae suggesting active bone matrix production.

Mean values of IRS elevated with the time in osteocytes and this phenomena is in line with P. Sananta et al. study [27] that found that the mean value of positive expression for osteocalcin in osteoblasts reduced, whereas for osteocytes raised at 4 weeks of healing duration in a bony defect in experimental rats.

Immunohistochemical findings for IRS of osteocalcin monoclonal antibodies positive expression was detected in bone cells and BMSCs in both groups with high significant difference which is similar to B.H. Al-Molla et al. study [28] that mentioned osteocalcin expression was strongly positive in the active mitotic osteoblast and progenitor cells in amelogenin and amelogenin-propolis coated implants and negative expression in an uncoated group at one-week interval.

Moreover, the immunohistochemical findings seem to be as same as the conclusions of the survey where the bone defect was treated with *Eucommia ulmoides* [29].

Bone defects treated with Coll/ β -TCP combination have upward mean values of IRS of OCN expression which may indicate an elevating in osteoblasts activity in the early period of bone healing which was noticed at 2 weeks. These were supported by Abeas and Al-Azawy [30] who reported that the experimental group dental cells and their progenitors expressed a strong immunoreaction for osteocalcin, which is crucial for promoting and speeding up bone formation and regeneration through raising the activity of osteogenic cells which is an essential role in the orthodontic treatment.

The findings supported that the osteocalcin-positive osteoblasts and osteocytes indicated greater bone tissue maturity which was significant in the experimental group treated with alendronate as an anti-resorptive drug [31]. Moreover, it was found that immunohistochemical analysis of osteocalcin expression at the bone-implant site showed active osteoblasts scattered during an early bone deposition suggesting that OCN appears to play a part in the early phases of bone formation and that OCN regulates osteoblast activity and acts as a chemotactic agent for osteoclasts [32].

CONCLUSION

The combination of collagen with β -TCP promotes and accelerates the bone defect healing process through raised osteocalcin expression.

Conflict of interest Not declared.

Funding Not declared.

Ethical Approval This work was approved and received a permission from the Ethical Reviewer Board Committee of College of Dentistry, University of Baghdad (No. 429721 in 27 Dec 2021).

REFERENCES

1. Othman Jassim H, Al-Ghaban NMH. Effect of *Eucommia Ulmoides* on Healing of Bone Defect Using Histological and Histomorphometric Analysis in Rat: in vivo Study. *Arch Razi Inst.* 2023;78(2):651-657. doi: 10.22092/ARI.2022.359483.2434
2. Majeed SS, Ghani BA. Effect of topical application of flavonoids extract of *Hibiscus sabdariffa* on experimentally induced bone defect. *J Bagh Coll Dent.* 2018;30(1):33-38. doi: 10.12816/0046309
3. Mohamed IF, Ghani BA, Fatalla AA. Histological Evaluation of the Effect of Local Application of *Punica granatum* Seed Oil on Bone Healing. *Int J Biomater.* 2022;2022:4266589. doi: 10.1155/2022/4266589
4. Batool S, Liaqat U, Babar B, Hussain Z. Bone whitlockite: synthesis, applications, and future prospects. *J. Korean Ceram. Soc.* 2021;58(5):530-547. doi: 10.1007/s43207-021-00120-w
5. Mohseni M, Jahandideh A, Abedi G, et al Assessment of tricalcium phosphate/collagen (TCP/collagene) nanocomposite scaffold compared with hydroxyapatite (HA) on healing of segmental femur bone defect in rabbits. *Artif Cells Nanomed Biotechnol.* 2018;46(2):242-249. doi: 10.1080/21691401.2017.1324463

6. AL-Mashhadi ZAj, AL-Ghaban NMH. Local Evaluation of Chitosan and B-Tricalcium Phosphate Alone and Combination in Bone Defect of Rabbit by Histological and Histomorphometric Analysis. *J Res Med Dent Sci.* 2022;10(9):171-178.
7. Rejab AF, Minwah BS, Ameen YA. Histological evaluation for the use of β -tricalcium phosphate as a bone substitute in accelerating bone healing: an experimental study on rabbits. *Al-Rafidain Dental Journal.* 2014;14(2):205-211. doi: 10.33899/RDEN.2014.160900
8. Gelse K, Pöschl E, Aigner T. Collagens--structure, function, and biosynthesis. *Adv Drug Deliv Rev.* 2003;55(12):1531-1546. doi: 10.1016/j.addr.2003.08.002
9. Wang H. A Review of the Effects of Collagen Treatment in Clinical Studies. *Polymers (Basel).* 2021;13(22):3868. doi: 10.3390/polym13223868
10. Klimek K, Ginalska G. Proteins and Peptides as Important Modifiers of the Polymer Scaffolds for Tissue Engineering Applications-A Review. *Polymers (Basel).* 2020;12(4):844. doi: 10.3390/polym12040844
11. Kuroyanagi Y, Suzuki R, Kuroyanagi M. Design of Collagen-Based Sponge Device for Use in Oral Surgery. *Open Journal of Regenerative Medicine.* 2021;10(3):31-49. doi: 10.4236/ojrm.2021.103003
12. Ferron M, Lacombe J. Regulation of energy metabolism by the skeleton: osteocalcin and beyond. *Arch Biochem Biophys.* 2014;561:137-46. doi: 10.1016/j.abb.2014.05.022
13. Lee NK, Sowa H, Hinoi E, et al. Endocrine regulation of energy metabolism by the skeleton. *Cell.* 2007;130(3):456-469. doi: 10.1016/j.cell.2007.05.047
14. Pittas AG, Harris SS, Eliades M, et al. Association between serum osteocalcin and markers of metabolic phenotype. *J Clin Endocrinol Metab.* 2009;94(3):827-832. doi: 10.1210/jc.2008-1422
15. Lee AH, Huttenlocker AK, Padian K, Woodward HN. Analysis of Growth Rates. In: Padian K, Lamm E-T, eds. *Bone histology of fossil tetrapods: advancing methods, analysis, and interpretation.* Berkeley: University of California Press; 2013:217-251.
16. Smane L, Pilmene M. Osteopontin, osteocalcin, and osteoprotegerin expression in human tissue affected by cleft lip and palate. *SHS Web Conf.* 2016;30. doi: 10.1051/shsconf/20163000008
17. Gao Q, Wang L, Wang S, et al. Bone Marrow Mesenchymal Stromal Cells: Identification, Classification, and Differentiation. *Front Cell Dev Biol.* 2022;9:787118. doi: 10.3389/fcell.2021.787118
18. Wolock SL, Krishnan I, Tenen DE, et al. Mapping Distinct Bone Marrow Niche Populations and Their Differentiation Paths. *Cell Rep.* 2019;28(2):302-311.e5. doi: 10.1016/j.celrep.2019.06.031
19. Amini AR, Laurencin CT, Nukavarapu SP. Bone tissue engineering: recent advances and challenges. *Crit Rev Biomed Eng.* 2012;40(5):363-408. doi: 10.1615/critrevbiomedeng.v40.i5.10
20. Laranjeira P, Pedrosa M, Pedreiro S, et al. Effect of human bone marrow mesenchymal stromal cells on cytokine production by peripheral blood naive, memory, and effector T cells. *Stem Cell Res Ther.* 2015;6(1):3. doi: 10.1186/scrt537
21. Azadniv M, Myers JR, McMurray HR, et al. Bone marrow mesenchymal stromal cells from acute myelogenous leukemia patients demonstrate adipogenic differentiation propensity with implications for leukemia cell support. *Leukemia.* 2020;34(2):391-403. doi: 10.1038/s41375-019-0568-8
22. Tang X, Huang Y, Lei J, et al. The single-cell sequencing: new developments and medical applications. *Cell Biosci.* 2019;9:53. doi: 10.1186/s13578-019-0314-y
23. Fedchenko N, Reifnath J. Different approaches for interpretation and reporting of immunohistochemistry analysis results in the bone tissue - a review. *Diagn Pathol.* 2014;9:221. doi: 10.1186/s13000-014-0221-9
24. Alsaeed MA, Al-Ghaban NMH. Chitosan Nanoparticle/Simvastatin for Experimental Maxillary Bony Defect Healing: A Histological and Histomorphometrical Study. *Biomimetics (Basel).* 2023;8(4):363. doi: 10.3390/biomimetics8040363
25. AL-Ghaban NMH, Jasem GH. Histomorphometric evaluation of the effects of local application of red clover oil (*Trifolium pratense*) on bone healing in rats. *J Bagh College Dentistry.* 2020;32(2):26-31. doi: 10.26477/jbcd.v32i2.2891
26. Alpan AL, Toker H, Ozer H. Ozone Therapy Enhances Osseous Healing in Rats With Diabetes With Calvarial Defects: A Morphometric and Immunohistochemical Study. *J Periodontol.* 2016;87(8):982-889. doi: 10.1902/jop.2016.160009
27. Sananta P, Dradjat RS, Rosandi RD, Sugiarto MA. Bone tissue engineering application on fracture healing with bone defect as assessed through osteocalcin and bone morphogenetic protein-2 (BMP-2) biomarker examination: experimental study on murine models. *F1000Research.* 2022;11:596. doi: 10.12688/f1000research.110867.1
28. Al-Molla BH, Al-Ghaban NM, Taher A. In Vivo Immunohistochemical investigation of Bone Deposition at Amelogenin Coated Ti Implant Surface. *Smile Dental Journal.* 2014;9(1). doi: 10.12816/0008316
29. Jassim HO, AL-Ghaban NMH. Evaluation of Local Application of *Eucommia Ulmoides* Extract on Bone Healing in Rats by Histomorphometrically and Immunohistochemical Study on Osteocalcin. *Autoref. M.Sc. College of Dentistry, University of Baghdad.* 2022. Available at: <https://codental.uobaghdad.edu.iq/wp-content/uploads/sites/14/2022/11/%D8%AD%D9%8A%D8%AF%D8%B1-%D8%B9%D8%AB%D9%85%D8%A7%D9%86-%D8%AC%D8%A7%D8%B3%D9%85.pdf>. Accessed Oct 15, 2024.
30. Abeas KA, Al-Azawy AM. Immunohistochemical Evaluation of Osteocalcin Expression with Application of LIPUS During Relapse Phase of Orthodontic Therapy. *J University of Babylon.* 2017;25(2):620-629.
31. Ramalho-Ferreira G, Faverani LP, Momesso GAC, et al. Effect of antiresorptive drugs in the alveolar bone healing. A histometric and immunohistochemical study in ovariectomized rats. *Clin Oral Investig.* 2017;21(5):1485-1494. doi: 10.1007/s00784-016-1909-x
32. Al-Ghani B, Al-Hijazi A, AL-Zubaydi T. In vivo immunohistochemical investigation of bone deposition at collagen-coated Ti implant surface. *J Bagh Coll Dent.* 2011;23:10-15. doi: 10.12816/0008316

The article was submitted 19.08.2024; approved after reviewing 10.09.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Статья поступила 19.08.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 21.10.2024.

Information about the authors:

Bayan Jabr Hussein — PhD, Assistant Professor, Lecturer, medicalresearch79@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0007-5944-3868>;

Ban A. Ghani — PhD, Professor, Head of Department, drban871961@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0000-7542-3858>.

Научная статья

УДК 616.727.8-002-77-089.843: 666.7

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-889-896>

Оригинальная модель гемизндопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии

В.В. Скребцов^{1✉}, В.Г. Процко^{1,2}, А.В. Скребцов¹, С.К. Тамоев¹, В.К. Никитина¹

¹ Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владимир Владимирович Скребцов, Skrebtsov@mail.ru

Аннотация

Введение. «Золотым стандартом» лечения остеоартрита первого плюснефалангового сустава 3–4 стадий является его артродез. Однако ограничение движений в суставе приводит к изменению биомеханики стопы, перегрузке смежных суставов и сопровождается снижением активности, что особенно актуально для молодых пациентов. Предлагаемые на рынке суставозамещающие импланты первого плюснефалангового сустава имеют ряд недостатков, что послужило причиной разработки оригинальной модели гемизндопротеза первого плюснефалангового сустава.

Цель работы — демонстрация оригинальной модели гемизндопротеза первого плюснефалангового сустава и способа его установки для лечения пациентов с hallux rigidus 3–4 стадии.

Материалы и методы. Гемизндопротез выполнен из циркониевой керамики. Головка гемизндопротеза изготовлена с низким профилем. Ножка импланта в сечении имеет четырёхлопастную форму, что обеспечивает ротационную стабильность гемизндопротеза. Установку гемизндопротеза производят с помощью специально разработанного инструментария. Представлен клинический случай лечения пациента 74 лет с диагнозом: «Остеоартрит первого плюснефалангового сустава 3 стадии».

Результаты. Анкетирование пациента до и через 24 месяца после лечения: AOFAS Hallux — 28 и 95 баллов, ВАШ — 9 и 0 баллов, FFI — 112 и 6 баллов соответственно. Объём движений в суставе (разгибание/сгибание) в предоперационном периоде составил 0°–0°–5°, через 24 мес. — 60°–0°–15°. Результаты динамической педобарографии позволяют сделать вывод о восстановлении физиологического распределения давления в стопе в послеоперационном периоде.

Обсуждение. Первые предложенные варианты суставозамещающих имплантов первого плюснефалангового сустава представлены моделями тотальных эндопротезов из силикона и металлических сплавов. Однако при их установке возникает необходимость резекции значительного количества костной ткани, описаны случаи нестабильности компонентов эндопротеза. Более щадящим является метод гемизндопротезирования данного сустава. Однако использование имплантов из металлических сплавов проявляется агрессивным воздействием на противоположную суставную поверхность. Гемизндопротезирование первого плюснефалангового сустава имплантом из циркониевой керамики позволяет минимизировать риск возникновения этих осложнений.

Заключение. Гемизндопротезирование первого плюснефалангового сустава с использованием импланта из циркониевой керамики оригинальной модели показало эффективность при лечении пациентов с hallux rigidus 3–4 стадии. Продемонстрированная методика является хорошей альтернативой артродезу данного сустава.

Ключевые слова: остеоартрит, hallux rigidus, гемизндопротезирование, циркониевая керамика

Для цитирования: Скребцов В.В., Процко В.Г., Скребцов А.В., Тамоев С.К., Никитина В.К. Оригинальная модель гемизндопротеза первого плюснефалангового сустава и способ его установки при лечении Hallux rigidus 3–4 стадии. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):889-896. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-889-896. EDN: OSJVZN.



Original first metatarsophalangeal hemiarthroplasty and installation technique in treatment of grade 3–4 hallux rigidus

V.V. Skrebtsov^{1✉}, V.G. Protsko^{1,2}, A.V. Skrebtsov¹, S.K. Tamoev¹, V.K. Nikitina¹

¹ Yudin City Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

² Peoples' Friendship University of Russia named after Patrice Lumumba, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Vladimir V. Skrebtsov, Skrebtsov@mail.ru

Abstract

Introduction Arthrodesis is the “gold standard” for the treatment of stage 3–4 osteoarthritis of the first metatarsophalangeal (MTP) joint. However, restricted movements in the joint can lead to changes in the biomechanics of the foot overloading the adjacent joints and are accompanied by decreased activity which is important for younger patients. The available implants of the first MTP joint have some disadvantages and an original hemiarthroplasty of the first MTP joint was developed.

The **objective** was to demonstrate an original technique of hemiarthroplasty of the first MTP joint and installation to treat stage 3–4 hallux rigidus.

Material and methods The hemiendoprosthesis is made of zirconium ceramics. The head of the hemiendoprosthesis is made with a low profile. The cross-section of the stem has a four-bladed shape to ensure rotational stability of the implant. The hemiendoprosthesis can be placed using specially designed instruments. A case of a 74-year-old patient diagnosed with stage 3 osteoarthritis of the first MTP joint is reported.

Results AOFAS Hallux scored 28 and 95, VAS scored 9 and 0 and FFI scored 112 and 6 preoperatively and at 24 months, respectively. The range of motion in the joint (extension/flexion) measured 0°–0°–5° preoperatively and 60°–0°–15° at 24 months. The dynamic pedobarography indicated to the physiological distribution of pressure in the foot being restored postoperatively.

Discussion The first implants offered to replace first MTP joint were made of silicone and metal alloys and total joint arthroplasty was associated with significant resection of bone tissue; cases of endoprosthetic instability were reported. Hemiarthroplasty appeared to be a sparing technique. However, implants made of metal alloys could have an aggressive effect on the opposite articular surface. Hemiarthroplasty of the first MTP joint using a zirconium ceramic implant could minimize the risk of the complications.

Conclusion Hemiarthroplasty of the first MTP joint using an original zirconium ceramic implant was shown to be effective for patients with stage 3–4 hallux rigidus. The technique reported can be a good alternative to arthrodesis of MTP joint.

Keywords: osteoarthritis, rigid finger, hemiarthroplasty, zirconium ceramics

For citation: Skrebtsov VV, Protsko VG, Skrebtsov AV, Tamoev SK, Nikitina VK. Original first metatarsophalangeal hemiarthroplasty and installation technique in treatment of grade 3–4 hallux rigidus. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):889–896. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-889-896

ВВЕДЕНИЕ

Hallux rigidus — состояние, которое характеризуется дегенеративно-дистрофическими изменениями в первом плюснефаланговом суставе, проявляется болевым синдромом и ограничением движений в суставе. При хирургическом лечении больных с остеоартритом 1–2 стадий выполняют суставосберегающие методики, позволяющие достичь хороших результатов. При лечении больных с остеоартритом далеко зашедших стадий «золотым стандартом» лечения является замыкание первого плюснефалангового сустава [1]. Однако, несмотря на широкое распространение и невысокую стоимость, данный метод лечения имеет свои недостатки: прогрессирующий перегрузочный остеоартрит смежных суставов, в частности межфалангового сустава, неудовлетворительный результат у пациентов молодого возраста, ограничение некоторых видов активности. С целью исключения данных осложнений в последнее время специалисты уделяют большое внимание оперативным вмешательствам, направленным на сохранение движений в данном суставе.

В публикации представлено описание методики гемизэндопротезирования первого плюснефалангового сустава оригинальным керамическим гемизэндопротезом [2].

Цель работы — демонстрация оригинальной модели гемизэндопротеза первого плюснефалангового сустава и способа его установки для лечения пациентов с hallux rigidus 3–4 стадии.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Описание модели гемизэндопротеза

Гемизэндопротез выполнен из циркониевой керамики, стабилизированной иттрием. Данный материал обладает наилучшим коэффициентом трения и смачивания, отличается высокой прочностью и трещиностойкостью, является наиболее щадящим по отношению к суставному хрящу, биоинертен и обладает свойством остеоинтеграции [3–6].

Имплант состоит из головки и ножки. Головка гемизэндопротеза выполнена в виде сферы и близка к анатомической форме головки первой плюсневой кости. Артикулирующая поверхность — гладкая с уровнем шероховатости $Ra \sim 0,02$ мкм, что соответствует 13 классу шероховатости и обеспечивает оптимальные характеристики пары трения «керамика – хрящ», поэтому функциональность гемизэндопротеза остается высокой на протяжении длительного времени эксплуатации. Низкий профиль головки гемизэндопротеза позволяет минимизировать резекцию поражённой части головки первой плюсневой кости, что позволяет обеспечить стабильность гемизэндопротеза и сохранить костную массу для ревизионных вмешательств в случае возможных осложнений. На тыльной стороне головки импланта выполнены продольные и поперечные канавки, которые предназначены для увеличения площади контакта и последующего ускорения образования участков остеоинтеграции.

Ножка импланта имеет четырёхлопастную форму, благодаря которой обеспечивается стабильность фиксации гемизэндопротеза в метафизарной части первой плюсневой кости за счёт press-fit установки и увеличенной площади контакта на границе имплант – кость. Уровень шероховатости ножки составляет $Ra \sim 1,5$ – $2,5$ мкм, что способствует оптимальному врастанию, обеспечивая прочное и надежное соединение между имплантом и тканями организма. Данная форма ножки гемизэндопротеза позволяет обеспечить максимальную ротационную стабильность гемизэндопротеза и минимизировать костный дефект при формировании канала в метафизарной части плюсневой кости.

Размерный ряд гемизэндопротеза представлен четырьмя вариантами, позволяющими выполнить оперативное вмешательство при различном диаметре плоскости костного опиления головки.

Методика выполнения оперативного вмешательства

Положение пациента — на спине. Производят трёхкратную обработку операционного поля растворами антисептиков. Медиальным доступом выполняют артротомию первого плюснефалангового сустава. Осцилляторной пилой производят резекцию костно-хрящевых экзостозов и выполняют мягкотканый релиз первого плюснефалангового сустава и сесамовидного гамака. С помощью опилового блока оригинальной модели выполняют резекцию пораженного участка суставной поверхности головки первой плюсневой кости (рис. 1).

Отдельное внимание стоит уделить величине резекции головки. Основываясь на опыте проведения данных оперативных вмешательств, мы рекомендуем выполнять резекцию до кровоснабжаемой губчатой костной ткани. Установка гемизэндопротеза в склерозированную головку первой плюсневой кости может привести к её растрескиванию при формировании канала для ножки и худшей остеоинтеграции импланта.

На плоскость остеотомии плюсневой кости устанавливают тестовый шаблон оригинальной модели, позволяющий оценить необходимый размер гемизэндопротеза, предполагаемый объём движений в суставе и достаточность укорочения плюсневой кости.

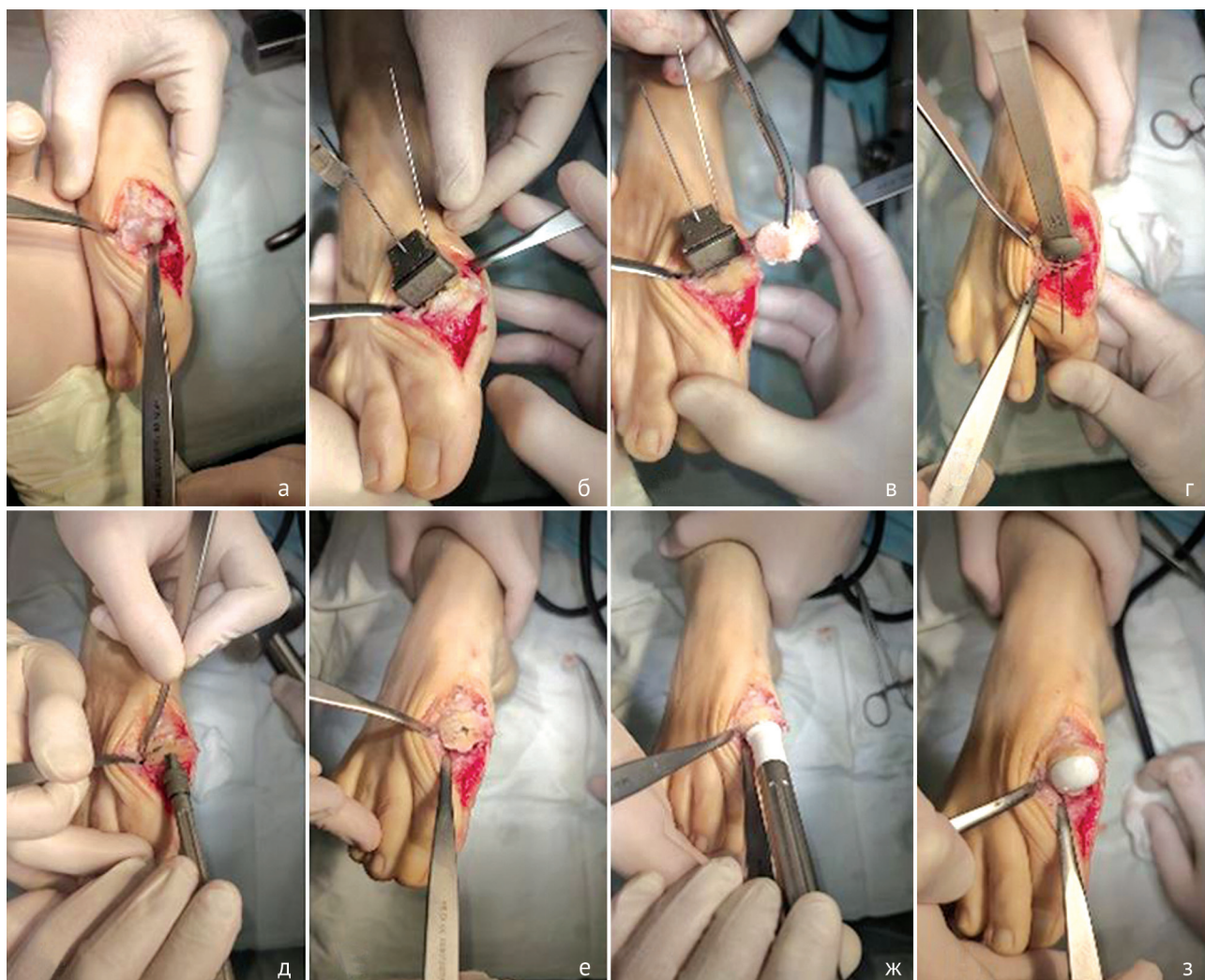


Рис. 1. Интраоперационные фото хода операции: а — интраоперационная оценка состояния суставной поверхности, б — установка опилового шаблона, в — резекция суставной поверхности, г — определение размера импланта с помощью тестового шаблона, д, е — подготовка канала компрессором, ж — установка гемиендопротеза, з — установленный гемиендопротез

В случае необходимости большего укорочения плюсневой кости опилочный блок переставляют проксимально и производят дополнительную резекцию костной ткани до достижения необходимого объема движений. За достаточный объем движений в плюснефаланговом суставе принимают интраоперационный объем движений: разгибание/сгибание 60° – 0° – 15° . Далее через направляющую в тестовом шаблоне проводят направляющую спицу. По ней с помощью компрессоров двух размеров (стартового и финишного) выполняют подготовку канала для ножки гемиендопротеза. С помощью импактора оригинальной модели производят press-fit установку гемиендопротеза и повторную оценку объема движения в суставе. Рану обрабатывают растворами антисептиков и послойно ушивают, накладывают асептическую повязку.

Клинический пример

Пациент 74 лет обратился с жалобами на боль в проекции первого плюснефалангового сустава правой стопы, усиливающуюся во время физической активности и ограничение движения в нём. Считает себя больным на протяжении многих лет, отмечает отрицательную динамику состояния. Последние два года предъявляет жалобы на постоянный характер болевого синдрома. В анамнезе отрицает травмы правой стопы. Ранее пациент проходил курсы консервативной противовоспалительной терапии, использовал индивидуальные ортопедические стельки, однако улучшения состояния отмечено не было.

При физикальном осмотре определяются выраженные твёрдотканые образования в проекции первого плюснефалангового сустава правой стопы. Пальпация сустава болезненна. Движения в плюснефаланговом суставе резко ограничены и болезненны. Объем движений в первом плюснефаланговом суставе в предоперационном периоде составил: разгибание/сгибание 0° – 0° – 5° . На рентгенограммах обеих стоп в прямой проекции видны выраженные костно-хрящевые экзостозы в проекции сустава, отмечены значительное сужение суставной щели, субхондральный склероз.



Рис 2. Фото и рентгенограмма правой стопы до оперативного вмешательства: определяются выраженные костно-хрящевые экзостозы в проекции первого плюснефалангового сустава, рентгенологически — сужение и неравномерность суставной щели, субхондральный склероз

При тестировании пациента до операции по шкале AOFAS Hallux получено 28 баллов, по шкале ВАШ — 9 баллов, по шкале FFI (Foot Function Index) — 112 баллов.

Согласно результатам динамической педобарографии определены патологическое распределение давления в процессе ходьбы, уменьшение максимального давления и силы в заднем отделе стопы. При этом отмечены значительное увеличение максимального давления и силы в её переднем отделе, высокие значения максимального давления под головками 4 и 5 плюсневых костей (рис. 3).

Пациенту установлен диагноз: остеоартрит первого плюснефалангового сустава правой стопы 3 стадии.



Рис. 3. Результаты динамической педобарографии до проведенного лечения: определяется значительное увеличение показателей максимального давления в переднем отделе стопы. Зеленая индексация — первая плюсневая кость — 714 кПа, желтая индексация — вторая плюсневая кость — 586 кПа, фиолетовая индексация — третья плюсневая кость — 617 кПа, оранжевая индексация — четвертая плюсневая кость — 499 кПа

РЕЗУЛЬТАТЫ

Во время консультативного приёма с пациентом оговорены возможные варианты лечения, включая артродез первого плюснефалангового сустава. Однако пациент принял решение о выборе тактики лечения, направленной на сохранение движений поражённого сустава.

Выполнено оперативное вмешательство: гемизндопротезирование первого плюснефалангового сустава правой стопы по описанной выше методике.

Послеоперационные мероприятия включали раннюю активизацию пациента с активной разработкой движений в оперированном плюснефаланговом суставе со следующего дня после оперативного вмешательства. Разрешена ходьба в ботинке Барука в течение 1 мес. Послеоперационный период протекал без особенностей.

На момент контрольного осмотра через 24 мес. после оперативного вмешательства пациент жалоб не предъявлял. Послеоперационные рубцы — чистые, без признаков воспаления (рис. 4). Пальпация в проекции сустава безболезненна. Объём движений в первом плюснефаланговом суставе составил: разгибание/сгибание 60°–0°–15° (рис. 5). Результат опросника AOFAS Hallux — 95 баллов, шкалы ВАШ — 0 баллов, согласно шкале FFI — 6 баллов.



Рис. 4. Фото и рентгенограмма стопы через 24 мес. после проведенного лечения: ось первого пальца корректна, рентгенологически признаков нестабильности гемизэндопротеза не определено



Рис. 5. Объем движений в первом плюснефаланговом суставе через 24 месяца после проведенного лечения; объем движений: разгибание/сгибание 60° – 0° – 15°

Результаты динамической педобарографии через 24 мес. после проведенного лечения позволяют сделать вывод об изменении походки пациента в сравнении с предоперационным периодом. Отмечено увеличение максимального давления и силы в заднем отделе стопы, снижение времени контакта и максимального давления в среднем отделе стопы. Полученные значения позволяют сделать вывод о восстановлении физиологического распределения давления в стопе в послеоперационном периоде, что подтверждается показателем индекса RMI [7] (рис. 6).

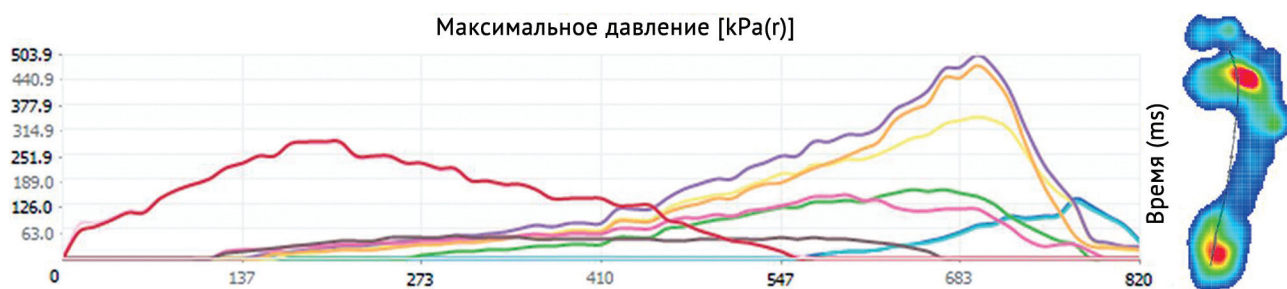


Рис. 6. Результаты динамической педобарографии через 24 месяца после проведенного лечения: определяется увеличение показателей максимального давления в заднем отделе, снижение максимального давления в переднем отделе стопы. Зеленая индексация — первая плюсневая кость — 184 кПа, желтая индексация — вторая плюсневая кость — 356 кПа, фиолетовая индексация — третья плюсневая кость — 503 кПа, оранжевая индексация — четвертая плюсневая кость — 477 кПа

ОБСУЖДЕНИЕ

На рынке представлен широкий ассортимент имплантов, которые различаются по философии, компоновке и строению [8].

Наиболее традиционным и одним из первых предложенных вариантов суставозамещающих имплантов являются модели тотальных эндопротезов первого плюснефалангового сустава [8]. Первое и второе поколения тотальных эндопротезов представляют собой силиконовые импланты, которые, несмотря на достаточно высокий процент осложнений, позволяют достичь удовлетворительных долгосрочных результатов [9]. Импланты более поздних поколений выполнены как из металлических сплавов, так и других материалов [10]. Одним из наиболее часто встречаемых имплантов является тотальный эндопротез Toefit-Plus, имплант 4 поколения, выполненный из титана и состоящий из конусообразной ножки и полиэтиленового вкладыша. Бесцементная фиксация данного импланта происходит за счет самонарезающейся резьбы, расположенной на ножке импланта. Согласно данным литературы, как краткосрочные, так и долгосрочные результаты позволяют сделать вывод об эффективности методики с применением данного эндопротеза [11, 12]. Помимо титановых имплантов на сегодняшний день используют тотальные эндопротезы, выполненные из циркониевой керамики. Однако отдаленные результаты использования таких имплантов неоднозначны и требуют дальнейшего изучения [13].

При установке тотального эндопротеза первого плюснефалангового сустава возникает необходимость резекции значительного количества костной ткани. В случае нестабильности проксимального компонента эндопротеза это может вызвать необходимость проведения сложных костно-пластических оперативных вмешательств, направленных на замещение костного дефекта первой плюсневой кости. Описана высокая встречаемость нестабильности дистального компонента эндопротеза [11]. Также данное осложнение часто встречается при использовании гемизендопротезов основания проксимальной фаланги первого пальца. Одной из причин неудовлетворительных результатов при установке этой разновидности гемизендопротезов является значительное повреждение суставного хряща на головке плюсневой кости [14].

Еще одним вариантом лечения hallux rigidus является гемизендопротезирование головки плюсневой кости. Данный метод лечения является более патогенетически обоснованным, поскольку при остеоартрите первого плюснефалангового сустава наиболее часто дегенеративно изменена суставная поверхность головки плюсневой кости [15]. Также преимуществом замены её суставной поверхности является возможность выполнения декомпрессии в суставе за счёт дозированного укорочения головки плюсневой кости, что используют и в других хирургических техниках [16, 17]. Наиболее распространённой моделью имплантов данного вида является HemiCAP, который представлен несколькими генерациями. Результаты применения данного импланта широко описаны в литературе [18].

Недостатком их применения является агрессивное воздействие титана на противоположную суставную поверхность. N. Galambor et al. представили результаты гистологических исследований, выполненных во время двух ревизионных оперативных вмешательств после гемизендопротезирования основной фаланги первого пальца титановыми имплантами по поводу нестабильности [19]. Их результаты продемонстрировали возникновение металлоза, что свидетельствует о деструкции импланта. Также в литературе имеются данные о выраженных изменениях противоположной суставной поверхности вследствие износа, вызванного агрессивным воздействием металлического импланта на хрящ [14].

Методика гемизендопротезирования первого плюснефалангового сустава керамическим имплантом выполняется нами с 2021 г. За данный период выполнено более 40 оперативных вмешательств у пациентов с hallux rigidus 3–4 стадии. На данную технологию получен патент на изобретение [2].

Результаты динамической педобарографии в предоперационном периоде позволяют сделать вывод, что походка имела анталгический характер и направлена на уменьшение объёма движений, а именно разгибания, в первом плюснефаланговом суставе в сагиттальной плоскости. Ограничение разгибания в первом плюснефаланговом суставе вызывает увеличение максимального давления в переднем отделе стопы как под головкой первой плюсневой кости, так и под головками малых лучей. Данные изменения соответствуют «low-gear» перекаату, который осуществляется через косую ось, соединяющую вторую и пятую плюсневую кости [20]. Данный перекаат, согласно данным автора, является более энергозатратным, поскольку не происходит активизации механизма лебедки. Результаты динамической педобарографии в послеоперационном периоде на момент контрольного осмотра через 24 месяца отображают увеличение максимального давления в заднем отделе стопы и снижение данного показателя в переднем отделе стопы.

Восстановление нормальной кинематики стопы при лечении hallux rigidus в далеко зашедших стадиях является еще нерешенным вопросом. На начальных стадиях заболевания хейлэктомия позволяет восстановить естественный перекаат стопы [21]. При далеко зашедших стадиях заболевания не считается возможным восстановить физиологический перекаат стопы. Основной задачей считается снижение сопротивления в первом плюсневом суставе во время перекаата через передний отдел стопы. В этом случае происходит снижение максимального давления под головкой первой плюсневой кости, сохраняется относительно высокая нагрузка на малые лучи и происходит латерализация вектора нагрузки стопы. Данные изменения наблюдают вне зависимости от метода лечения, они компенсируются организмом и не вызывают дискомфорта и болевых ощущений в послеоперационном периоде [22, 23, 24].

Отдельным вопросом является очерёдность исправления сопутствующей деформации переднего отдела стопы и выполнения гемизендопротезирования головки первой плюсневой кости. По нашему мнению, лучшие результаты достигаются поэтапно: сначала необходимо выполнить исправление анатомических осей и устранить имеющиеся деформации; вторым этапом рационально выполнить замену поражённой суставной поверхности. Это обосновано различными подходами к послеоперационной реабилитации. В случае с остеотомиями необходимо соблюдать охранный режим для переднего отдела стопы. Изолированно выполненное гемизендопротезирование позволяет обеспечить раннюю активизацию и приступить к ранней разработке движений. Описанная практика позволяет достичь наилучших клинических результатов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Гемизендопротезирование первого плюснефалангового сустава керамическим гемизендопротезом оригинальной конструкции показало себя эффективным и воспроизводимым методом оперативного лечения пациентов hallux rigidus 3–4 стадии. Полученные функциональные результаты свидетельствуют о том, что методика является хорошей альтернативой артродезу первого ПФС.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Hoveidaei AH, Roshanshad A, Vosoughi AR. Clinical and radiological outcomes after arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint. *Int Orthop*. 2021;45(3):711-719. doi: 10.1007/s00264-020-04807-3
2. Карлов А.В., Скребцов В.В., Процко В.Г. Гемизендопротез первого плюснефалангового сустава. Патент РФ на изобретение № 211915. 28.06.2022. Бюл. № 19. Доступно по: <https://www.fips.ru/cdfi/fips.dll/ru?ty=29&docid=211915&ki=PM>. Ссылка активна на 05.07.2024.
3. Chen YW, Moussi J, Drury JL, Wataha JC. Zirconia in biomedical applications. *Expert Rev Med Devices*. 2016;13(10):945-963. doi: 10.1080/17434440.2016.1230017
4. Vanlommel J, De Corte R, Luyckx JP, et al. Articulation of Native Cartilage Against Different Femoral Component Materials. Oxidized Zirconium Damages Cartilage Less Than Cobalt-Chrome. *J Arthroplasty*. 2017;32(1):256-262. doi: 10.1016/j.arth.2016.06.024
5. Rezaei NM, Hasegawa M, Ishijima M, et al. Biological and osseointegration capabilities of hierarchically (meso-/micro-/nano-scale) roughened zirconia. *Int J Nanomedicine*. 2018;13:3381-3395. doi: 10.2147/IJN.S159955
6. Wimmer MA, Pacione C, Yuh C, et al. Articulation of an alumina-zirconia composite ceramic against living cartilage - An in vitro wear test. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2020;103:103531. doi: 10.1016/j.jmbbm.2019.103531
7. Arno F, Roman F, Martin W, et al. Facilitating the interpretation of pedobarography: the relative midfoot index as marker for pathologic gait in ankle osteoarthritic and contralateral feet. *J Foot Ankle Res*. 2016;9:47. doi: 10.1186/s13047-016-0177-y
8. Butterworth ML, Ugrinich M. First Metatarsophalangeal Joint Implant Options. *Clin Podiatr Med Surg*. 2019;36(4):577-596. doi: 10.1016/j.cpm.2019.07.003
9. Sung W, Weil L Jr, Weil LS Sr, Stark T. Total first metatarsophalangeal joint implant arthroplasty: a 30-year retrospective. *Clin Podiatr Med Surg*. 2011;28(4):755-761. doi: 10.1016/j.cpm.2011.08.005
10. Gupta S, Mallya N. TOEFIT-PLUSTM replacement of the first metatarsophalangeal joint of the first toe: A short-term follow-up study. *The Foot*. 2008;18(1):20-24. doi: 10.1016/j.foot.2007.07.001
11. Gupta S, Masud S. Long term results of the Toefit-Plus replacement for first metatarsophalangeal joint arthritis. *The Foot*. 2017;31:67-71. doi: 10.1016/j.foot.2017.04.006
12. Erkokcak OF, Senaran H, Altan E, et al. Short-term functional outcomes of first metatarsophalangeal total joint replacement for hallux rigidus. *Foot Ankle Int*. 2013;34(11):1569-1579. doi: 10.1177/1071100713496770
13. Nagy MT, Walker CR, Sirikonda SP. Second-Generation Ceramic First Metatarsophalangeal Joint Replacement for Hallux Rigidus. *Foot Ankle Int*. 2014;35(7):690-698. doi: 10.1177/1071100714536539
14. Raikin SM, Ahmad J, Pour AE, Abidi N. Comparison of arthrodesis and metallic hemiarthroplasty of the hallux metatarsophalangeal joint. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(9):1979-1985. doi: 10.2106/JBJS.F.01385
15. Kline AJ, Hasselman CT. Resurfacing of the Metatarsal Head to Treat Advanced Hallux Rigidus. *Foot Ankle Clin*. 2015;20(3):451-463. doi: 10.1016/j.fcl.2015.04.007
16. Colò G, Samaila EM, Magnan B, Felli L. Valenti resection arthroplasty for hallux rigidus: A systematic review. *Foot Ankle Surg*. 2020;26(8):838-844. doi: 10.1016/j.fas.2019.11.009
17. Mackey RB, Johnson JE. Modified Oblique Keller Capsular Interposition Arthroplasty for Hallux Rigidus. *JBJS Essent Surg Tech*. 2012;2(1):e3. doi: 10.2106/JBJS.ST.K.00030
18. Jørsboe PH, Pedersen MS, Benyahia M, et al. Mid-Term Functionality and Survival of 116 HemiCAP® Implants for Hallux Rigidus. *J Foot Ankle Surg*. 2021;60(2):322-327. doi: 10.1053/j.jfas.2020.10.010
19. Ghalambor N, Cho DR, Goldring SR, et al. Microscopic metallic wear and tissue response in failed titanium hallux metatarsophalangeal implants: two cases. *Foot Ankle Int*. 2002;23(2):158-162. doi: 10.1177/107110070202300214
20. Bojsen-Møller F. Calcaneocuboid joint and stability of the longitudinal arch of the foot at high and low gear push off. *J Anat*. 1979;129(Pt 1):165-176.
21. Nawoczinski DA, Ketzi J, Baumhauer JF. Dynamic kinematic and plantar pressure changes following cheilectomy for hallux rigidus: a mid-term followup. *Foot Ankle Int*. 2008;29(3):265-272. doi: 10.3113/FAI.2008.0265
22. Jørsboe PH, Speedtsberg MB, Kallemose T, et al. Plantar forces mid-term after hemiarthroplasty with HemiCAP for hallux rigidus. *Foot Ankle Surg*. 2020;26(4):432-438. doi: 10.1016/j.fas.2019.05.012
23. Alentorn-Geli E, Gil S, Bascuas I, et al. Correlation of dorsiflexion angle and plantar pressure following arthrodesis of the first metatarsophalangeal joint. *Foot Ankle Int*. 2013;34(4):504-511. doi: 10.1177/1071100713477386
24. Stevens J, Meijer K, Bijlens W, et al. Gait Analysis of Foot Compensation After Arthrodesis of the First Metatarsophalangeal Joint. *Foot Ankle Int*. 2017;38(2):181-191. doi: 10.1177/1071100716674310

Статья поступила 28.05.2024; одобрена после рецензирования 01.07.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 28.05.2024; approved after reviewing 01.07.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Владимир Владимирович Скребцов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Виктор Геннадьевич Процко — доктор медицинских наук, доцент кафедры, врач травматолог-ортопед, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Александр Владимирович Скребцов — врач травматолог-ортопед, Skrebtsovaalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;

Саргон Константинович Тамоев — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Виктория Константиновна Никитина — врач травматолог-ортопед, vcnikitina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>.

Information about the authors:

Vladimir V. Skrebtsov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Victor G. Protsko — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, orthopaedic surgeon, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Alexander V. Skrebtsov — orthopaedic surgeon, Skrebtsovaalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;

Sargon K. Tamoev — Candidate of Medical Sciences, Head of the department, orthopaedic surgeon, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>;

Victoria K. Nikitina — orthopaedic surgeon, vcnikitina@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0064-3175>.

Обзорная статья

УДК 616.711.6-007.271-089(048.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-897-905>

Прямой боковой спондилодез с непрямой декомпрессией корешков спинного мозга у пациентов с дегенеративным поясничным спинальным стенозом

И.Д. Исаков✉, А.Д. Сангинов, Ш.А. Ахметьянов, Е.А. Мушкачев, А.Н. Сорокин, А.В. Пелеганчук

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

Автор, ответственный за переписку: Илья Дмитриевич Исаков, Doctorisakov@mail.ru

Аннотация

Введение. Дегенеративные заболевания позвоночника занимают лидирующие позиции в структуре заболеваемости населения, ими страдают до 80 % трудоспособного населения. Увеличение среднего возраста граждан и высокие требования к качеству жизни сохраняют востребованность в дальнейшем развитии методов хирургического лечения. Декомпрессивно-стабилизирующие хирургические вмешательства в поясничном отделе позвоночника выполняют из различных доступов (вентральных, задних и боковых). Для лечения некоторых категорий пациентов с дегенеративным спинальным стенозом в поясничном отделе позвоночника LLIF (англ.: lateral lumbar interbody fusion) обладает преимуществами перед хирургическими вмешательствами из других доступов.

Цель работы — на основании данных литературы определить перспективы выполнения LLIF как самостоятельного декомпрессивно-стабилизирующего хирургического вмешательства.

Материалы и методы. В данной статье представлены обобщенные сведения отечественных и зарубежных публикаций о прямом боковом спондилодезе с непрямой декомпрессией корешков спинного мозга в поясничном отделе позвоночника. В информационных системах PubMed, Scopus, eLibrary проведен анализ литературы с использованием следующей терминологии: прямой боковой спондилодез, непрямая декомпрессия корешков спинного мозга, предикторы непрямой декомпрессии, predictors, lateral lumbar interbody fusion, direct lumbar interbody fusion, extreme lumbar interbody fusion, indirect decompression. В обзор включено 60 статей, опубликованных с 1998 по 2023 год включительно.

Результаты и обсуждение. После выполнения LLIF у некоторых пациентов происходит непрямая декомпрессия корешков спинного мозга, что исключает формирование перидурального фиброза, повреждения твердой мозговой оболочки и корешков спинного мозга. Определение модели пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала, которым можно выполнять LLIF как самостоятельное декомпрессивно-стабилизирующее хирургическое вмешательство без дополнительной инструментальной фиксации, позволит повысить эффективность хирургического лечения.

Заключение. LLIF зарекомендовал себя как эффективный метод для непрямой декомпрессии корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях. Непрямая декомпрессия корешков спинного мозга в позвоночном канале происходит далеко не всегда, поэтому остается открытым вопрос о выборе модели пациента для выполнения LLIF (единственного хирургического вмешательства) с целью стабилизации позвоночно-двигательного сегмента и непрямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале при его дегенеративном стенозе.

Ключевые слова: дегенеративный стеноз позвоночного канала, прямой боковой спондилодез, непрямая декомпрессия, предикторы непрямой декомпрессии

Для цитирования: Исаков И.Д., Сангинов А.Д., Ахметьянов Ш.А., Мушкачев Е.А., Сорокин А.Н., Пелеганчук А.В. Прямой боковой спондилодез с непрямой декомпрессией корешков спинного мозга у пациентов с дегенеративным поясничным спинальным стенозом. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):897-905. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-897-905. EDN: AXTWBB.



Direct lateral interbody fusion with indirect decompression of the spinal roots in patients with degenerative lumbar spinal stenosis

I.D. Isakov[✉], A.J. Sanginov, Sh.A. Akhmetyanov, E.A. Mushkachev, A.N. Sorokin, A.V. Peleganchuk

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

Corresponding author: Ilya D. Isakov, Doctorisakov@mail.ru

Abstract

Introduction Degenerative spine conditions involve the gradual loss of normal structure of the spine among the population and remain a common form of work-limiting health condition in 80 % of the population. The demand for surgical interventions will remain high in an aging population to improve quality of life. Lumbar spinal decompression and stabilization are produced using ventral, posterior and lateral approaches. Lateral lumbar interbody fusion (LLIF) is used for treatment of degenerative lumbar stenosis having advantages over surgical interventions from other approaches.

The **objective** was to determine the prospects of LLIF as an independent decompressive and stabilizing surgical intervention using literature data.

Material and methods This article presents generalized information from Russian and foreign publications on LLIF with indirect decompression of the lumbar nerve roots. The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org) and Scopus using keywords: direct lateral interbody fusion, indirect decompression of the spinal nerve roots, predictors, lateral lumbar interbody fusion, direct lumbar interbody fusion, extreme lumbar interbody fusion, indirect decompression. The review included 60 articles published between 1998 and 2023 inclusive.

Results and discussion After performing LLIF, some patients experience indirect decompression of the spinal nerve roots to prevent epidural fibrosis, injury to the dura mater and spinal nerve roots. Identifying a model of patients with degenerative spinal stenosis who can undergo LLIF as an independent decompressive-stabilizing surgical intervention without additional instrumentation can improve the effectiveness of surgical treatment.

Conclusion LLIF was shown to be an effective method for indirect decompression of spinal nerve roots at the intervertebral foramina. Indirect decompression of the spinal nerve roots in the spinal canal may fail and the choice of a LLIF candidate (a single surgical intervention) remains open.

Keywords: degenerative spinal stenosis, direct lateral fusion, indirect decompression, predictors of indirect decompression

For citation: Isakov ID, Sanginov AJ, Akhmetyanov ShA, Mushkachev EA, Sorokin AN, Peleganchuk AV. Direct lateral interbody fusion with indirect decompression of the spinal roots in patients with degenerative lumbar spinal stenosis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):897-905. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-897-905

ВВЕДЕНИЕ

Дегенеративные заболевания позвоночника занимают лидирующие позиции в структуре заболеваемости населения. Болевой синдром на фоне дегенеративных изменений позвоночника является основной причиной нетрудоспособности населения в развитых странах. По данным ВОЗ (Всемирная Организация Здравоохранения), ими страдают до 80 % трудоспособного населения. С каждым годом в мире увеличивается количество пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника примерно на 266 млн. (3,63 % населения всего мира) [1].

Увеличение среднего возраста населения и высокие требования к качеству жизни являются основаниями для дальнейшего развития методов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника [2]. Современное диагностическое оборудование, инновационные технические решения в области малоинвазивной хирургии позвоночника, а также возможности анестезиологического пособия уже позволяют оказывать хирургическую помощь пациентам, которым ранее хирургия позвоночника была недоступна в связи с высокими рисками осложнений [3]. В хирургических сообществах активно поднимается вопрос о снижении травматичности хирургических вмешательств [4].

Декомпрессивные малоинвазивные вмешательства с сохранением опорных структур позвоночника наименее травматичны в сравнении с декомпрессивно-стабилизирующими операциями, но в некоторых случаях невозможно обойтись без фиксации позвоночно-двигательного сегмента. Декомпрессивно-стабилизирующие хирургические вмешательства выполняются из вентральных (ALIF/OLIF), задних (PLIF/TLIF) и бокового (LLIF) доступов. В настоящее время каждый из этих доступов может быть выполнен по технологии MIS. При выполнении LLIF исключается ряд осложнений, встречающихся при PLIF/TLIF и OLIF/ALIF, а возможность не прямой декомпрессии у некоторых категорий пациентов после установки межтелового имплантата и отсутствие необходимости в дополнительной фиксации ПДС позволяют рассматривать LLIF как малоинвазивное самостоятельное декомпрессивно-стабилизирующее хирургическое вмешательство.

Цель работы — на основании данных литературы определить перспективы выполнения LLIF как самостоятельного декомпрессивно-стабилизирующего хирургического вмешательства.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В данной статье представлены обобщенные сведения отечественных и зарубежных публикаций о прямом боковом спондилодезе с не прямой декомпрессией корешков спинного мозга в поясничном отделе позвоночника, описаны исторические факты развития метода, его возможности в лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника, отличия от иных доступов к поясничному отделу позвоночника.

Отбор научных источников проведен в информационных системах PubMed, Scopus, eLibrary с использованием следующих поисковых слов и словосочетаний: прямой боковой спондилодез (direct lumbar interbody fusion, lateral lumbar interbody fusion, extreme lumbar interbody fusion), не прямая декомпрессия корешков спинного мозга (indirect decompression), предикторы не прямой декомпрессии (predictors of indirect decompression). В обзор включено 60 статей, опубликованных с 1998 по 2023 год включительно.

Критерии включения научных публикаций в исследование:

- полнотекстовые научные статьи, тезисы научно-практических конференций и диссертации, в которых представлены сведения о методах хирургического лечения пациентов с дегенеративным спинальным стенозом;
- полнотекстовые научные работы о прямом боковом спондилодезе и его возможностях в достижении не прямой декомпрессии корешков спинного мозга, сравнении прямого бокового спондилодеза с другими методами спондилодеза;
- полнотекстовые научные публикации, в которых изложены характер и частота осложнений после LLIF, в том числе в сравнении с другими методами спондилодеза.

Критерии не включения: научные статьи, в которых отсутствует информация о лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника.

В общей сложности для написания обзора литературы отобрано 60 научных работ, из них отечественных источников — 6 (10 %), иностранных — 54 (90 %).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Дегенеративный спинальный стеноз

Дегенеративный спинальный стеноз является следствием прогрессирующих патологических изменений в позвоночнике, которые приводят к уменьшению резервных пространств для нервно-сосудистых образований в позвоночном канале и межпозвонковых отверстиях, и может вызывать компрессию кореш-

ков спинного мозга, проявляющуюся в виде нейрогенной перемежающейся хромоты и (или) корешкового синдрома [5]. Патоморфологическими субстратами компрессии корешков спинного мозга выступают гипертрофированные дугоотростчатые суставы, гипертрофированные желтые связки, остеофиты и интраканальные синовиальные кисты дугоотростчатых суставов. Дегенеративный спинальный стеноз может быть локализован в позвоночном канале, латеральных карманах и межпозвонковых отверстиях.

Хирургическое лечение дегенеративного спинального стеноза

Дегенеративные заболевания являются причиной хирургических вмешательств в 59,9–71,4 % в структуре хирургии позвоночника [6]. В лечении пациентов с дегенеративным спинальным стенозом выполняют декомпрессивные, декомпрессивно-стабилизирующие, декомпрессивно-корректирующие и декомпрессивно-пластические хирургические вмешательства с использованием открытой хирургической техники и малоинвазивно. На сегодняшний день в арсенале хирурга есть возможность выполнить хирургические вмешательства на поясничном отделе позвоночника из разных доступов: LLIF, ALIF, OLIF, PLIF, TLIF. Технические решения в области хирургической визуализации и силовое оборудование позволяют максимально сохранить опорные структуры позвоночника при декомпрессиях корешков спинного мозга и в ряде случаев могут исключить необходимость в спондилодезе [4].

Существует отдельная группа пациентов с нестабильностью позвоночно-двигательного сегмента позвоночника, которым требуется выполнение спондилодеза, а в сочетании с дегенеративным спинальным стенозом — и декомпрессия корешков спинного мозга. При выполнении таким пациентам спондилодеза из вентральных доступов может произойти непрямо́ная декомпрессия корешков спинного мозга, особенно в случаях их динамической компрессии [7]. Такие хирургические вмешательства являются малоинвазивными и могут обеспечить длительное сохранение результата лечения.

В настоящее время подбор метода хирургического вмешательства зависит от решения хирурга, так как не существует строгих стандартов в выборе способа фиксации позвоночно-двигательного сегмента, хирургического доступа и декомпрессии корешков спинного мозга [8].

Метод прямого бокового спондилодеза

В 2006 г. В.М. Ozgur et al. опубликовали технику спондилодеза, позволяющую без эндоскопического оборудования и тракции кзади поясничной мышцы выполнить доступ к межпозвонковым дискам поясничного отдела позвоночника [9]. Метод является модернизацией забрюшинного доступа к поясничному отделу позвоночника кпереди от поясничной мышцы, описанного Р.С. McAfee et al. в 1998 г., и доступа через поясничную мышцу с использованием эндоскопического оборудования, опубликованного L. Pimenta в 2001 г. [10, 11]. Прямой боковой спондилодез в современной литературе имеет несколько вариантов названия: LLIF (англ.: lateral lumbar interbody fusion), DLIF (англ.: direct lumbar interbody fusion), XLIF\ELIF (англ.: extreme lateral lumbar interbody fusion). Метод прямого бокового спондилодеза с каждым годом становится более популярным, что подтверждается увеличением научных публикаций на данную тему в динамике [12]. Прямой боковой спондилодез чаще выполняют на уровнях L2–L3, L3–L4 и реже — на L1–L2, L4–L5. Сегмент L4–L5 может быть недоступен в связи с высоким расположением гребней подвздошных костей, а нижние ребра могут затруднить доступ к межпозвонковому диску L1–L2.

Осложнения в виде ретроградной эякуляции, повреждения крупных сосудов, мочеочника, брюшины, кишечника, венозной или артериальной тромбоэмболии при LLIF значительно меньше в сравнении с ALIF\OLIF, а сохранённые передняя и задняя продольные связки не позволяют мигрировать имплантату в переднем и заднем направлениях [13, 14, 15].

LLIF может быть наиболее подходящим методом хирургического вмешательства для пациентов с избыточной массой тела, так как не является фактором, повышающим риск осложнений при выполнении прямого бокового спондилодеза [16], и не усложняет ход операции. Перенесенные хирургические вмешательства в поясничном отделе позвоночника из вентральных или задних доступов также являются ключевыми причинами выбора LLIF для лечения смежного уровня [17, 18], так как позволяют избежать работы с рубцовой тканью и не продлевают транспедикулярную систему [19]. При непрямо́ной декомпрессии корешков спинного мозга не требуется микрохирургическая декомпрессия корешков спинного мозга, следовательно, сокращается время хирургического вмешательства, резко снижается риск повреждения твердой мозговой оболочки и корешков спинного мозга. К преимуществам вентральных доступов относятся параметры межтеловых имплантатов, имеющие площадь опорной поверхности больше, чем у имплантатов для PLIF/TLIF [20]. В свою очередь, имплантаты при LLIF шире, чем для OLIF\ALIF, за счет чего задействованы кортикальные края замыкательных пластинок позвонков, являющиеся наиболее стойкими зонами к проседаниям межтеловых имплантатов [21–24], тем самым риск проседания имплантата при LLIF не повышается без дополнительной транспедикулярной фиксации [25, 26].

Непрямая декомпрессия

Непрямая декомпрессия корешков спинного мозга при выполнении спондилодезов из вентральных доступов часто упоминается в научной литературе. Непрямую декомпрессию нужно воспринимать как клинический результат в виде регресса компрессионных синдромов корешков спинного мозга после операции, а уже во вторую очередь — как увеличение размеров межпозвонковых отверстий, латерального кармана или позвоночного канала по данным нейровизуализации. Непрямая декомпрессия корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях после вентральных спондилодезов является не редким результатом [9, 10, 11, 19, 27, 28], а непрямая декомпрессия корешков спинного мозга в позвоночном канале менее предсказуема, особенно при грубых стенозах.

Увеличение размеров межпозвонковых отверстий можно определить на интраоперационных рентгенологических снимках. При дегенеративном стенозе позвоночного канала интраоперационно визуализировать увеличение резервного пространства для корешков спинного мозга затруднительно, следовательно, сделать вывод об успешности выполнения LLIF, как декомпрессионного хирургического вмешательства, можно только при активизации пациента. Это обстоятельство заставляет хирургов сомневаться в LLIF как единственном хирургическом вмешательстве с целью декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале и стабилизации ПДС. LLIF активно используют в качестве первого этапа хирургии для стабилизации и/или коррекции баланса позвоночника. Вторым этапом выполняют микрохирургическую декомпрессию корешков спинного мозга и траспедикулярную фиксацию позвоночно-двигательного сегмента. Непрямая декомпрессия корешков спинного мозга вызывает большой интерес у нейрохирургов, так как её эффект аналогичен микрохирургической декомпрессии, но отсутствует контакт с твердой мозговой оболочкой, что резко снижает возможность ее повреждения, особенно при повторных хирургических вмешательствах [29].

Механизм не прямой декомпрессии корешков спинного мозга основан на восстановлении высоты межпозвонкового диска, увеличении высоты межпозвонковых отверстий и растяжении задней продольной и желтой связок [30–41]. К тому же после LLIF до двух лет наблюдается увеличение резервного пространства для корешков спинного мозга в позвоночном канале за счет гипотрофии желтой связки в условиях ригидной фиксации позвоночно-двигательного сегмента [42–44].

Максимальное сохранение анатомической целостности позвоночно-двигательного сегмента при выполнении LLIF, в сравнении с ALIF/OLIF, а именно сохранение передней и задней продольных связок, большей части фиброзного кольца положительно влияет на стабильность сегмента и создает условия, при которых невозможна миграция кейджа в переднем и заднем направлениях [45]. Но это является и основной причиной необходимости более строго отбора пациентов для планирования не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале после LLIF в сравнении с ALIF/OLIF, ведь ограничение в возможности установки более высокого межтелового имплантата может привести к недостаточному увеличению объема позвоночного канала.

Говоря о возможностях не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале, следует отметить, что стеноз позвоночного канала grade D по Schizas считается наименее перспективным для не прямой декомпрессии при выполнении прямого бокового спондилодеза, однако существуют результаты хирургических вмешательств, после которых отсутствует необходимость выполнения не прямой декомпрессии [46], что позволяет резко снизить объем хирургического вмешательства.

В современных научных публикациях основное внимание уделено не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях [12, 47, 48]. Исследования, в которых основное внимание уделено не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале и выявлению её предикторов, имеют низкую достоверность [49, 50, 51]. Прочие исследования практически не имеют группы пациентов с исключительно дегенеративным стенозом позвоночного канала и оценкой эффективности не прямой декомпрессии корешков спинного мозга у таких пациентов [52–54]. Встречаются публикации, где из исследования исключены пациенты со стенозом позвоночного канала с grade C и D по Schizas [55]. Также опубликованы работы по оценке эффективности не прямой декомпрессии из разных хирургических доступов (LLIF, OLIF, ALIF) [29]. Все это затрудняет сделать однозначные выводы о выборе модели пациента с дегенеративным стенозом позвоночного столба, у которого можно прогнозировать клинически эффективную не прямую декомпрессию после LLIF.

Пациенты с 3 типом сагиттального профиля позвоночника по Roussouly определены как наиболее подходящие для не прямой декомпрессии [56], а стеноз позвоночного канала, обусловленный оссифицированными задней продольной и жёлтой связками, является абсолютно не подходящим к выполнению LLIF с целью не прямой декомпрессии корешков спинного мозга [45].

Не прямую декомпрессию корешков спинного мозга при выполнении ALIF и OLIF в большинстве случаев можно спрогнозировать до операции благодаря изученности возможностей данных методов.

При необходимости в прямой декомпрессии эти доступы позволяют выполнить микрохирургическую декомпрессию корешков спинного мозга через межтеловое пространство после тотальной дискэктомии, тем самым осуществив весь объем хирургического вмешательства в один этап.

В научных публикациях встречается понятие IDF (англ.: indirect decompression failure after lateral lumbar interbody fusion), что означает отсутствие не прямой декомпрессии при планировании ее на дооперационном этапе, преимущественно в позвоночном канале после прямого бокового межтелового спондилодеза [57]. Такой исход хирургического вмешательства является следствием недостаточной изученности не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале при выполнении прямого бокового спондилодеза.

MIS LLIF позволяет получить не прямую декомпрессию корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях, эквивалентную MIS TLIF и ALIF [46]. При отсутствии костного блока на заинтересованном позвоночно-двигательном сегменте имеется высокая вероятность увеличения высоты диска за счет установки межтелового имплантата, что неизбежно приводит к увеличению высоты и площади межпозвонковых отверстий, причем практически равномерно с обеих сторон, вне зависимости от выбора стороны хирургического доступа [45]. Эффективность не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях после LLIF не зависит от положения межтелового имплантата, тогда как в позвоночном канале вероятность не прямой декомпрессии корешков спинного мозга выше при дорзальном положении имплантата [46]. Это является усложняющим фактором в планировании не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале с коррекцией сагиттального баланса, так как для восстановления сагиттального профиля положение межтелового имплантата предпочтительнее в передней трети межтелового промежутка. Проседание межтелового имплантата в меньшей степени влияет на потерю эффекта не прямой декомпрессии в межпозвонковых отверстиях, чем в позвоночном канале [12].

Несмотря на формирование грубого стеноза позвоночного канала, запас компенсаторных возможностей организма позволяет многим пациентам длительное время не обращаться за медицинской помощью в связи с отсутствием клинических проявлений заболевания [58]. Из этого следует, что не прямая декомпрессия корешков спинного мозга при незначительном увеличении объема позвоночного канала на уровне дегенеративного стеноза по данным нейровизуализации может быть эффективной в виде купирования клинических проявлений компрессии корешков спинного мозга.

Осложнения после LLIF

Ятрогенная травма поясничного сплетения является ведущим осложнением в раннем послеоперационном периоде после LLIF [59]. Она проявляется в виде слабости сгибателей бедра в 24 % случаев, снижения чувствительности по передней поверхности бедра — в 38 %, пареза мышцы живота — в 1,8 %. Другие осложнения после LLIF представлены в виде повреждения сосудов (0,1 %), повреждения кишечника (0,08 %), проседания межтелового имплантата (14 %) [60].

Распространенными последствиями, связанными с хирургическим доступом через поясничную мышцу, являются слабость поясничной мышцы, боль или снижение чувствительности по передней поверхности бедра со стороны хирургического доступа, которые купируются от двух недель до одного года на фоне консервативного лечения [12].

При дегенеративном стенозе позвоночного канала и необходимости стабилизировать позвоночно-двигательный сегмент для некоторых категорий пациентов наиболее предпочтительным методом лечения может являться LLIF с не прямой декомпрессией корешков спинного мозга и транскрутанной транспедикулярной фиксацией (или без таковой).

Для выполнения LLIF, как единственного декомпрессивно-стабилизирующего хирургического вмешательства, требуется уверенность в том, что он будет эффективен в устранении компрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале. Для этого необходимо определить предикторы не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале при его дегенеративном стенозе для LLIF. В поиске предикторов не прямой декомпрессии и возможностей LLIF в ее достижении нельзя исключать из исследований пациентов со стенозом позвоночного канала grade D по Schizas. Возможно, даже незначительного увеличения объема позвоночного канала будет достаточно для купирования клинических проявлений компрессии корешков спинного мозга.

В условиях ригидной фиксации позвоночно-двигательного сегмента происходит уменьшение толщины гипертрофированной желтой связки. Следовательно, возможно рассмотреть выполнение LLIF как единственного декомпрессивно-стабилизирующего хирургического вмешательства с не прямой декомпрессией корешков спинного мозга, а с течением времени наблюдать увеличение объема позвоночного канала по данным MPT и МСКТ поясничного отдела позвоночника.

Такой подход может повысить эффективность хирургического лечения пациентов с дегенеративным стенозом позвоночного канала в поясничном отделе позвоночника, чаще использовать в практике метод LLIF как единственное декомпрессивно-стабилизирующее малоинвазивное хирургическое вмешательство отдельной группе пациентов, тем самым сократить количество хирургических этапов лечения, снизить продолжительность операций, уменьшить кровопотерю и травматичность общего объема хирургического пособия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

LLIF является методом хирургического вмешательства на поясничном отделе позвоночника, который зарекомендовал себя как эффективное малоинвазивное хирургическое вмешательство с целью стабилизации и коррекции деформации в позвоночно-двигательном сегменте, а также для достижения не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в межпозвонковых отверстиях.

Прямой боковой спондилодез редко выполняют как единственное хирургическое вмешательство на позвоночно-двигательном сегменте с целью декомпрессии и стабилизации ввиду малой изученности возможностей метода в достижении не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале при его дегенеративном стенозе.

Выявление предикторов не прямой декомпрессии корешков спинного мозга в позвоночном канале позволяет повысить эффективность хирургического лечения пациентов методом LLIF.

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

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Ravindra VM, Senglaub SS, Rattani A, et al. Degenerative Lumbar Spine Disease: Estimating Global Incidence and Worldwide Volume. *Global Spine J.* 2018;8(8):784-794. doi: 10.1177/2192568218770769
2. Ruetten S, Komp M. Endoscopic Lumbar Decompression. *Neurosurg Clin N Am.* 2020;31(1):25-32. doi: 10.1016/j.nec.2019.08.003
3. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Шепелев В.В. Сравнение результатов и экономической эффективности минимально инвазивного и открытого трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза: метаанализ проспективных когортных исследований. *Вестник РАМН.* 2019;74(2):125-135. doi: 10.15690/vramn1093
4. Karlsson T, Försth P, Skorpil M, et al. Decompression alone or decompression with fusion for lumbar spinal stenosis: a randomized clinical trial with two-year MRI follow-up. *Bone Joint J.* 2022;104-B(12):1343-1351. doi: 10.1302/0301-620X.104B12.BJJ-2022-0340.R1
5. Gagliardi MJ, Guiroy AJ, Camino-Willhuber G, et al. Is Indirect Decompression and Fusion More Effective than Direct Decompression and Fusion for Treating Degenerative Lumbar Spinal Stenosis With Instability? A Systematic Review and meta-Analysis. *Global Spine J.* 2023;13(2):499-511. doi: 10.1177/21925682221098362
6. Лопарев Е.А., Климов В.С., Евсюков А.В. Повторные оперативные вмешательства у пациентов с дегенеративно-дистрофическим заболеванием поясничного отдела позвоночника после удаления грыж дисков. *Хирургия позвоночника.* 2017;14(1):51-59. doi: 10.14531/ss2017.1.51-59
7. Боков А.Е. Хирургическая тактика при дегенеративном и посттравматическом стенозе позвоночного канала у пациентов с нарушением плотности костной ткани: дис. ... д-ра. мед наук. М.; 2023:258. Доступно по: <https://www.dissercat.com/content/khirurgicheskaya-taktika-pri-degenerativnom-i-posttravmaticheskom-stenozepozvonochno-nogo-kana>. Ссылка активна на 15.07.2024.
8. Гуца А.О. Теоретические и практические аспекты применения декомпрессивно-стабилизирующих операций дегенеративных стенозах пояснично-крестцового при отдела позвоночника. Алгоритм выбора хирургического вмешательства. В кн.: *Хирургия дегенеративных поражений позвоночника*. Под ред. А.О. Гуцы, Н.А. Коновалова, А.А. Гриня. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2019:358-381.
9. Ozgur BM, Aryan HE, Pimenta L, Taylor WR. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J.* 2006;6(4):435-443. doi: 10.1016/j.spinee.2005.08.012
10. McAfee PC, Regan JJ, Geis WP, Fedder IL. Minimally invasive anterior retroperitoneal approach to the lumbar spine. Emphasis on the lateral BAK. *Spine (Phila Pa 1976).* 1998;23(13):1476-1484. doi: 10.1097/00007632-199807010-00009
11. Pimenta L. Lateral endoscopic transpsoas retroperitoneal approach for lumbar spine surgery. In: *Paper presented at the VIII Brazilian Spine Society Meeting. May 2001.* Belo Horizonte, Minas Gerais, Brazil.
12. Nikaido T, Konno SI. Usefulness of Lateral Lumbar Interbody Fusion Combined with Indirect Decompression for Degenerative Lumbar Spondylolisthesis: A Systematic Review. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(4):492. doi: 10.3390/medicina58040492
13. Phan K, Thayaparan GK, Mobbs RJ. Anterior lumbar interbody fusion versus transforaminal lumbar interbody fusion--systematic review and meta-analysis. *Br J Neurosurg.* 2015;29(5):705-711. doi: 10.3109/02688697.2015.1036838
14. Malham GM, Parker RM, Ellis NJ, et al. Anterior lumbar interbody fusion using recombinant human bone morphogenetic protein-2: a prospective study of complications. *J Neurosurg Spine.* 2014;21(6):851-860. doi: 10.3171/2014.8.SPINE13524
15. Mobbs RJ, Phan K, Daly D, et al. Approach-Related Complications of Anterior Lumbar Interbody Fusion: Results of a Combined Spine and Vascular Surgical Team. *Global Spine J.* 2016;6(2):147-154. doi: 10.1055/s-0035-1557141
16. Rodgers WB, Cox CS, Gerber EJ. Early complications of extreme lateral interbody fusion in the obese. *J Spinal Disord Tech.* 2010;23(6):393-397. doi: 10.1097/BSD.0b013e3181b31729

17. Jain D, Verma K, Mulvihill J, et al. Comparison of Stand-Alone, Transposas Lateral Interbody Fusion at L3-4 and Cranial vs Transforaminal Interbody Fusion at L3-4 and L4-5 for the Treatment of Lumbar Adjacent Segment Disease. *Int J Spine Surg*. 2018;12(4):469-474. doi: 10.14444/5056
18. Nakano M, Futakawa H, Nogami S, et al. A Comparative Clinical Study of Lateral Lumbar Interbody Fusion between Patients with Multiply Operated Back and Patients with First-Time Surgery. *Medicina (Kaunas)*. 2023;59(2):342. doi: 10.3390/medicina59020342
19. Wang MY, Vasudevan R, Mindea SA. Minimally invasive lateral interbody fusion for the treatment of rostral adjacent-segment lumbar degenerative stenosis without supplemental pedicle screw fixation. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(6):861-866. doi: 10.3171/2014.8.SPINE13841
20. Yuan W, Kaliya-Perumal AK, Chou SM, Oh JY. Does Lumbar Interbody Cage Size Influence Subsidence? A Biomechanical Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(2):88-95. doi: 10.1097/BRS.0000000000003194
21. Palejwala SK, Sheen WA, Walter CM, et al. Minimally invasive lateral transposas interbody fusion using a stand-alone construct for the treatment of adjacent segment disease of the lumbar spine: review of the literature and report of three cases. *Clin Neurol Neurosurg*. 2014;124:90-96. doi: 10.1016/j.clineuro.2014.06.031
22. Alkalay RN, Adamson R, Groff MW. The effect of interbody fusion cage design on the stability of the instrumented spine in response to cyclic loading: an experimental study. *Spine J*. 2018;18(10):1867-1876. doi: 10.1016/j.spinee.2018.03.003
23. Wewel JT, Hartman C, Uribe JS. Timing of Lateral Lumbar Interbody Subsidence: Review of Exclusive Intraoperative Subsidence. *World Neurosurg*. 2020;137:e208-e212. doi: 10.1016/j.wneu.2020.01.134
24. Taba HA, Williams SK. Lateral Lumbar Interbody Fusion. *Neurosurg Clin N Am*. 2020;31(1):33-42. doi: 10.1016/j.nec.2019.08.004
25. Manzur MK, Steinhilber ME, Virk SS, et al. Fusion rate for stand-alone lateral lumbar interbody fusion: a systematic review. *Spine J*. 2020;20(11):1816-1825. doi: 10.1016/j.spinee.2020.06.006
26. Chen E, Xu J, Yang S, et al. Cage Subsidence and Fusion Rate in Extreme Lateral Interbody Fusion with and without Fixation. *World Neurosurg*. 2019;122:e969-e977. doi: 10.1016/j.wneu.2018.10.182
27. Mobbs RJ, Phan K, Malham G, et al. Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *J Spine Surg*. 2015;1(1):2-18. doi: 10.3978/j.issn.2414-469X.2015.10.05
28. Lee DH, Lee DG, Hwang JS, et al. Clinical and radiological results of indirect decompression after anterior lumbar interbody fusion in central spinal canal stenosis. *J Neurosurg Spine*. 2021;34(4):564-572. doi: 10.3171/2020.7.SPINE191335
29. Gagliardi MJ, Guiryo AJ, Camino-Willhuber G, et al. Is Indirect Decompression and Fusion More Effective than Direct Decompression and Fusion for Treating Degenerative Lumbar Spinal Stenosis With Instability? A Systematic Review and meta-Analysis. *Global Spine J*. 2023;13(2):499-511. doi: 10.1177/21925682221098362
30. Ahmadian A, Bach K, Bolinger B, et al. Stand-alone minimally invasive lateral lumbar interbody fusion: multicenter clinical outcomes. *J Clin Neurosci*. 2015;22(4):740-746. doi: 10.1016/j.jocn.2014.08.036
31. Alimi M, Hofstetter CP, Tsiouris AJ, et al. Extreme lateral interbody fusion for unilateral symptomatic vertical foraminal stenosis. *Eur Spine J*. 2015;24 Suppl 3:346-352. doi: 10.1007/s00586-015-3940-z
32. Campbell PG, Nunley PD, Cavanaugh D, et al. Short-term outcomes of lateral lumbar interbody fusion without decompression for the treatment of symptomatic degenerative spondylolisthesis at L4-5. *Neurosurg Focus*. 2018;44(1):E6. doi: 10.3171/2017.10.FOCUS17566
33. Castellvi AE, Nienke TW, Marulanda GA, et al. Indirect decompression of lumbar stenosis with transposas interbody cages and percutaneous posterior instrumentation. *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(6):1784-1791. doi: 10.1007/s11999-014-3464-6
34. Domínguez I, Luque R, Noriega M, et al. Extreme lateral lumbar interbody fusion. Surgical technique, outcomes and complications after a minimum of one year follow-up. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2017;61(1):8-18. doi: 10.1016/j.recot.2016.09.001
35. Formica M, Berjano P, Cavagnaro L, et al. Extreme lateral approach to the spine in degenerative and post traumatic lumbar diseases: selection process, results and complications. *Eur Spine J*. 2014;23 Suppl 6:684-692. doi: 10.1007/s00586-014-3545-y
36. Kepler CK, Sharma AK, Huang RC, et al. Indirect foraminal decompression after lateral transposas interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2012;16(4):329-333. doi: 10.3171/2012.1.SPINE11528
37. Marchi L, Abdala N, Oliveira L, et al. Radiographic and clinical evaluation of cage subsidence after stand-alone lateral interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2013;19(1):110-118. doi: 10.3171/2013.4.SPINE12319
38. Navarro-Ramirez R, Berlin C, Lang G, et al. A New Volumetric Radiologic Method to Assess Indirect Decompression After Extreme Lateral Interbody Fusion Using High-Resolution Intraoperative Computed Tomography. *World Neurosurg*. 2018;109:59-1067. doi: 10.1016/j.wneu.2017.07.155
39. Pereira EA, Farwana M, Lam KS. Extreme lateral interbody fusion relieves symptoms of spinal stenosis and low-grade spondylolisthesis by indirect decompression in complex patients. *J Clin Neurosci*. 2017;35:56-61. doi: 10.1016/j.jocn.2016.09.010
40. Tessitore E, Molliqaj G, Schaller K, Gautschi OP. Extreme lateral interbody fusion (XLIF): A single-center clinical and radiological follow-up study of 20 patients. *J Clin Neurosci*. 2017;36:76-79. doi: 10.1016/j.jocn.2016.10.001
41. Tohmeh AG, Khorsand D, Watson B, Zielinski X. Radiographical and clinical evaluation of extreme lateral interbody fusion: effects of cage size and instrumentation type with a minimum of 1-year follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(26):E1582-E1591. doi: 10.1097/BRS.0000000000000645
42. Nakashima H, Kanemura T, Satake K, et al. Indirect Decompression on MRI Chronologically Progresses After Immediate Postlateral Lumbar Interbody Fusion: The Results From a Minimum of 2 Years Follow-Up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44(24):E1411-E1418. doi: 10.1097/BRS.0000000000003180
43. Ohtori S, Orita S, Yamauchi K, et al. Change of Lumbar Ligamentum Flavum after Indirect Decompression Using Anterior Lumbar Interbody Fusion. *Asian Spine J*. 2017;11(1):105-112. doi: 10.4184/asj.2017.11.1.105
44. Dangelmajer S, Zadnik PL, Rodriguez ST, et al. Minimally invasive spine surgery for adult degenerative lumbar scoliosis. *Neurosurg Focus*. 2014;36(5):E7. doi: 10.3171/2014.3.FOCUS144

45. Sharma AK, Kepler CK, Girardi FP, et al. Lateral lumbar interbody fusion: clinical and radiographic outcomes at 1 year: a preliminary report. *J Spinal Disord Tech.* 2011;24(4):242-250. doi: 10.1097/BSD.0b013e3181ecf995
46. Li J, Li H, Zhang N, et al. Radiographic and clinical outcome of lateral lumbar interbody fusion for extreme lumbar spinal stenosis of Schizas grade D: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):259. doi: 10.1186/s12891-020-03282-6
47. Formica M, Quarto E, Zanirato A, et al. Lateral Lumbar Interbody Fusion: What Is the Evidence of Indirect Neural Decompression? A Systematic Review of the Literature. *HSS J.* 2020;16(2):143-154. doi: 10.1007/s11420-019-09734-7
48. Lang G, Perrech M, Navarro-Ramirez R, et al. Potential and Limitations of Neural Decompression in Extreme Lateral Interbody Fusion-A Systematic Review. *World Neurosurg.* 2017;101:99-113. doi: 10.1016/j.wneu.2017.01.080
49. Shimizu T, Fujibayashi S, Otsuki B, et al. Indirect decompression with lateral interbody fusion for severe degenerative lumbar spinal stenosis: minimum 1-year MRI follow-up. *J Neurosurg Spine.* 2020;33(1):27-34. doi: 10.3171/2020.1.SPINE191412
50. Elowitz EH, Yanni DS, Chwajol M, et al. Evaluation of indirect decompression of the lumbar spinal canal following minimally invasive lateral transposas interbody fusion: radiographic and outcome analysis. *Minim Invasive Neurosurg.* 2011;54(5-6):201-6. doi: 10.1055/s-0031-1286334
51. Walker CT, Xu DS, Cole TS, et al. Predictors of indirect neural decompression in minimally invasive transposas lateral lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine.* 2021;35(1):80-90. doi: 10.3171/2020.8.SPINE20676
52. Angel Roldan M, Atalay B, Navarro-Ramirez R, et al. Excessive Fluid in the Lumbar Facet Joint as a Predictor of Radiological Outcomes After Lateral Lumbar Interbody Fusion. *Cureus.* 2022;14(10):e30217. doi: 10.7759/cureus.30217
53. Oliveira L, Marchi L, Coutinho E, Pimenta L. A radiographic assessment of the ability of the extreme lateral interbody fusion procedure to indirectly decompress the neural elements. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35(26 Suppl):S331-S337. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182022db0
54. Manzur MK, Samuel AM, Morse KW, et al. Indirect Lumbar Decompression Combined With or Without Additional Direct Posterior Decompression: A Systematic Review. *Global Spine J.* 2022;12(5):980-989. doi: 10.1177/21925682211013011
55. Василенко И.И., Евсюков А.В., Рябых С.О. и др. Лечение пациентов с дегенеративными деформациями поясничного отдела позвоночника с использованием MIS-технологий: анализ 5-летних результатов. *Хирургия позвоночника.* 2022;19(4):52-59. doi: 10.14531/ss2022.4.52-59
56. Hiyama A, Katoh H, Sakai D, et al. The Analysis of Preoperative Roussouly Classification on Pain Scores and Radiological Data in Lateral Lumbar Interbody Fusion for Patients with Lumbar Degenerative Disease. *World Neurosurg.* 2023;175:e380-e390. doi: 10.1016/j.wneu.2023.03.102
57. Kirnaz S, Navarro-Ramirez R, Gu J, et al. Indirect Decompression Failure After Lateral Lumbar Interbody Fusion-Reported Failures and Predictive Factors: Systematic Review. *Global Spine J.* 2020;10(2 Suppl):8S-16S. doi: 10.1177/2192568219876244
58. Spirig JM, Farshad M. CME: Lumbar spinal stenosis. *Praxis (Bern 1994).* 2018;107(1):7-15. (In German) doi: 10.1024/1661-8157/a002863
59. Epstein NE. Review of Risks and Complications of Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF). *Surg Neurol Int.* 2019;10:237. doi: 10.25259/SNI_559_2019
60. Hlubek RJ, Eastlack RK, Mundis GM Jr. Transposas Approach Nuances. *Neurosurg Clin N Am.* 2018;29(3):407-417. doi: 10.1016/j.nec.2018.02.002

Статья поступила 10.06.2024; одобрена после рецензирования 09.07.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 10.06.2024; approved after reviewing 09.07.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Илья Дмитриевич Исаков — младший научный сотрудник, Doctorisakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9228-3241>;

Абдугафур Джабборович Сангинов — научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4744-4077>;

Шамиль Альфинович Ахметьянов — научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-0505-8319>;

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

Артем Николаевич Сорокин — научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0003-1301-7226>;

Алексей Владимирович Пелеганчук — старший научный сотрудник, <https://orcid.org/0000-0002-4588-428X>.

Information about the authors:

Ilya D. Isakov — Junior Research, Doctorisakov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9228-3241>;

Abdugafur J. Sanginov — Research, <https://orcid.org/0000-0002-4744-4077>;

Shamil A. Akhmetyanov — Research, <https://orcid.org/0000-0003-0505-8319>;

Evgeniy A. Mushkachev — Junior Research, <https://orcid.org/0000-0003-0346-3898>;

Artem N. Sorokin — Research, <https://orcid.org/0000-0003-1301-7226>;

Alexey V. Peleganchuk — Senior Research, <https://orcid.org/0000-0002-4588-428X>.

Вклад авторов:

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

Обзорная статья

УДК 616.747.7-009.1-08-039.73:616-089](048.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-906-915>



Стенозирующий лигаментит пальцев кисти

Г.П. Котельников, А.С. Панкратов, А.Н. Николаенко, А.П. Борисов✉, А.С. Ключников, В.В. Пискун, Н.А. Князев, Д.В. Люкшин

Самарский государственный медицинский университет, Самара, Россия

Автор, ответственный за переписку: Александр Павлович Борисов, dr_borisov71@mail.ru

Аннотация

Введение. Стенозирующий лигаментит пальцев кисти является распространенной причиной инвалидности руки. Несмотря на 174-летнюю историю изучения заболевания, тактика лечения и новые малоинвазивные подходы к оперативному вмешательству вызывают интерес исследователей всего мира.

Цель работы — на основании анализа российских и зарубежных литературных источников определить современное состояние проблемы лечения стенозирующего лигаментита.

Материалы и методы. Поиск научных публикаций осуществлен в поисковых системах PubMed, MedLine и eLibrary. Отобрано 70 источников, преимущественно за последние 10 лет.

Результаты и обсуждение. Лечение стенозирующего лигаментита следует начинать в зависимости от стадии заболевания с учетом его продолжительности, наличия рецидивов или осложнений, сопутствующего состояния пациента. Консервативная терапия должна включать ортопедическую иммобилизацию сустава и/или инъекции кортикостероидов. Несмотря на то, что чрескожное рассечение кольцевидной связки малоинвазивно и имеет ряд преимуществ (меньшую травматизацию тканей, более короткое время восстановления, отсутствие болезненных рубцов), согласно данным большинства исследователей, предпочтительно использовать открытую лигаментотомию, которая способствует минимизации осложнений и рецидивов заболевания.

Заключение. Эффективность консервативных методик при лечении стенозирующего лигаментита составляет от 47 до 93 %, хирургического вмешательства — 94–99 %. Хирургическое лечение показано при отсутствии результатов консервативного лечения. Оно является высокоэффективным, имеет малое количество осложнений и рецидивов.

Ключевые слова: стенозирующий лигаментит, болезнь Нотта, кольцевидная связка

Для цитирования: Котельников Г.П., Панкратов А.С., Николаенко А.Н., Борисов А.П., Ключников А.С., Пискун В.В., Князев Н.А., Люкшин Д.В. Стенозирующий лигаментит пальцев кисти. *Гений ортопедии*. 2024;30(6):906-915. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-906-915. EDN: GRPZUY.

Review article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-6-906-915>



Stenosing tenosynovitis

G.P. Kotelnikov, A.S. Pankratov, A.N. Nikolaenko, A.P. Borisov✉, A.S. Klyuchnikov, V.V. Piskun, N.A. Knyazev, D.V. Lukshin

Samara State Medical University, Samara, Russian Federation

Corresponding author: Alexander P. Borisov, dr_borisov71@mail.ru

Abstract

Introduction Stenosing tenosynovitis or trigger finger is a common cause of hand disability. With the 174-year history of the condition, treatment strategy and new minimally invasive surgical approaches are essential for researchers around the world.

The **objective** was to determine the current treatment options of the stenosing tenosynovitis using the Russian and foreign literature.

Material and methods The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org) and MedLine. Seventy contributions were identified published for the last 10 years.

Results and discussion Treatment of stenosing ligamentitis can be initiated depending on the stage of the disease, the duration, relapses or complications, comorbidities. Conservative orthopaedic treatment includes joint immobilization and/or corticosteroid injections. Although percutaneous dissection of the annular ligament is minimally invasive and has advantages of less tissue trauma, shorter recovery time, absence of painful scars open ligamentotomy can help to minimize complications and relapses of the disease.

Conclusion Conservative treatment of trigger finger is effective in 47 to 93 % and surgical procedures are practical in 94–99 %. Surgical treatment can be employed with failure of conservative treatment and has been shown to be effective and with a low rate of complications and relapses.

Keywords: stenosing tenosynovitis, Nott's disease, annular ligament

For citation: Kotelnikov GP, Pankratov AS, Nikolaenko AN, Borisov AP, Klyuchnikov AS, Piskun VV, Knyazev NA, Lukshin DV. Stenosing tenosynovitis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(6):906-915. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-6-906-915

ВВЕДЕНИЕ

Стенозирующий лигаментит (СЛ) («щелкающий» палец, болезнь Нотта) — распространенное заболевание пальцев кисти, которое вызвано поражением сухожильно-связочного аппарата, приводящим к нарушению двигательной функции [1]. Болезнь щелкающего пальца получила свое название из-за болезненного щелкающего звука, издаваемого при движении пораженного пальца [2]. Заболевание впервые описано в 1850 г. французским хирургом Альфредом Ноттом [2, 3] и характеризуется типичным «защелкиванием» пальца или пальцев при максимальном сгибании в кулак, ограничением движений, болью у основания пальцев при надавливании, утренней скованностью движений в кисти [4]. СЛ нередко приводит к выраженному снижению функции кисти и силы захвата. При прогрессировании болезни может изменяться качество жизни пациента [5, 6].

Цель работы — на основании анализа российских и зарубежных литературных источников определить современное состояние проблемы лечения стенозирующего лигаментита.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для поиска публикаций использовали электронные базы PubMed, MedLine и электронную библиотеку eLibrary. Поиск осуществляли по ключевым словам и словосочетаниям на русском и английском языках: стенозирующий лигаментит (stenosing ligamentitis), частота встречаемости патологии (incidence of pathology), консервативная терапия (conservative therapy), оперативные методы лечения (operative methods of treatment), отдаленные результаты лечения (long-term treatment results), осложнения (complications).

Критерии включения:

- полнотекстовые научные статьи, в которых представлены основополагающие сведения о стенозирующем лигаментите (этиология, патоморфология, классификация);
- полнотекстовые научные публикации, содержащие современную информацию о методах лечения СЛ (консервативного и оперативного);
- полнотекстовые научные статьи, представляющие результаты многоцентровых когортных исследований, а также конкретные клинические примеры, посвященные лечению СЛ, его осложнений и отдаленным результатам терапии.

Критерии невключения: тезисы научно-практических конференций, статьи без полнотекстовой версии, а также публикации, которые не удовлетворяли в полной мере критериям включения.

Для анализа отобрано 70 публикаций (59 иностранных и 11 отечественных), преимущественно использовали литературу за последние 10 лет.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Этиология заболевания. В литературе описано несколько причин возникновения щелкающего пальца, хотя точная этиология до настоящего времени не выяснена. Возможной причиной являются повторные, монотонные движения пальцев и локальная травма [7]. Имеются литературные данные, связывающие щелкающий палец с профессиями, требующими длительного захвата предметов и сгибания руки, такими как использование ножниц или ручных инструментов [7–10]. Помимо этого, развитию болезни Нотта способствуют деформирующий артроз суставов пальцев кисти, теносиновит сухожилий сгибателей и другие воспалительные заболевания кисти [11]. СЛ нередко возникает на фоне системных заболеваний — сахарного диабета, подагры или ревматоидного артрита [12]. Кроме вышеперечисленных в качестве причин болезни упоминаются выполнение однообразных движений руками (печать на клавиатуре, вождение автомобиля); регулярные, интенсивные нагрузки на пальцы; воспалительный процесс, локализованный в кисти; травмы и повреждения; наследственная предрасположенность; атеросклероз; заболевания щитовидной железы; постоянное сдавливание связок; физический труд с нагрузкой на руки [13, 14].

Хотя естественное течение СЛ не изучено полностью, D. McKee et al. определили, что у 52 % пациентов в когорте из 348 человек симптомы заболевания полностью исчезли к 8 мес. без какого-либо лечения [15]. По статистике СЛ встречается у 2–3 % населения, чаще у женщин старше 40 лет [16]. Стоит отметить, что нередко данное поражение встречается у детей [17]. Как правило, СЛ поражает в первую очередь безымянный и большой пальцы: безымянный палец — 44 %, большой палец — 26 %, средний палец — 20 %, мизинец — 7 %, указательный палец — 3 % случаев [18].

Патоморфология. При СЛ воспаление и гипертрофия кольцевидной связки постепенно ограничивают нормальную экскурсию сухожилий сгибателя [19, 20]. Биомеханическая основа эффективного функционирования сухожилий кисти обеспечивается системой, состоящей из кольцевидных и крестообразных блоков в каждом пальце, которые служат для максимизации силы, вырабатываемой сухожилием сгибателя, и эффективности движения (рис. 1) [19].

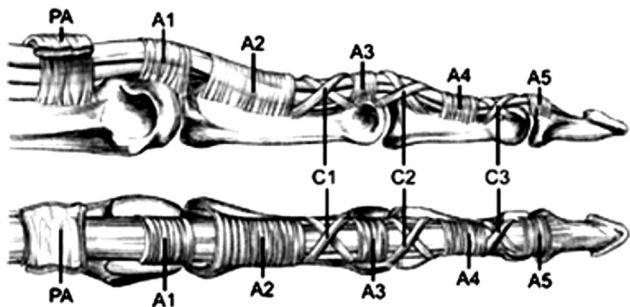


Рис. 1. Схема костно-фиброзного канала:
А — кольцевидные блоки (А1–А5);
С — крестообразные блоки (С1–С3);
РА — ладонный апоневроз [19]

Наиболее часто поражаемым блоком при СЛ является первый кольцевидный блок (А1) на головке пястной кости, хотя известны случаи во втором и третьем кольцевидных блоках (А2 и А3), а также в ладонном апоневрозе [19]. Это связано с тем, что из-за своего расположения блок А1 подвергается воздействию самых высоких сил и градиентов давления как при нормальном, так и при силовом захвате. Болезнь Нотта характеризуется утолщением сухожильного влагалища и связки А1, а иногда и образованием узелков на сухожилии вместе с сужением просвета, что приводит к нарушению связи между сухожилием и его влагалищем на уровне головки пястной кости.

Классификация. Согласно классификации D.P. Green [11] выделяют четыре степени тяжести СЛ (табл. 1).

Таблица 1

Классификация СЛ (D.P. Green)

Стадия		Клинические признаки
I (начальная)		Боль, защемление, сообщаемое пациентом, болезненность над блоком А1
II (активная)		Фиксация при разгибании пальца при физикальном обследовании
III (пассивная)	III А	Исправление защемления с помощью пассивного разгибания пальца
	III Б	Потеря активного сгибания
IV (контрактура)		Защемление с фиксированной сгибательной контрактурой проксимального межфалангового сустава

На ранних стадиях заболевания у пациентов может наблюдаться безболезненное щелканье или скованность пораженного пальца (стадия I) [21]. По мере прогрессирования заболевания возникает болезненное защемление или блокировка пальца, что может потребовать пассивного разгибания непораженной руки (стадия II). При осмотре сустава пораженного пальца обычно не опухают и не эритематозны, несмотря на жалобы на боль. При щелкающем пальце утолщенный и болезненный блок А1 можно пропальпировать сразу дистальнее поперечной ладонной складки, что отличает его от других заболеваний рук (ревматоидный артрит, подагра и др.). Наличие этого «болезненного узелка» и отсутствие предшествующей травмы подтверждают подозрение на СЛ III стадии. На поздней стадии заболевания (степень IV) пациенты намеренно стараются избегать активного использования пальца, что приводит к развитию фиксированной контрактуры проксимального межфалангового сустава [21].

Лечение стенозирующего лигаментита. Наиболее эффективный метод терапии болезни Нотта все еще остается предметом дискуссий [23, 24, 25, 26]. В зависимости от степени болезни в медицинской практике используют различные методы, однако, как правило, следует начинать с консервативной терапии [27].

Консервативное лечение. Первоначальное консервативное лечение СЛ включает использование нестероидных противовоспалительных препаратов для купирования болевого синдрома, иммобилизацию пястно-фалангового сустава, инъекции кортикостероидов, физиотерапию и массаж [25, 28, 29].

Иммобилизация пястно-фалангового сустава. Целью шинирования является предотвращение трения, вызванного движением сухожилия сгибателя через пораженный блок А1, пока воспаление не купируется [29]. Считается, что шинирование является подходящим вариантом лечения для пациентов, которые отказываются от инъекций кортикостероидов [30]. Данный метод менее эффективен у пациентов с тяжелыми триггерами или длительной продолжительностью симптомов. При этом используют различные варианты шин: изготовленные по индивидуальному заказу кольцевые шины, шины из термопластика, металла или готовые шины (рис. 2) [29].



Рис. 2. Варианты шинирования пальцев кисти [29]

Следует шинировать палец в течение 6 нед. или дольше, если воспаление продолжается. D. Lunsford et al. рекомендуют иммобилизацию сустава на 6–10 нед., при этом эффективность лечения составляет 47–93 % [27]. По мере уменьшения боли и воспаления пациент может самостоятельно накладывать шину на ночь и постепенно возобновлять обычную деятельность руки [29]. Некоторым пациентам может потребоваться до 6 мес. На основе европейского исследования HANDGUIDE сделан вывод, что оптимального режима ортопедии не существует, и продолжительность лечения должна подбираться индивидуально в зависимости от продолжительности симптомов, тяжести и предпочтений каждого пациента [22].

Инъекция кортикостероидов. Инъекция кортикостероидов для лечения щелкающего пальца описана еще в 1953 г. L.D. Howard [30]. В исследованиях ряда авторов указывается достаточно высокая эффективность (до 93 %) на начальных стадиях СЛ при отсутствии сопутствующих эндокринологических заболеваний, продолжительности болезни менее 6 мес., одном пораженном пальце [31, 32, 33, 34]. Многие исследователи подчеркивают, что при болезни Нотта, продолжающейся более 6 мес., происходит хондронная метаплазия связки A1, следовательно, консервативная терапия не будет эффективна [32, 33]. В доступной литературе указан широкий диапазон эффективности — от 49 до 93 % после первой инъекции [32, 34]. J. Castellanos et al. описывают долгосрочную эффективность кортикостероидной терапии в 69 % (продолжительность наблюдения составила 8 лет, в исследование включен 71 пациент) [35].

Инъекцию традиционно вводят непосредственно в оболочку [36]. Имеются сообщения о внесиновиальной инъекции, которая может быть столь же эффективной, но при этом снижается риск повреждения сухожилия (рис. 3) [29]. Если симптомы не исчезают после первой инъекции или возвращаются после нее, вероятность успеха второй инъекции обычно вдвое ниже, чем при первоначальном лечении [29].

C.S. Polat et al. оценили эффективность кортикостероидной терапии у 43 пациентов, инъекции проводили под контролем УЗИ [37]. Авторы описывают высокую эффективность инъекции глюкокортикостероидов в сочетании с иммобилизацией сустава.

В проспективном анализе 99 щелкающих пальцев K.J. Shultz et al. наблюдали постоянные симптомы после инъекции кортикостероидов в течение одного месяца у пациентов с несколькими щелкающими пальцами в 5,8 раза чаще, чем у пациентов с одним пораженным пальцем [38].

Физиотерапия и массаж включают:

- ультразвуковое воздействие на воспаленное сухожилие и влагалище для уменьшения воспаления и рубцовых спаек;
- фрикционный массаж сухожилий, который может разрушить и уменьшить спайки, узелки и отеки;
- пассивный диапазон движений в пястных и межфаланговых суставах;
- пассивное внутреннее и внешнее растяжение кисти и запястья [29].

P.E. Ferrara et al. рекомендуют использование экстракорпоральной ударно-волновой терапии (ESWT) с частотой 15 Гц и плотностью потока от 0,1 до 3 бар [39]. Результаты показали, что ESWT является эффективной и безопасной терапией для консервативного лечения СЛ: значительно купирует болевой синдром, улучшает функциональный уровень и качество жизни.

Хирургическое лечение. При неэффективности консервативного лечения и блокад, а также при наличии поздних стадий заболевания рекомендовано оперативное вмешательство — рассечение кольцевидной связки A1 у основания пальца [40–43].

При болезни Нотта операцию выполняют двумя основными способами:

- 1) открытый метод с небольшим разрезом кожи, наложением швов и последующими повязками (под местной анестезией хирург-ортопед рассекает кольцевидную связку A1, которая ограничивает движение сухожилия) [44, 45];
- 2) малоинвазивный метод, при котором делают лишь небольшие проколы кожи иглой, без наложения швов и повязок [46, 47].

Хирургическое открытое вмешательство является «золотым стандартом» лечения СЛ, поскольку оно позволяет более тщательно осмотреть область операции, является высокоэффективным (эффективность приближается к 100 %) и имеет низкий уровень осложнений [48]. Существует множество техник хирургического открытого лечения СЛ [49, 50, 51].



Рис. 3. Место инъекции: A1 — проекция расположения блока A1; NV — проекция сосудисто-нервного пучка [29]

А. Kosiyatrakul и S. Luenam предлагают следующую хирургическую технику [52]. Кисть пациента удерживают в супинаторном положении, большой палец — в положении радиального отведения. Линию разреза планируют до инъекции местной анестезии. Лучевая борозда находится между блоком А1 и лучевой сесамовидной костью. Длинный сгибатель большого пальца и проксимальную фалангу большого пальца идентифицируют пальпаторно и обозначают маркером (рис. 4). Кожу инфильтрируют 3–4 мл 1 % лидокаина без адреналина, вокруг плеча накладывают жгут. Производят разрез кожи по намеченной линии. При рассечении глубокого дермального слоя кожи проводят мягкую тупую диссекцию для идентификации лучевого пальцевого нерва в подкожном слое. Связку А1 рассекают скальпелем вдоль ее радиального края (рис. 5). Кожу зашивают нейлоновыми швами 4–0.

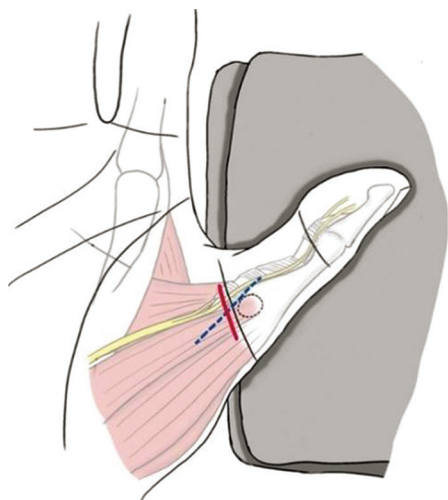


Рис. 4. Иллюстрация разреза кожи (красная линия), радиальной борозды (пунктирная синяя линия) и лучевой сесамовидной кости (пунктирная черная линия) [52]

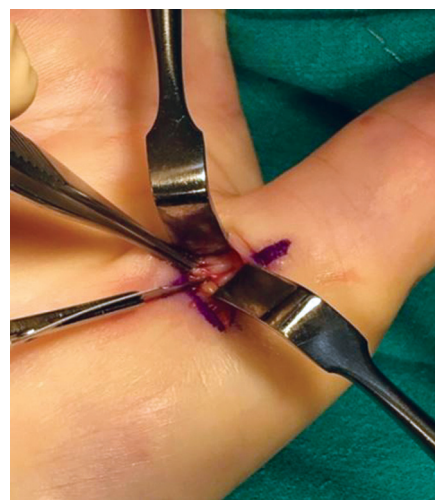


Рис. 5. Рассечение блока А1 большого пальца по его лучевому краю [52]

Осложнения при открытом вмешательстве на блоке А1 могут варьировать от незначительных до значительных [53, 54]. Незначительные осложнения (болезненность в области рубца, в месте локализации блока А1 и небольшое отставание при разгибании) не требуют хирургического лечения. Значительные осложнения вызывают существенные нарушения функций руки, включая постоянное или рецидивирующее срабатывание, натяжение сухожилия сгибателя и повреждение пальцевого нерва [55].

Наиболее уязвимой структурой во время высвобождения блока А1 большого пальца является лучевой пальцевой нерв [56]. Нерв может быть поврежден, если разрез кожи сделан слишком глубоко. Анатомические исследования показали, что нерв расположен на глубине 1,29–2,19 мм в коже. Таким образом, как только будет рассечен самый глубокий дермальный слой кожи, следует провести осторожное тупое рассечение для идентификации и защиты лучевого пальцевого нерва [56].

В ретроспективном исследовании 3428 пациентов, перенесших открытое хирургическое вмешательство на щелкающем пальце, J.E. Koorman et al. сообщили, что у 16 % пациентов возникли осложнения, и только 2 % потребовалось оперативное лечение [57].

А.Е. Federer et al. продемонстрировали значительно более высокий показатель осложнений (26,3 % против 13,0 %) у пациентов с сахарным диабетом по сравнению с больными без диабета, что было связано со значительно более высоким показателем ограниченного послеоперационного диапазона движений у пациентов с эндокринологической патологией [58].

Чрескожное вмешательство на кольцевидной связке широко освещается в литературе, при этом эффективность данного метода приближается к 95 % [59, 60]. Чрескожное хирургическое вмешательство на блоке А1 впервые представлено J. Lorthioir в 1958 году [61]. D.M. Eastwood et al. еще в 1992 г. назвали его амбулаторной процедурой, показав эффективность 94 % [62]. При данном вмешательстве пястно-фаланговый сустав гиперэкстензируется ладонью вверх, тем самым растягивая блок А1 и смещая нейроваскулярные структуры дорсально. После инъекции лидокаина для купирования боли игла вводится через кожу в блок А1. Затем ее перемещают, чтобы надрезать блок проксимальнее и дистальнее места инъекции [60].

А.В. Жигало с соавт. разработали новый малоинвазивный способ подкожного рассечения связки А1 с помощью использования специальных игл малого диаметра (0,6–1,2 мм) [63, 64]. При применении данной техники у 215 пациентов в большинстве случаев получены отличные и хорошие результаты (70 % и 20,3 % соответственно); удовлетворительные — в 7,5 %, неудовлетворительные (рецидив заболевания) — в 2,2 % случаев [63].

Китайские исследователи M. Pan et al. оценили у 21 пациента эффективность технологии чрескожного рассечения кольцевидной связки с использованием игольчатого ножа под контролем УЗИ [65], получив эффект при однократном вмешательстве.

P. Xie et al. рандомизировали 76 пациентов в группы при открытом или чрескожном хирургическом вмешательстве и не обнаружили никакой разницы в диапазоне движений пальцев или рецидиве симптомов [60]. Однако некоторые авторы ссылаются на повышенный риск неполного освобождения, образования рубцов, повреждения нервов и рецидива [66]. A. Aksoy указывает на то, что чрескожная декомпрессия — это вмешательство, выполняемое вслепую, и нельзя забывать о возникновении непредвиденных осложнений, таких как повреждения пальцевого нерва (гипестезия), рецидива, болезненного рубца и разрыва сухожилия [66].

Несмотря на выявленную по данным многих авторов высокую эффективность хирургического лечения СЛ, имеются публикации, свидетельствующие о сохраняющемся болевом синдроме при долгосрочном исследовании пациентов. Так, D. Langer et al. показывают, что через год после вмешательства в 37 % случаев больные жаловались на умеренные или сильные боли [67].

Однако не только хирургическое вмешательство чревато последствиями. J. Oh описывает необычный случай разрыва глубокого сгибателя пальцев после однократной инъекции кортикостероидов у 57-летнего гольфиста-мужчины [68]. На подобные осложнения указывают и другие авторы [69, 70].

ОБСУЖДЕНИЕ

Стенозирующий лигаментит — это распространенная причина инвалидности кисти, часто встречается в практической работе профильных специалистов, однако до настоящего времени выбор оптимального метода лечения является предметом дискуссий.

Лечение следует начинать с консервативных методов при наличии показаний (I–III стадии заболевания). Инъекции кортикостероидов уменьшают толщину блока A1 и считаются терапией первой линии. При этом большинство авторов отмечает невысокую эффективность гормональной терапии (43–57 %) [16, 19, 27, 28, 30, 34, 38]. Инъекции кортикостероидов следует предлагать всем пациентам перед хирургическим вмешательством, независимо от сопутствующих заболеваний [12, 41]. Индивидуальные ортопедические шины позволяют уменьшить боль, но требуют длительной иммобилизации сустава. Показатели эффективности ортезов составляют 50–93 %, в случае поражения большого пальца — менее 50 % [22, 29]. Однако анализ литературных данных, включая рандомизированные когортные исследования, показал отсутствие убедительных доказательств эффективности высокого уровня [4, 14, 15].

Большинство авторов отдает предпочтение оперативным методам [6, 26, 40, 41, 43, 60, 66]. Хирургическое лечение СЛ не следует проводить в течение трех месяцев после инъекции кортикостероидов [19, 27]. По данным многих исследователей, показатели эффективности сопоставимы как при открытом, так и при чрескожном доступе [24, 27, 42, 52, 57, 60]. Чрескожный способ считается менее инвазивной операцией, однако присутствует риск ятрогенного повреждения лучевого пальцевого нерва [36, 46, 61, 62, 63]. Открытый метод является предпочтительным, по мнению многих авторов, хотя он и связан с риском инфицирования в краткосрочной перспективе, образованием рубцовой ткани, тем не менее, имеет более высокие показатели эффективности при ретроспективном долгосрочном изучении [1, 45, 52, 53]. Кроме того, данный метод позволяет хирургам идентифицировать редкий случай атравматического разрыва сухожилия глубокого сгибателя пальцев [27].

Мы считаем, что лечение болезни Нотта должно быть индивидуальным. Каждый вариант лечения имеет свои преимущества, риски и ограничения. Перед принятием обоснованного решения необходимо обсудить эти вопросы с пациентом. Мы согласны с тем, что лечение следует начинать с консервативных методов при I–III стадии СЛ. Хирургические методы имеют более высокие показатели эффективности, однако они должны применяться в случае неэффективности консервативной терапии, при рецидиве болезни и IV стадии заболевания (рис. 6).

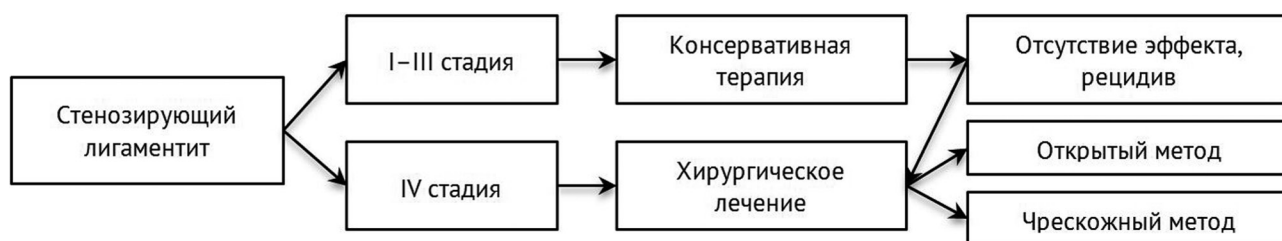


Рис. 6. Алгоритм лечения стенозирующего лигаментита

Дальнейшее изучение этиологии, патогенеза и патоморфологии СЛ поможет разработать новые методы терапии. Отдельный интерес представляет разработка новых малоинвазивных способов лечения болезни Нотта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ современной литературы показал, что лечение СЛ следует начинать консервативно с инъекций кортикостероидов и/или ортопедической иммобилизации пястно-фалангового или проксимального межфалангового сустава.

Хирургическое вмешательство (открытый или чрескожный метод) показано при рецидиве после или неэффективности консервативного лечения или изначально в случаях продолжительностью > 6 месяцев. Открытое хирургическое вмешательство на связке А1 считается «золотым стандартом» вследствие минимизации осложнений и рецидивов.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнялась в соответствии с планом научных исследований Самарского государственного медицинского университета. Финансовой поддержки со стороны компаний-производителей лекарственных препаратов авторы не получали.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чуловская И.Г., Егиязарян К.А., Бадриев Д.А. и др. Стенозирующий лигаментит кольцевидных связок пальцев кисти (болезнь Нотта). Современный взгляд на диагностику и лечение. *Хирургическая практика*. 2023; 8(3):73-86. doi: 10.38181/2223-2427-2023-3-6
2. Чуловская И.Г., Егиязарян К.А., Лядова М.В. Болезни кисти в пожилом и старческом возрасте. В кн: *Гериатрия. Национальное руководство*. Под ред. Ткачевой О.Н., Фроловой Е.В., Яхно Н.Н. М.: ГЭОТАР-Медиа. 2018;486-500.
3. Clapham PJ, Chung KC. A historical perspective of the Notta's node in trigger fingers. *J Hand Surg Am*. 2009;34(8):1518-1522. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.04.041
4. Saldana MJ. Trigger digits: diagnosis and treatment. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9(4):246-252. doi: 10.5435/00124635-200107000-00004
5. Lin YN, Chiu CC, Huang SW, et al. Association Between Manual Loading and Newly Developed Carpal Tunnel Syndrome in Subjects With Physical Disabilities: A Follow-Up Study. *Arch Phys Med Rehabil*. 2017;98(10):2002-2008. doi: 10.1016/j.apmr.2017.02.008
6. Hammert WC, Boyer MI, Bozentka DJ, Calfee RP. *ASSH Manual of Hand Surgery*. Lippincott Williams & Wilkins; 2012:656.
7. Волкова А.М. *Хирургия кисти*. Том 1. Екатеринбург: Средне-Уральское книжное издательство; 1991:123-124.
8. Каратеев А.Е., Каратеев Д.Е., Орлова Е.С., Ермакова Ю.А. «Малая» ревматология: несистемная ревматическая патология околосуставных мягких тканей верхней конечности. Часть 1. *Современная ревматология*. 2015;9(2):4-15. doi: 10.14412/1996-7012-2015-2-4-15
9. Sampson SP, Badalamente MA, Hurst LC, Seidman J. Pathobiology of the human A1 pulley in trigger finger. *J Hand Surg Am*. 1991;16(4):714-21. doi: 10.1016/0363-5023(91)90200-u
10. Gorsche R, Wiley JP, Renger R, et al. Prevalence and incidence of stenosing flexor tenosynovitis (trigger finger) in a meat-packing plant. *J Occup Environ Med*. 1998;40(6):556-560. doi: 10.1097/00043764-199806000-00008
11. Wolfe SW. Tendinopathy. In: Wolfe SW, Hotchkiss RN, Pederson WC, Kozin SH, Cohen MS, eds. *Green's Operative Hand Surgery*. 7th ed. Philadelphia: Elsevier; 2017:1903-1925.
12. Kuczmarski AS, Harris AP, Gil JA, Weiss AC. Management of Diabetic Trigger Finger. *J Hand Surg Am*. 2019;44(2):150-153. doi: 10.1016/j.jhsa.2018.03.045
13. Новиков А.В., Шедрина М.А. О критериях оценки эффективности реабилитации больных с патологией кисти. *Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова*. 2007;(1):78-83.
14. Lee YK, Kam BS, Lee KW, et al. Ten trigger fingers in an adult man: a case report. *J Korean Med Sci*. 2007;22(1):170-172. doi: 10.3346/jkms.2007.22.1.170
15. McKee D, Lalonde J, Lalonde D. How Many Trigger Fingers Resolve Spontaneously Without Any Treatment? *Plast Surg (Oakv)*. 2018;26(1):52-54. doi: 10.1177/2292550317740691
16. Gil JA, Hresko AM, Weiss AC. Current Concepts in the Management of Trigger Finger in Adults. *J Am Acad Orthop Surg*. 2020;28(15):e642-e650. doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00614
17. Ashmead D 4th, Okada H, Macknin J, et al. Trigger Fingers After Open Carpal Tunnel Release. *Plast Surg (Oakv)*. 2020;28(4):192-195. doi: 10.1177/2292550320928554
18. Farr S. Open Release of Pediatric Trigger Thumb. *JBJS Essent Surg Tech*. 2022;12(2):e21.00053. doi: 10.2106/JBJS.ST.21.00053
19. Makkouk AH, Oetgen ME, Swigart CR, Dodds SD. Trigger finger: etiology, evaluation, and treatment. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2008;1(2):92-96. doi: 10.1007/s12178-007-9012-1
20. Bayat A, Shaaban H, Giakas G, Lees VC. The pulley system of the thumb: anatomic and biomechanical study. *J Hand Surg Am*. 2002;27(4):628-635. doi: 10.1053/jhsu.2002.34008
21. Ng NYY, Sirisena R, Chua YX. Management of stenosing flexor tenosynovitis in primary care. *Singapore Med J*. 2023;64(4):255-261. doi: 10.4103/SINGAPOREMEDJ.SMJ-2021-262
22. Huisstede BM, Hoogvliet P, Coert JH, et al. Multidisciplinary consensus guideline for managing trigger finger: results from the European HANDGUIDE Study. *Phys Ther*. 2014;94(10):1421-1433. doi: 10.2522/ptj.20130135
23. Flatt AE. Notta's nodules and trigger digits. *Proc (Bayl Univ Med Cent)*. 2007;20(2):143-145. doi: 10.1080/08998280.2007.11928272
24. Ryzewicz M, Wolf JM. Trigger digits: principles, management, and complications. *J Hand Surg Am*. 2006;31(1):135-146. doi: 10.1016/j.jhsa.2005.10.013

25. Golas AR, Marcus LR, Reiffel RS. Management of Stenosing Flexor Tenosynovitis: Maximizing Nonoperative Success without Increasing Morbidity. *Plast Reconstr Surg*. 2016;137(2):557-562. doi: 10.1097/01.prs.0000475789.46608.39
26. Huisstede BM, Gladdens S, Randsdorp MS, Koes BW. Effectiveness of Conservative, Surgical, and Postsurgical Interventions for Trigger Finger, Dupuytren Disease, and De Quervain Disease: A Systematic Review. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(8):1635-1649.e21. doi: 10.1016/j.apmr.2017.07.014
27. Lunsford D, Valdes K, Hengy S. Conservative management of trigger finger: A systematic review. *J Hand Ther*. 2019;32(2):212-221. doi: 10.1016/j.jht.2017.10.016
28. Teo SH, Ng DCL, Wong YKY. Effectiveness of proximal interphalangeal joint-blocking orthosis vs metacarpophalangeal joint-blocking orthosis in trigger digit management: A randomized clinical trial. *J Hand Ther*. 2019;32(4):444-451. doi: 10.1016/j.jht.2018.02.007
29. Mandel C. *Conservative Management of Trigger Finger*. 2023. Available from: <https://www.medbridge.com/blog/2023/01/conservative-management-of-trigger-finger/>. Accessed Sept 5, 2024.
30. Howard LD Jr, Pratt DH, Bunnell S. The use of compound F (hydrocortone) in operative and non-operative conditions of the hand. *J Bone Joint Surg Am*. 1953;35-A(4):994-1002.
31. Matthews A, Smith K, Read L, et al. Trigger finger: An overview of the treatment options. *JAAPA*. 2019;32(1):17-21. doi: 10.1097/01.JAA.0000550281.42592.97
32. Dardas AZ, VandenBerg J, Shen T, et al. Long-Term Effectiveness of Repeat Corticosteroid Injections for Trigger Finger. *J Hand Surg Am*. 2017;42(4):227-235. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.02.001
33. Clark DD, Ricker JH, MacCollum MS. The efficacy of local steroid injection in the treatment of stenosing tenosynovitis. *Plast Reconstr Surg*. 1973;51(2):179-180. doi: 10.1097/00006534-197302000-00014
34. Wang AA, Hutchinson DT. The effect of corticosteroid injection for trigger finger on blood glucose level in diabetic patients. *J Hand Surg Am*. 2006;31(6):979-981. doi: 10.1016/j.jhsa.2006.03.022
35. Castellanos J, Muñoz-Mahamud E, Domínguez E, et al. Long-term effectiveness of corticosteroid injections for trigger finger and thumb. *J Hand Surg Am*. 2015;40(1):121-126. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.09.006
36. Panghate A, Panchal S, Prabhakar A, Jogani A. Outcome of percutaneous trigger finger release technique using a 20-gauge hypodermic needle. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;15:55-59. doi: 10.1016/j.jcot.2020.10.043
37. Polat CS, Onat SS, Kulakli F, et al. The effectiveness of ultrasound guided local corticosteroid injection combined with orthosis in the treatment of trigger digit: a randomized controlled study. *J PMR Sci*. 2023;26(2):125-132. doi: 10.31609/jpmrs.2022-90423
38. Shultz KJ, Kittinger JL, Czerwinski WL, Weber RA. Outcomes of Corticosteroid Treatment for Trigger Finger by Stage. *Plast Reconstr Surg*. 2018 Oct;142(4):983-990. doi: 10.1097/PRS.00000000000004761
39. Ferrara PE, Codazza S, Maccauro G, et al. Physical therapies for the conservative treatment of the trigger finger: a narrative review. *Orthop Rev (Pavia)*. 2020;12(Suppl 1):8680. doi: 10.4081/or.2020.8680
40. Hansen RL, Søndergaard M, Lange J. Open Surgery Versus Ultrasound-Guided Corticosteroid Injection for Trigger Finger: A Randomized Controlled Trial With 1-Year Follow-up. *J Hand Surg Am*. 2017;42(5):359-366. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.02.011
41. Stirling PHC, Jenkins PJ, Duckworth AD, et al. Functional outcomes of trigger finger release in non-diabetic and diabetic patients. *J Hand Surg Eur Vol*. 2020;45(10):1078-1082. doi: 10.1177/1753193420925027
42. Fiorini HJ, Tamaoki MJ, Lenza M, et al. Surgery for trigger finger. *Cochrane Database Syst Rev*. 2018;2(2):CD009860. doi: 10.1002/14651858.CD009860.pub2
43. Дзацеева Д.В., Титаренко И.В. Стенозирующий лигаментит пальцев кисти. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2006;165(6):63-68.
44. Дейкало В.П., Толстик А.Н., Болобошко К.Б. *Клиническая анатомия кисти и хирургические доступы*. Витебск: ВГМУ; 2013:123. Доступно по: <https://core.ac.uk/download/pdf/53873562.pdf>. Ссылка активна на 5.09.2024.
45. Ho SWL, Chia CY, Rajaratnam V. Characteristics and Clinical Outcomes of Open Surgery for Trigger Digits in Diabetes. *J Hand Microsurg*. 2019;11(2):80-83. doi: 10.1055/s-0038-1670927
46. Sahu R, Gupta P. Experience of Percutaneous Trigger Finger Release under Local Anesthesia in the Medical College of Mullana, Ambala, Haryana. *Ann Med Health Sci Res*. 2014;4(5):806-809. doi: 10.4103/2141-9248.141558
47. Twu J, Patel N, Wolf JM, Conti Mica M. Impact of Variation of Corticosteroid Dose, Injection Site, and Multiple Injections on Blood Glucose Measurement in Diabetic Patients. *J Hand Surg Am*. 2018;43(8):738-744. doi: 10.1016/j.jhsa.2018.06.005
48. Vasiliadis AV, Itsiopoulos I. Trigger Finger: An Atraumatic Medical Phenomenon. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2017;22(2):188-193. doi: 10.1142/S021881041750023X
49. Mohd Rashid MZ, Sapuan J, Abdullah S. A randomized controlled trial of trigger finger release under digital anesthesia with (WALANT) and without adrenaline. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2019;27(1):2309499019833002. doi: 10.1177/2309499019833002
50. Дзацеева Д.В., Титаренко И.В. Способ хирургического лечения стенозирующего лигаментита пальцев кисти. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 2008;167(1):72-74.
51. Tyllianakis M, Kasimatis G, Athanaselis S, Melachrinou M. Rice-body formation and tenosynovitis of the wrist: a case report. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2006;14(2):208-211. doi: 10.1177/230949900601400221
52. Kosiyatrakul A, Luenam S. Surgical Treatment for Trigger Thumb Using a Radial Approach. *J Hand Microsurg*. 2022;15(5):388-394. doi: 10.1055/s-0042-1749421
53. Will R, Lubahn J. Complications of open trigger finger release. *J Hand Surg Am*. 2010;35(4):594-596. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.12.040
54. Baek JH, Chung DW, Lee JH. Factors Causing Prolonged Postoperative Symptoms Despite Absence of Complications After A1 Pulley Release for Trigger Finger. *J Hand Surg Am*. 2019;44(4):338.e1-338.e6. doi: 10.1016/j.jhsa.2018.06.023
55. Bruijnzeel H, Neuhaus V, Fostvedt S, et al. Adverse events of open A1 pulley release for idiopathic trigger finger. *J Hand Surg Am*. 2012;37(8):1650-6. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.05.014
56. Laing TA, Sierakowski A, Elliot D. Management of painful scar-tethered cutaneous nerves of the upper limb. *Hand Surg Rehabil*. 2019;36(3):208-214. doi: 10.1016/j.hansur.2017.03.001
57. Koopman JE, Zweedijk BE, Hundepool CA, et al. Prevalence and Risk Factors for Postoperative Complications Following Open A1 Pulley Release for a Trigger Finger or Thumb. *J Hand Surg Am*. 2022;47(9):823-833. doi: 10.1016/j.jhsa.2022.04.017

58. Federer AE, Baumgartner RE, Cunningham DJ, Mithani SK. Increased Rate of Complications following Trigger Finger Release in Diabetic Patients. *Plast Reconstr Surg*. 2020;146(4):420e-427e. doi: 10.1097/PRS.0000000000007156
59. Шластин Н.П. Десятилетний опыт применения малоинвазивной лигаментотомии при стенозирующем лигаментите у детей. *Вопросы современной педиатрии*. 2006;5(1):659. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/desyatiletniy-opyt-primeneniya-maloinvazivnoy-ligamentotomii-pri-stenoziruyuschem-ligamentite-u-detey/viewer>
60. Xie P, Zhang QH, Zheng GZ, et al. Stenosing tenosynovitis : Evaluation of percutaneous release with a specially designed needle vs. open surgery. *Orthopade*. 2019;48(3):202-206. doi: 10.1007/s00132-018-03676-4
61. Lorthioir J Jr. Surgical treatment of trigger-finger by a subcutaneous method. *J Bone Joint Surg Am*. 1958;40-A(4):793-795.
62. Eastwood DM, Gupta KJ, Johnson DP. Percutaneous release of the trigger finger: an office procedure. *J Hand Surg Am*. 1992;17(1):114-117. doi: 10.1016/0363-5023(92)90125-9
63. Жигало А.В., Силаев А.К., Почтенко В.В. и др. Новая малоинвазивная методика лечения больных со стенозирующим лигаментитом. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2017;(2(61)):53-60. doi: 10.17223/1814147/60/06
64. Жигало А.В., Почтенко В.В., Морозов В.В. и др. Особенности выполнения чрескожной лигаментотомии связки А1 на I пальце кисти (наш опыт). *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2021;24(2):64-73. doi: 10.52581/1814-1471/77/07
65. Pan M, Sheng S, Fan Z, et al. Ultrasound-Guided Percutaneous Release of A1 Pulley by Using a Needle Knife: A Prospective Study of 41 Cases. *Front Pharmacol*. 2019;10:267. doi: 10.3389/fphar.2019.00267
66. Aksoy A, Sir E. Complications of Percutaneous Release of the Trigger Finger. *Cureus*. 2019;11(2):e4132. doi: 10.7759/cureus.4132
67. Langer D, Luria S, Michailevich M, Maeir A. Long-term functional outcome of trigger finger. *Disabil Rehabil*. 2018;40(1):90-95. doi: 10.1080/09638288.2016.1243161
68. Oh J, Jo L, Lee JI. Do not rush to return to sports after trigger finger injection. *Am J Phys Med Rehabil*. 2015;94(4):e26-30. doi: 10.1097/PHM.0000000000000267
69. Tanaka T, Ogawa T, Yanai T, et al. Disruption of Flexor Tendon after Intrathecal Triamcinolone Acetonide Injection for Trigger Digits: Two Case Reports. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2017;22(3):380-383. doi: 10.1142/S0218810417720285
70. Yamada K, Masuko T, Iwasaki N. Rupture of the flexor digitorum profundus tendon after injections of insoluble steroid for a trigger finger. *J Hand Surg Eur Vol*. 2011;36(1):77-78. doi: 10.1177/1753193410382377

Статья поступила 19.08.2024; одобрена после рецензирования 27.08.2024; принята к публикации 21.10.2024.

The article was submitted 19.08.2024; approved after reviewing 27.08.2024; accepted for publication 21.10.2024.

Информация об авторах:

Геннадий Петрович Котельников — академик РАН, доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, kaf_travma@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>;

Александр Сергеевич Панкратов — кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры, a.s.pankratov@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6031-4824>;

Андрей Николаевич Николаенко — доктор медицинских наук, доцент, директор НИИ Бионики и персонализированной медицины, nikolaenko.83@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3411-4172>;

Александр Павлович Борисов — кандидат медицинских наук, доцент, главный специалист НИИ Бионики и персонализированной медицины, dr_borisov71@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9562-6394>;

Алексей Сергеевич Ключников — ординатор, zif111111@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5320-5142>;

Вячеслав Викторович Пискун — ординатор, i@vpiskun.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3246-4953>;

Никита Алексеевич Князев — ординатор, n.knyazev.bass@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1770-965X>;

Денис Валерьевич Люкшин — студент, deniss2001@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2089-2604>.

Information about the authors:

Gennady P. Kotelnikov — Academician of the Russian Academy of Sciences, Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of the Department, kaf_travma@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7456-6160>;

Alexander S. Pankratov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department, a.s.pankratov@samsmu.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6031-4824>;

Andrey N. Nikolaenko — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Director of the Research Institute of Bionics and Personalised Medicine, nikolaenko.83@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3411-4172>;

Alexander P. Borisov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Chief Specialist of the Research Institute of Bionics and Personalised Medicine, dr_borisov71@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-9562-6394>;

Aleksey S. Klyuchnikov — resident of the Department, zif111111@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0009-5320-5142>;

Vyacheslav V. Piskun — resident of the Department, i@vpiskun.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3246-4953>;

Nikita A. Knyazev — resident of the Department, n.knyazev.bass@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1770-965X>;

Denis V. Lyukshin — student, deniss2001@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2089-2604>.

Шлыков Игорь Леонидович (к 60-летию со дня рождения)



14 августа 2024 года 60-летний юбилей отметил Игорь Леонидович Шлыков, директор Уральского института травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина, главный внештатный специалист травматолог-ортопед Министерства здравоохранения Свердловской области, доктор медицинских наук, Заслуженный врач РФ, Отличник здравоохранения РФ.

В 1987 году Игорь Леонидович окончил лечебный факультет Свердловского государственного медицинского института и по распределению был направлен в Уральский НИИ травматологии и ортопедии, где прошел путь от младшего до старшего научного сотрудника.

В 2004 году Игорь Леонидович успешно защитил кандидатскую диссертацию «Оперативное лечение больных с последствиями повреждений тазового кольца», в 2005 году назначен заведующим травматологическим отделением. Им впервые было организовано травматологическое отделение на базе Областного психоневрологического госпиталя для ветеранов войн, ставшее одним из крупнейших в Свердловской области.

В 2008 году Игорь Леонидович назначен директором Уральского НИИ травматологии и ортопедии.

В 2010 году им была защищена докторская диссертация «Система диагностики и комплексного лечения больных с переломами костей таза».

За значительный вклад в разработку методов оперативного лечения таза в 2010 г. Игорь Леонидович стал лауреатом Фонда высоких медицинских технологий (Курган) за цикл работ «Совершенствование технологий чрескостного остеосинтеза при повреждениях таза и их последствиях».

При участии И.Л. Шлыкова разработаны новые способы диагностики и лечения, предложены новые устройства для оперативных вмешательств у ортопедотравматологических больных, созданы наукоемкие малоинвазивные технологии интрамедуллярного остеосинтеза для лечения переломов костей верхней и нижней конечностей, ложных суставов, деформаций костей, перипротезных переломов, налажен серийный выпуск интрамедуллярных гвоздей для остеосинтеза бедра и голени. Под его руководством изучаются изменения системы гемостаза, оптимальные схемы медикаментозного снижения кровопотери и коррекции анемии при эндопротезировании крупных суставов, проводятся фундаментальные исследования по использованию режимов гипербарической оксигенации при иммобилизационном остеопорозе, а также по созданию биомплантатов на основе пористого титана с нанопокровками, которые прошли доклинические испытания и готовы для регистрации в Реестре изделий медицинского назначения.

Для внедрения медицинских технологий и разработок при непосредственном участии Игоря Леонидовича проведены научно-практические конференции, мастер-классы, показательные операции, семинары, съезд травматологов-ортопедов УРФО, достижения института многократно представлялись на специализированных медицинских выставках.

По инициативе И.Л. Шлыкова начал издаваться журнал «Вестник травматологии и ортопедии им. В.Д. Чаклина» (2009), организовано проведение Чаклинских чтений. И.Л. Шлыков с 2008 г. является главным внештатным травматологом Министерства здравоохранения Свердловской области.

При его участии проводится работа по совершенствованию организации оказания травматологической помощи пострадавшим, разрабатываются стандарты оказания помощи, национальные клинические рекомендации, алгоритмы госпитализации, проводится анализ показателей, обеспечивается методическое обоснование создания межмуниципальных травматологических центров и подготовка инструкторных материалов.

Игорь Леонидович является членом редколлегии журнала «Травматология и ортопедия России»; он автор 12 монографий, 250 научных работ, им получено 35 патентов на изобретения.

В 2022 г. И.Л. Шлыкову присвоено звание «Заслуженный врач РФ».

Он отмечен Благодарностью Президента Российской Федерации, награжден нагрудным знаком «Отличник здравоохранения», Почетными грамотами Законодательного собрания Свердловской области, Министерства здравоохранения Свердловской области, ГУВД по Свердловской области, Главы Администрации Ленинского района г. Екатеринбурга, благодарственными письмами различных министерств и ведомств. За значительный вклад в развитие травматологии и ортопедии Свердловской области и города Екатеринбурга удостоен премии имени В.Н. Татищева и Г.В. Де Геннина, награжден почетной грамотой Комитета по здравоохранению Государственной Думы Федерального собрания РФ.

Коллектив Уральского НИИ травматологии и ортопедии и редакционный совет журнала «Гений ортопедии» от всей души желают юбиляру дальнейших творческих успехов, здоровья и благоденствия.

Кутепов Сергей Михайлович (к 75-летию со дня рождения)



21 октября 2024 года исполнилось 75 лет выдающемуся представителю Уральской школы травматологов-ортопедов Кутепову Сергею Михайловичу — члену-корреспонденту РАН, заслуженному врачу Российской Федерации, доктору медицинских наук, профессору, члену редакционной коллегии журнала «Гений ортопедии».

Сергей Михайлович родился 21 октября 1949 года в Донецке. В 1973 году окончил Свердловский государственный медицинский институт по специальности «лечебное дело». С 1973 по 1982 год — клинический ординатор и ассистент кафедры госпитальной хирургии лечебного факультета Свердловского мединститута. В 1982 году защитил кандидатскую диссертацию на тему «Применение торакоскопии при некоторых видах травмы грудной клетки». С 1982 по 1986 год работал главным врачом в городской травматологической больнице № 36.

Затем в течение 15 лет возглавлял Уральский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина, являлся научным руководителем клиники неотложной травматологии этого института. За 15 лет работы Сергея Михайловича Кутепова в должности директора института защищено 8 докторских и 20 кандидатских диссертаций, получено 82 патента, издано более 50 методических рекомендаций и пособий для врачей.

Основные научные результаты:

- создан аппарат для остеосинтеза переломов тазовых костей;
- предложен компрессионно-дистракционный аппарат для лечения патологии тазобедренного сустава;
- разработан способ лечения разрывов лонного сочленения;
- обоснован способ прогнозирования течения сращения при чрескостном остеосинтезе;
- предложен способ диагностики воспалительного процесса;
- разработан способ индивидуального режима магнитотерапии при лечении переломов костей таза;
- создана полезная модель эндопротеза межпозвонкового диска.

С его участием разработаны новые технологии лечения пациентов с повреждениями костей таза, внедренные в лечебных учреждениях России и за рубежом.

В 1996 году С.М. Кутепов защитил докторскую диссертацию на тему «Управляемый чрескостный остеосинтез в лечении переломов костей таза». В 2000 году ему присвоено учёное звание профессора. В 2016 году избран членом-корреспондентом РАН.

В 2005 году Сергей Михайлович назначен исполняющим обязанности ректора Уральской государственной медицинской академии. Избран ректором УГМУ в мае 2006 года и до 1 марта 2018 года успешно возглавлял единственный на Среднем Урале медицинский ВУЗ, совмещая работу ректора с заведованием организованной им кафедры травматологии ФПК и ПП.

В настоящее время основные научные интересы связаны с созданием и применением новых биоконпозиционных материалов, малоинвазивными методиками хирургического лечения в травматологии и ортопедии. Сергей Михайлович является главным научным сотрудником института травматологии ЦНИЛ и Президентом ФГБОУ ВО «Уральский медицинский Университет» МЗ РФ.

Он автор более 200 научных работ, в том числе десяти монографий. Имеет около 20 патентов на изобретения. Под его руководством защищено семь кандидатских и докторских диссертаций.

Имеет почетные грамоты Министерства здравоохранения Российской Федерации, губернатора и правительства Свердловской области. Награжден государственной наградой СССР — медалью «За освоение целинных и залежных земель», знаками «Отличник здравоохранения Российской Федерации», «За заслуги перед Свердловской областью» III степени.

Отмечен международной наградой Ertsmaker в номинации «За мудрость и гибкость политики управления» в рамках программы «Человек, определяющий лицо планеты».

Сложно переоценить значение многолетней работы Сергея Михайловича на благо жителей Среднего Урала. Им не только сохранена в тяжелые годы перестройки Уральская школа травматологов-ортопедов, но и воспитано поколение замечательных врачей, энтузиастов своего дела.

В честь славного юбилея администрация и коллектив Уральского института травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина, ФГБОУ ВО «Уральского медицинского университета» МЗ РФ, кафедры травматологии и ортопедии, института травматологии ЦНИЛ и редакционная коллегия журнала «Гений ортопедии» желают Сергею Михайловичу крепкого здоровья, творческого долголетия, счастья и радости в кругу семьи и друзей!

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 12.12.2024. Дата выхода 26.12.2024

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 17,7

Тираж 75 экз. Заказ № 13624. 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