

16+

ISSN 1028-4427 (Print)

ISSN 2542-131X (Online)

# Гений Ортопедии

## Orthopaedic Genius

Том 30  
№ 4  
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)  
Скрябин Е.Г. (Россия, Тюмень)  
Тихилов Р.М. (Россия, Санкт-Петербург)  
Birch J.G. (США)  
Catagni M.A. (Италия)  
Chaudhary M.M. (Индия)  
Dubousset J.F. (Франция)  
Glatt V. (США)  
Hosny G.A. (Египет)  
Kirienko A. (Италия)  
Lascombes P. (Швейцария)  
Madan S. (Великобритания)  
Monsell F. (Великобритания)  
Paley D. (США)  
Pinzur M.S. (США)  
Podeszwa D.A. (США)  
Weiss H.-R. (Германия)

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

### THE EDITORS

A.V. Burtsev (Russia, Kurgan) – **Editor in Chief**  
A.M. Aranovich (Russia, Kurgan) – **Deputy Editor**  
M.L. Samchukov (USA) – **Deputy Editor**  
A.G. Baidurashvili (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

Курган



**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](mailto: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 очередной номер журнала «Гений ортопедии». Открывает номер раздел «Клинические исследования», представленный семью публикациями.

Алгоритм хирургического лечения пациентов с диафизарными дефектами костей предплечья после огнестрельных ранений представляют в своей работе Д.В. Давыдов с соавт. (Москва, Ингушетия). Разработанный алгоритм авторы применили для лечения 178 пациентов с огнестрельными переломами предплечья, сопровождающимися обширными дефектами, и пришли к заключению, что он позволяет учесть изменение анатомии, составить план операции на основе вектора реконструкции и выбрать оптимальные хирургические методики.

Авторы из Кургана (Ш.К. Куттыгул с соавт.) представляют результаты применения модифицированной техники резекции проксимального ряда костей запястья при адаптивном коллапсе запястья у восьми пациентов. Ана-

лиз ближайших результатов применения модифицированной техники PRC показал, что она позволяет снизить травматичность операции, улучшает её косметический результат, обеспечивает купирование болевого синдрома, удовлетворительный объём движений и силу схвата.

Результаты проспективного сравнительного исследования применения у 60 пациентов двух доступов при тотальной артропластике коленного сустава представлены в работе авторов из Египта (I.A. Badawi с соавт.). Проанализировав исходы, авторы пришли к заключению, что преимущество субвастусного доступа над парапателлярным заключается в сохранении целостности четырехглавой мышцы, а механизм разгибания после операции остается неповрежденным. Кроме того, при использовании субвастусного доступа отмечается менее интенсивный болевой синдром, меньшая интраоперационная кровопотеря и меньшее число осложнений.

Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях изучено авторами из Кургана (Д.В. Тропин с соавт.). Проанализировав результаты лечения 64 пациентов, авторы пришли к заключению, что в условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии использование комбинированной методики удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием обеспечивает хорошие и отличные результаты без серьезных осложнений.

М.В. Власов и И.В. Мусихина (Нижний Новгород) в своей работе приводят факторы риска, ассоциированные с врожденной косолапостью у детей. Авторы отмечают, что наибольшую чувствительность, специфичность и причинно-следственную связь с возникновением врожденной косолапости имели факторы риска, связанные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности — никотиновая зависимость у женщины — и сопряженные с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп у кровных родственников.

Сравнительный анализ результатов хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудного поясничной локализации традиционными методиками и оригинальным способом провели авторы из Новосибирска (В.Д. Синявин, В.В. Рерих). Авторы отмечают, что разработанный способ коррекции локальной кифотической деформации в лечении взрывных остеопоротических переломов тел позвонков в сравнении с циркулярной и гибридной стабилизацией демонстрирует удовлетворительную коррекцию локального кифоза, снижает риски осложнений и неблагоприятных исходов.

Периимплантная инфекция у пациентов с ревматоидным артритом является темой для обсуждения в работе авторского коллектива из Чебоксар (Л.В. Любимова с соавт.). Изучены результаты лечения 35 пациентов. Исследования показали, что культуронегативная инфекция явилась лидером среди случаев перипротезной инфекции у данного контингента. Достигнуты благоприятные исходы хирургического лечения, в большинстве случаев двухэтапного. Маркеры воспаления СОЭ, СРБ и Д-димер на этапах диагностики и санации инфекции не достигали нормальных значений, что свидетельствует о неприменимости стандартных диагностических критериев перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом.

Экспериментальные исследования представлены в номере двумя публикациями. А.А. Коробейников с соавт. (Курган) провели оценку влияния спиц для остеосинтеза на структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща у 18 ягнят. Используются спица Киршнера, спица Titan и пины из поли-

L-молочной кислоты. Гистоморфометрические характеристики зоны роста достоверно показали, что проведение спиц независимо от их материала не сопровождалось угнетением костеобразовательной функции дистального метаэпифизарного хряща бедренной кости.

Особенности регенерации пяточного сухожилия после его поперечной тенотомии с сохранением перитенона и его структур изучили в эксперименте на 20 кроликах М.В. Власов с соавт. (Нижний Новгород). Авторы отмечают, что процессы репарации ахиллова сухожилия после его рассечения с сохранением перитенона и его сосудов и нервов протекают в оптимальных условиях, при которых в короткие сроки (уже через 3 мес. после вмешательства) образуется сухожильная ткань, максимально напоминающая первоначальную.

Два случая из практики, представленные в номере, касаются особенностей фиксации сухожилий вращательной манжеты при полном лизисе большого бугорка плечевой кости (А.А. Маковский с соавт., Москва) и использования мультидисциплинарного подхода при лечении пострадавших с внутрисуставными переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением (А.А. Хромов с соавт., С.-Петербург).

Завершающие номер два обзора литературы освещают современные тенденции диагностики и лечения повреждений нервов при хирургии плечевого сустава (А.О. Тутуров с соавт., Москва) и влияние нехирургических факторов на результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом по данным SRS-22 (Ю.В. Молотков с соавт.; Курган, Москва, Санкт-Петербург).

Надеемся, что в этом номере вы найдете для себя интересную и полезную информацию. Приглашаем к сотрудничеству.

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

**Оригинальные статьи**

Алгоритм хирургического лечения пациентов с диафизарными дефектами костей предплечья после огнестрельных ранений .....	487
<i>Д.В. Давыдов, Л.К. Брижань, А.А. Керимов, А.А. Максимов, И.В. Хоминец, А.В. Лычагин, А.А. Грицюк, А.З. Арсомаков</i>	
Модификация техники резекции проксимального ряда костей запястья (PRC) при адаптивном коллапсе запястья (пилотное исследование) .....	502
<i>Ш.К. Куттыгул, Д.Е. Тягунов, Н.А. Шудло</i>	
Проспективное сравнительное исследование медиального парapatеллярного и медиального субвастусного доступов при тотальной артропластике коленного сустава .....	511
<i>И.А. Badawi, A.S. Ismail, A.H. Waly, A.N. Khalkaf</i>	
Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях: проспективное исследование .....	522
<i>Д.В. Тропин, В.И. Тропин, А.А. Чертищев, Н.С. Гвоздев, Д.А. Попков</i>	
Факторы риска, ассоциированные с врожденной косолапостью у детей .....	533
<i>М.В. Власов, И.В. Мусихина</i>	
Сравнительный анализ результатов хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудопоясничной локализации .....	542
<i>В.Д. Синявин, В.В. Рерих</i>	
Периимплантная инфекция у пациентов с ревматоидным артритом на примере серии случаев .....	552
<i>Л.В. Любимова, Н.Н. Пчелова, Н.С. Николаев, Е.В. Преображенская, Е.А. Любимов</i>	
Оценка влияния спиц для остеосинтеза на структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща (экспериментально-морфологическое исследование) .....	561
<i>А.А. Коробейников, Т.А. Ступина, О.В. Дюрягина, М.А. Степанов, Н.И. Антонов</i>	
Особенности регенерации пяточного сухожилия после его поперечной тенотомии с сохранением перитенона и его структур в эксперименте .....	572
<i>М.В. Власов, Н.Ю. Широкова, И.В. Мусихина</i>	
<b>Случай из практики</b>	
Фиксация сухожилий вращательной манжеты при полном лизисе большого бугорка плечевой кости .....	581
<i>А.А. Маковский, Л.С. Шнайдер, Е.С. Поправка</i>	
Мультидисциплинарный подход к лечению пострадавших с внутрисуставными переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением (преабилитация) .....	588
<i>А.А. Хромов, Е.К. Гуманенко, С.А. Линник, А.Н. Ткаченко, А.Г. Кравцов, А.В. Мельничук, А.С. Лазутин, А.В. Жулябин</i>	
<b>Обзор литературы</b>	
Повреждения нервов при хирургии плечевого сустава .....	597
<i>А.О. Тутуров, А.С. Петросян, М.А. Панин, Б.И. Захарян, О. Аль-Баварид</i>	
Влияние нехирургических факторов на результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом по данным SRS-22 (систематизированный обзор) .....	608
<i>Ю.В. Молотков, А.В. Евсюков, С.О. Рябых, Д.М. Савин</i>	

**Original Articles**

Algorithm of surgical treatment for diaphyseal defects of the forearm bones due to gunshot injuries .....	487
<i>D.V. Davydov, L.K. Brizhan, A.A. Kerimov, A.A. Maksimov, I.V. Khominets, A.V. Lychagin, A.A. Gritsyuk, A.Z. Arsomakov</i>	
Modification of proximal row carpectomy (PRC) technique for adaptive wrist collapse (pilot study) .....	502
<i>Sh.K. Kuttygul, D.E. Tyagunov, N.A. Shchudlo</i>	
Prospective comparative study of medial parapatellar and medial subvastus approaches in total knee arthroplasty .....	511
<i>I.A. Badawi, A.S. Ismail, A.H. Waly, A.N. Khalkaf</i>	
Effect of elastic intramedullary nailing on lower limb lengthening in acquired shortenings: a prospective study .....	522
<i>D.V. Tropin, V.I. Tropin, A.A. Chertishchev, N.S. Gvozdev, D.A. Popkov</i>	
Risk factors associated with congenital clubfoot in children .....	533
<i>M.V. Vlasov, I.V. Musikhina</i>	
Comparative analysis of surgical treatment results for osteoporotic burst fractures of thoracolumbar vertebral bodies .....	542
<i>V.D. Sinyavin, V.V. Rerikh</i>	
Periprosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: case series .....	552
<i>L.V. Lyubimova, N.N. Pchelova, N.S. Nikolaev, E.V. Preobrazhenskaya, E.A. Lyubimov</i>	
Evaluation of the effect of osteosynthesis wires on the structural reorganization of metaepiphyseal cartilage (an experimental and morphological study) .....	561
<i>A.A. Korobeinikov, T.A. Stupina, O.V. Dyuryagina, M.A. Stepanov, N.I. Antonov</i>	
Achilles tendon regeneration after experimental transverse tenotomy with preserved peritenon and the structures .....	572
<i>M.V. Vlasov, N.Yu. Shirokova, I.V. Musikhina</i>	
<b>Case report</b>	
Fixation of the rotator cuff tendons for the greater tuberosity fracture of the humerus .....	581
<i>A.A. Makovskiy, L.S. Shnayder, E.S. Popravka</i>	
Multidisciplinary approach to repair of intra-articular fractures of the distal radius in a complicated setting (prehabilitation) .....	588
<i>A.A. Khromov, E.K. Gumanenko, S.A. Linnik, A.N. Tkachenko, A.G. Kravtsov, A.V. Melnichuk, A.S. Lazutin, A.V. Zhulyabin</i>	
<b>Literature review</b>	
Nerve injury associated with shoulder surgery .....	597
<i>A.O. Tuturov, A.S. Petrosyan, M.A. Panin, B.I. Zakharyan, O. Al-Bawareed</i>	
Impact of non-surgical factors on treatment results of patients with idiopathic scoliosis according to SRS-22 data (systematic review) .....	608
<i>Yu.V. Molotkov, A.V. Evsyukov, S.O. Ryabykh, D.M. Savin</i>	

## Научная статья

УДК 616-001.45:616.717.5/.6-004.8-089

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-487-501>

## Алгоритм хирургического лечения пациентов с диафизарными дефектами костей предплечья после огнестрельных ранений

Д.В. Давыдов<sup>1</sup>, Л.К. Брижань<sup>1</sup>, А.А. Керимов<sup>1</sup>, А.А. Максимов<sup>1</sup>, И.В. Хоминец<sup>1</sup>, А.В. Лычагин<sup>2</sup>, А.А. Грицюк<sup>2</sup>✉, А.З. Арсомаков<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Главный военный клинический госпиталь имени академика Н.Н. Бурденко, Москва, Россия

<sup>2</sup> Первый Московский государственный медицинский университет имени И.М. Сеченова, Москва, Россия

<sup>3</sup> Ингушский государственный университет, Магас, Республика Ингушетия, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Андрей Анатольевич Грицюк, [drgamma@gmail.com](mailto:drgamma@gmail.com)

### Аннотация

**Введение.** В современной системе оказания помощи раненым военнослужащим наряду со сберегательной первичной хирургической обработкой и малоинвазивной внеочаговой фиксацией на первый план выходят высокотехнологические оперативные вмешательства значительной сложности с применением аддитивных и тканеинженерных технологий, которым необходимо определить место в современном алгоритме лечения дефектов костей конечностей, что и послужило обоснованием нашего исследования.

**Цель работы** — на основании данных литературы и клинических наблюдений усовершенствовать алгоритм выбора метода лечения пациентов с ассоциированными огнестрельными дефектами предплечья.

**Материалы и методы.** Проведен анализ научных статей в реферативно-библиографической базе данных PubMed и Научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru, опубликованных с 2004 по 2024 г., на основании которых усовершенствован алгоритм выбора метода лечения пациентов с ассоциированными огнестрельными дефектами предплечья.

**Результаты.** Изучение литературы позволило установить основные положения и принципы, которые применяют при реконструкции предплечья с ассоциированным дефектом. При выборе метода замещения дефекта кости большее количество авторов склоняется к выстраиванию «реконструктивной лестницы», переходя от менее тяжелых (одна кость) и протяженных дефектов (малый дефект до 2 см) к более сложным (обе кости) и массивным (более 10 см). С учетом выявленных закономерностей усовершенствовали алгоритм хирургического лечения последних, в основе которого два классификационных принципа: протяженность и локализация. Реконструкция предплечья, как динамической системы, после диафизарных переломов требует учета состояния лучелоктевых суставов. Функция последних зависит от соотношения длин лучевой и локтевой костей. С учетом этого положения обосновали выделение малых (до 2 см) дефектов костей предплечья, которые возможно заместить простыми хирургическими методами. Другим принципиальным дополнением алгоритма стало выделение группы пациентов с дефектом одной кости и наличием перелома другой кости (дефект-перелом), сочетание которых позволяет избежать применения сложных хирургических методов реконструкции путем укорочения сегмента. Разработанный алгоритм применили для лечения 178 пациентов с огнестрельными переломами предплечья.

**Обсуждение.** Лечение ассоциированных дефектов предплечья является сложной задачей, выбор метода реконструкции остается неопределенным, а необходимый консенсус отсутствует. Доступно несколько методик реконструкции предплечья, однако отсутствуют достоверные доказательства их эффективности по срокам лечения, осложнениям, повторным операциям и функциональному восстановлению.

**Заключение.** Предложенный алгоритм лечения обширных огнестрельных ассоциированных дефектов предплечья позволяет учесть изменение анатомии, составить план операции на основе вектора реконструкции и выбрать оптимальные хирургические методики.

**Ключевые слова:** огнестрельные ранения, дефект диафиза костей предплечья, алгоритм лечения

**Для цитирования:** Давыдов Д.В., Брижань Л.К., Керимов А.А., Максимов А.А., Хоминец И.В., Лычагин А.В., Грицюк А.А., Арсомаков А.З. Алгоритм хирургического лечения пациентов с диафизарными дефектами костей предплечья после огнестрельных ранений. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):487-501. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-487-501. EDN: NPXTNS.

© Давыдов Д.В., Брижань Л.К., Керимов А.А., Максимов А.А., Хоминец И.В., Лычагин А.В., Грицюк А.А., Арсомаков А.З., 2024



## Algorithm of surgical treatment for diaphyseal defects of the forearm bones due to gunshot injuries

D.V. Davydov<sup>1</sup>, L.K. Brizhan<sup>1</sup>, A.A. Kerimov<sup>1</sup>, A.A. Maksimov<sup>1</sup>, I.V. Khominets<sup>1</sup>, A.V. Lychagin<sup>2</sup>, A.A. Gritsyuk<sup>2</sup>✉, A.Z. Arsomakov<sup>3</sup>

<sup>1</sup> Burdenko Main Military Clinical Hospital, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Ingush State University, Magas, Republic of Ingushetia, Russian Federation

**Corresponding author:** Andrey A. Gritsyuk, [drgamma@gmail.com](mailto:drgamma@gmail.com)

### Abstract

**Introduction** In the current system of providing medical aid to wounded servicemen, along with the conservative primary surgical treatment and minimally invasive extrafocal fixation, high-tech surgical interventions of considerable complexity with the use of additive and tissue-engineering technologies have been coming to the forefront. It is necessary to determine their place in the current algorithm of limb bone defect management, which was the substantiation of our study.

The **purpose** of the study was to improve the algorithm for selecting a treatment method for patients with associated gunshot defects of the forearm based on the literature and clinical observations.

**Materials and Methods** We analyzed scientific articles in PubMed and Scientific Electronic Library (eLIBRARY.ru) platforms, published from 2004 to 2024, on the basis of which we could refine the algorithm of treatment method selection for patients with associated gunshot defects of the forearm. The developed algorithm was used to treat 178 patients with gunshot fractures of the forearm.

**Results** The review of the literature established the main provisions and principles that are applied in the reconstruction of the forearm with an associated defect. When choosing the method of bone defect management, a great number of authors tend to build a “reconstructive ladder”, moving from less severe (one bone) and extended defects (small defect up to 2 cm) to more complex (both bones) and massive defect (more than 10 cm). Upon having considered the revealed regularities, we improved the algorithm of surgical treatment of the latter, which is based on two classification principles: defect extension and location. Reconstruction of the forearm as a dynamic system after diaphyseal fractures requires consider the state of the radioulnar joint. The function of the latter depends on the length ratio of the radius and ulna bones. Therefore, we substantiated small (up to 2 cm) forearm bone defects that can be managed by simple surgical methods. Another fundamental addition to the algorithm was the allocation of a patients’ group with a defect of one forearm bone and a fracture of the other bone (defect-fracture); this combination allows avoiding complex surgical methods for reconstruction and use segment shortening.

**Discussion** The treatment of associated forearm defects is challenging, the choice of reconstruction technique remains uncertain, and the required consensus is lacking. Several forearm reconstruction techniques are available, yet there is no reliable evidence of their effectiveness in terms of treatment time, complications, reoperations, and functional recovery.

**Conclusion** The algorithm proposed for the treatment of extensive gunshot-associated defects of the forearm allows us to consider the change in the anatomy, make a surgical plan based on the reconstruction vector, and select optimal surgical techniques.

**Keywords:** gunshot wound, diaphyseal defect, forearm bones, treatment algorithm

**For citation:** Davydov DV, Brizhan LK, Kerimov AA, Maksimov AA, Khominets IV, Lychagin AV, Gritsyuk AA, Arsomakov AZ. Algorithm of surgical treatment for diaphyseal defects of the forearm bones due to gunshot injuries. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):487-501. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-487-501

## ВВЕДЕНИЕ

Огнестрельные ранения конечностей остаются одной из важнейших проблем военной медицины. Актуальность этой проблемы связана с постоянным развитием огнестрельного оружия и появлением новых ранящих снарядов, которые вызывают значительное разрушение кости и мягких тканей, что требует пересмотра некоторых установившихся за последние десятилетия тактических подходов к лечению данной патологии [1–3].

Диафизарные переломы костей предплечья составляют 10–15 % в структуре всех переломов [4]. Средняя продолжительность нетрудоспособности у таких пациентов составляет 6–8 мес. [5], а в 6–17 % случаев пациенты становятся инвалидами [6]. При лечении закрытых переломов применяют накостный и реже — внутрикостный остеосинтез, а также внеочаговую фиксацию [6, 7]. Огнестрельные ранения предплечья отличаются тяжестью ранения, трудностями при лечении и значительной частотой осложнений [8].

Лечение огнестрельных ассоциированных дефектов предплечья представляет собой серьезную реконструктивную проблему, обусловленную высокой частотой гнойных осложнений, трудностями с заживлением мягких тканей, сращением костей и восстановлением функции верхней конечности [9]. Особые сложности возникают при наличии дефекта одной кости по протяженности более 5 см, дефектов обеих костей предплечья и дефектами костей, ассоциированными с дефектами мягких тканей [10].

При ранениях огнестрельного или взрывного генеза наблюдается первичное удаление костных осколков в момент воздействия ранящего снаряда. Современные классификации открытых переломов требуют учета потери костной массы. Утрату костной массы принято описывать по ее анатомической локализации: диафизарный, метафизарный или суставной дефект. Дефект диафиза принято характеризовать длиной и долей сегмента окружности пораженной кости. С точки зрения репаративной регенерации кости сегментарные (циркулярные) дефекты размером более 2 см считаются самостоятельно не восстанавливающимися, даже при условии стабильной фиксации, частичные дефекты (менее 50 % окружности) также спонтанно не восстанавливаются без дополнительного лечения [11–14]. В работах последнего времени методология определения величины костного дефекта остается прежней [15, 16].

Современные клинические методы замещения костных дефектов конечностей включают простую (не васкуляризованную) костную пластику губчатыми или кортикальными ауто- или аллотрансплантатами, мембрано-индуцированный остеогенез (техника Masquet), микрохирургические пересадки трансплантатов подвздошной или малоберцовой кости с кровеносными сосудами и несвободную костную пластику в условиях внешней фиксации методом Илизарова [17–19]. Каждый из этих методов имеет свои преимущества и в случае применения по соответствующим показаниям обеспечивает хороший результат. Например, при размерах костных дефектов менее 5 см обычно применяют не васкуляризованную ауто- или аллогенную костную пластику. При костных дефектах более 5 см используют микрохирургические пересадки костных трансплантатов с кровеносными сосудами или технику Илизарова, однако последняя применима при удовлетворительном состоянии мягких тканей [20–22]. Острое укорочение сегмента, как метод замещения костного дефекта без последующего восстановления длины конечности, возможно без нарушения функции на нижних конечностях до 2 см и на верхних конечностях — до 4 см [23, 24]. Одноэтапная фиксация пластинами и аутологичная костная пластика могут быть эффективны при лечении дефектов костей предплечья до 5 см [25, 26], однако при замещении дефектов, превышающих 5 см, очень высока вероятность резорбции трансплантата [27]. Не васкуляризованный аутоотрансплантат малоберцовой кости с остеосинтезом пластинами был успешно применен у 20 пациентов со средними костными диафизарными дефектами костей предплечья 2 см [28].

Использование на предплечье васкуляризованного аутоотрансплантата малоберцовой кости или структурного аллотрансплантата с интрамедуллярной фиксацией, острого укорочения конечности и техники транспорта кости по Илизарову затруднено из-за сложности анатомо-функционального устройства этого сегмента [29–31]. Свободная васкуляризованная пластика малоберцовым трансплантатом (МБТ) рекомендуется при обширных дефектах, хотя широкое применение этой техники ограничено из-за необходимости специализированных микрососудистых ресурсов [32, 33]. Применение дистракционного остеогенеза с костным транспортом ограничено частым развитием осложнений, связанных с фиксатором, нарушением сращения в месте контакта отломков и контрактурами смежных суставов [34, 35]. Новые возможности в лечении дефектов костей открывает применение аддитивных технологий, которые позволяют максимально реализовать индивидуальный подход в выборе имплантатов-протезов или фиксаторов с возможностью остеointegrации [36–38]. Это направление рассматривается как перспективное в хирургии поврежденных опорно-двигательной системы [39].

Учитывая значительную актуальность проблемы лечения дефектов костей, разнообразие причин, тяжесть и высокую частоту их развития при применении современного оружия, особенно для военно-медицинских учреждений и больниц, находящихся в непосредственной близости от районов боевых

действий, создание единого алгоритма оказания хирургической помощи является насущной необходимостью. Алгоритмы определения жизнеспособности сегмента конечности и первичного хирургического лечения разработаны [1–3], а алгоритм замещения дефектов длинных костей конечности в современных условиях требует модификации.

В современной системе оказания помощи раненым военнослужащим утвердились сберегательная первичная хирургическая обработка (ПХО) огнестрельной раны, малоинвазивная внеочаговая фиксация перелома, приближение элементов специализированной медицинской помощи (СМП) или быстрая эвакуация на этап СМП. Расширяются возможности эффективного активного лечения раны: общего (инфузионная, системная антибактериальная, противовоспалительная и иммуностимулирующая терапия) и местного (плазма, лазер, ультрафиолет, ВАК-терапия, местная антибактериальная и бактериофаг-терапия) характера. На первый план выходят высокотехнологические оперативные вмешательства с применением аддитивных и тканеинженерных технологий, которым необходимо определить место в современном алгоритме лечения дефектов костей конечностей по принципу анатомической локализации, что и явилось обоснованием нашего исследования.

**Цель работы** — на основании данных литературы и клинических наблюдений усовершенствовать алгоритм выбора метода лечения пациентов с ассоциированными огнестрельными дефектами предплечья.

### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для анализа современного состояния оказания специализированной хирургической помощи пациентам с ассоциированными огнестрельными дефектами предплечья и последующего формирования алгоритма реконструктивного лечения проведен поиск научных статей в реферативно-библиографической базе данных PubMed и Научной электронной библиотеке eLIBRARY.ru, опубликованных с 2004 по 2024 г. Также в анализ включены статьи наиболее авторитетных ученых, опубликованные ранее. Обобщены результаты исследований механизма и структуры боевых травм конечностей, эффективности применяемых методов замещения дефектов кости и мягких тканей предплечья.

Разработанный алгоритм применили для лечения 178 пациентов с огнестрельными переломами предплечья. Все повреждения определены как ассоциированные, т.к. во всех случаях установлено наличие разрушения кости и мягкотканых структур (мышцы, сухожилия, сосуды и нервы). Изолированные переломы одной кости с интактной другой встречаются реже, на их долю приходилось около 32,6 % (58 наблюдений). Чаще всего при огнестрельных ранениях предплечья (в основном осколочных, доля которых около 90 %) имеется значительное разрушение одной из костей с «относительно простым» переломом другой кости (53,9 %, 96 наблюдений); значительное разрушение обеих костей предплечья наблюдали у 24 пациентов (13,5 %). Истинный размер костного дефекта, как правило, увеличивается, поскольку при этапных хирургических обработках удаляются нежизнеспособные осколки костей. При оценке дефектов на этапе выполнения реконструкции/остеосинтеза установлено, что наибольшее число пациентов имели дефект одной из костей предплечья протяженностью от 0 до 2 см (73 пациента, 41,0 %) и от 2,1 до 5 см (48 пациентов, 27,0 %), 42 (23,6 %) пациента имели дефект от 5,1 до 10 см; дефект более 10 см наблюдали у 15 (8,4 %) пациентов.

Пластика кости предплечья с применением малоберцового свободного лоскута была выполнена в 18 (10,1 %) случаях, применение индивидуальной 3D-конструкции при этом потребовалось в 2/3 наблюдений (12 пациентов). В остальных случаях использовали невааскуляризованные костные ауто- и аллотрансплантаты в комбинациях с различными вариантами остеосинтеза.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

В доступной литературе в большом количестве представлены методы лечения механических травм опорно-двигательной системы и, в частности, предплечья, а также их осложнений. Один из наиболее ранних актуальных алгоритмов лечения дефектов костей конечностей представлен J.F. Keating et al. [40] (рис. 1).

В данном алгоритме дефекты разделяются по протяженности (до 6 см и более 6 см) и наличию проблем с мягкими тканями. При коротких и длинных (без проблем с мягкими тканями) дефектах предлагается стабилизировать, наблюдать и затем, при заживлении раны на верхних конечностях, заменять пластины, на нижних конечностях в области диафиза — штифты, в метаэпифизарных отделах кости — пластины. Десятилетние итоги применения данной стратегии подтвердили положение о тяжести и разнообразии повреждений, на основании чего C.S. Molina et al. [41] предложили формировать более узкие группы для сравнения. С. Mauffrey et al. [21] предложили изменить алгоритм с делением на дефекты до 1–3 см (возможно острое укорочение), 3–5 см (невааскуляризованная костная пластика и погружной остеосинтез), 5–10 см (укорочение в сочетании с комбинацией васкуляризированной и невааскуляризированной пластики) и более 10 см (костный трансфер по Илизарову или пересадка васкуляризованных костных ауто-трансплантатов).

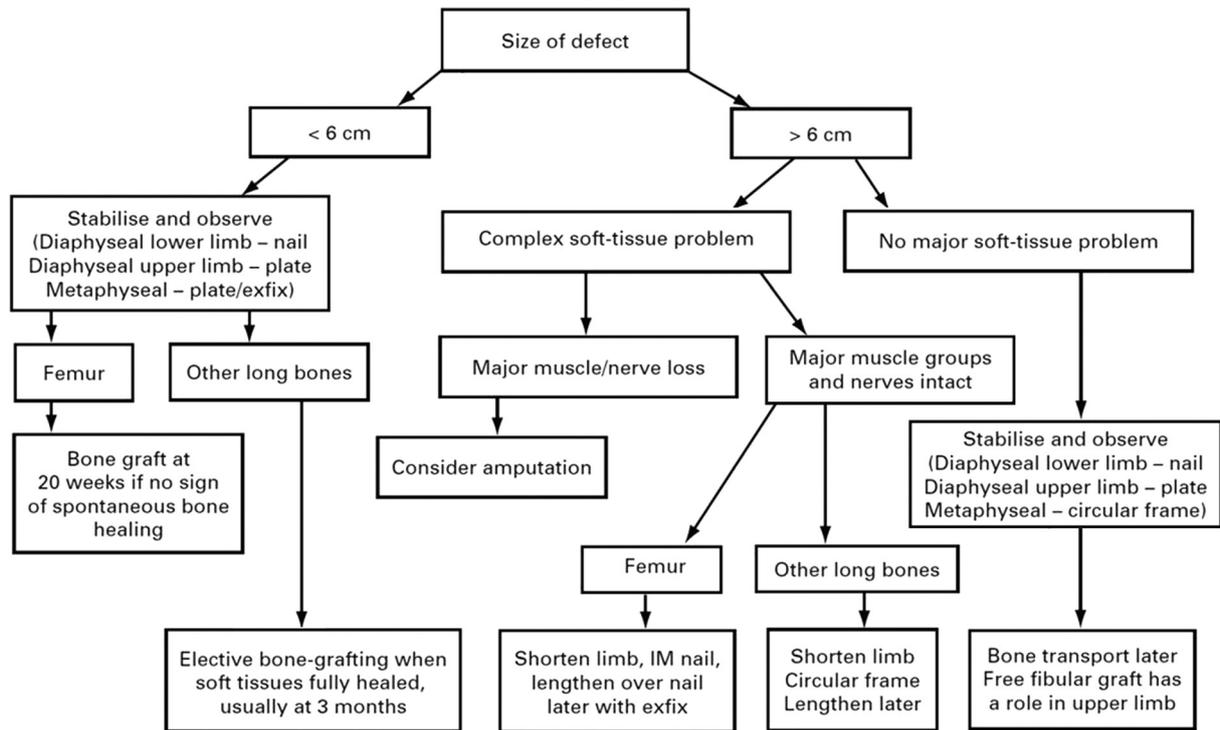


Рис. 1. Алгоритм лечения дефектов костей конечностей по J.F. Keating, A.H. Simpson, C.M. Robinson (2005) [40]

К сожалению, научных работ по лечению огнестрельных дефектов костей предплечья, в которых бы обсуждались методологические подходы к выбору оптимального метода замещения и срокам проведения операции, в литературе очень мало, в основном рассматриваются различные вопросы частоты компартмент-синдрома, антибактериальной терапии, необходимости удаления ранящих снарядов и тактики лечения единичных пострадавших с дефектами костей огнестрельной этиологии [42, 43].

Комплексный обзор литературы, посвященный вопросам стратегии лечения обширных костных дефектов костей конечностей после травм, инфекций или иссечения опухоли, приведен F. Migliorini et al., где подчеркивается, что проблема остается сложной и нерешенной, выбор метода все еще обсуждается и консенсус отсутствует. Применяется несколько равнозначных методик замещения дефектов костей. Однако недостаточное для надежной статистики количество наблюдений не позволяют получить убедительные доказательства их эффективности. Поэтому вопросы длительности лечения, количества и тяжести осложнений, частоты и сложности повторных операций остаются открытыми и требуют дальнейшего изучения [44].

В основе предлагаемого нами алгоритма лечения раненых с дефектами предплечья лежат два принципа их классификации: по локализации и протяженности. В соответствии с положениями Ассоциации остеосинтеза (АО) при лечении диафизарных переломов костей предплечья требуется полное устранение всех видов смещения и обеспечение условий восстановления функции лучелоктевых суставов. Поэтому в случае возникновения дефектов костей предплечья необходимо обеспечить такое их восстановление, которое бы обеспечило устранение нарушения анатомо-физиологических взаимоотношений в лучелоктевых суставах, что является основой последующей реабилитации [45].

Выделяют дефекты одной или обеих костей предплечья. Считаем необходимым дополнить имеющиеся классификации выделением очень малых (до 2 см) дефектов костей предплечья, которые возможно заместить самыми простыми методами. Особой хирургической тактики требуют пациенты с дефектом одной кости и наличием перелома другой кости предплечья (дефект-перелом). Этот вид повреждения, несмотря на его тяжесть, в некотором смысле облегчает задачу хирургу: позволяет укоротить кость с простым переломом и избежать костной пластики в зоне дефекта другой кости (рис. 2).

При выборе методов замещения дефекта кости большинство хирургов использует правило «реконструктивной лестницы», применяя простые методы при менее тяжелых (одна кость) и протяженных дефектах (малый дефект до 2 см) и сложные — при более тяжелых (обе кости) и массивных (более 10 см) дефектах. Современные представления о ранжировании методов, на наш взгляд, становятся более широкими, от остеосинтеза, возможно с допустимым укорочением или невазуляризированной костной пластикой, через комбинацию частичного укорочения с невазуляризированной костной пластикой к микрохирургическим свободным васкуляризированным костным аутопластикам и тканеинженерным комплексным трансплантатам. Система остеосинтеза от традиционных пластин эволюциониро-

вала через пластины с ограниченным контактом и угловой стабильностью винтов к 3D-конструкциям индивидуального изготовления. Последние могут выполнять только остеосинтез отломков либо дополнительно фиксировать различные трансплантаты. Применяют 3D биоинженерные конструкции в виде биологически активного протеза кости, который срастается с отломками.

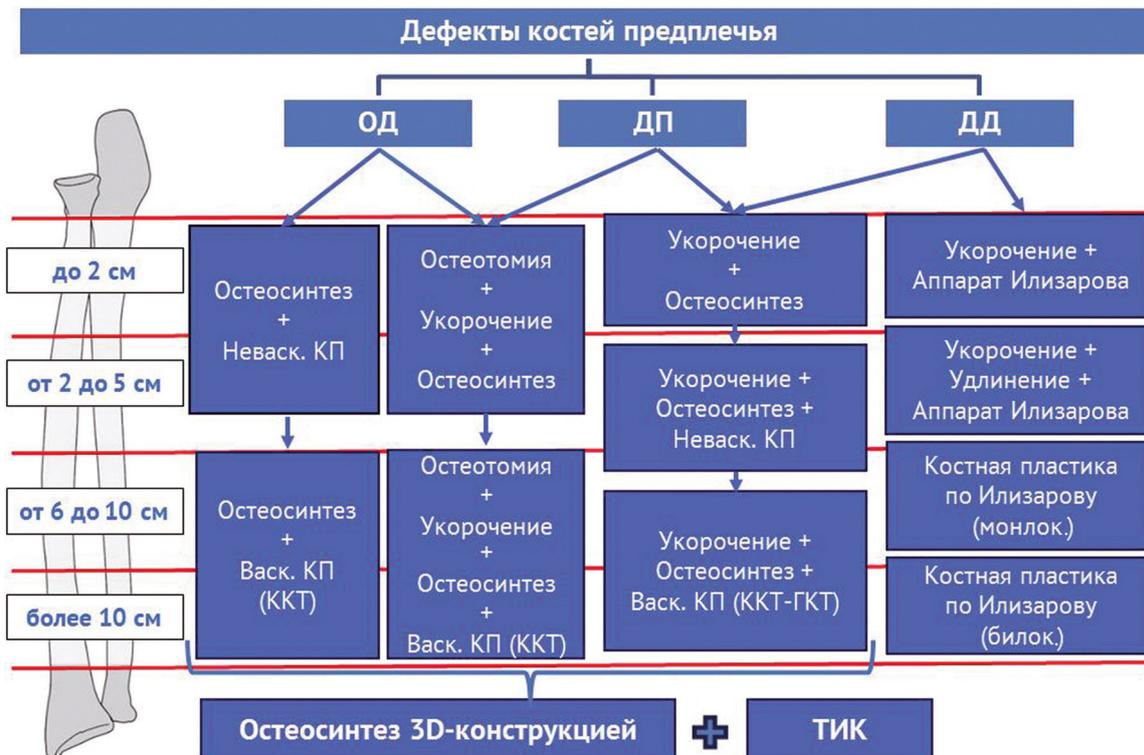


Рис. 2. Алгоритм лечения дефектов костей предплечья. ОД — однокостный дефект костей предплечья; ДД — двукостный дефект костей предплечья; ДП — дефект одной кости и перелом другой (дефект-перелом); ГКТ — губчатый костный трансплантат; ККТ — кортикальный костный трансплантат; ТИК — тканеинженерная конструкция



Рис. 3. Схема формирования «вектора реконструкции»



Послеоперационный период протекал без особенностей, раны зажили первичным натяжением, перелом лучевой кости консолидировался (место остеотомии) через 4 мес. после операции (рис. 5, в), отмечены признаки сращения кортикального костного трансплантата малоберцовой кости через 6 мес. после операции (рис. 5, г).

После проведения реабилитационного лечения раненый был признан годным и продолжил военную службу (рис. 5, д).

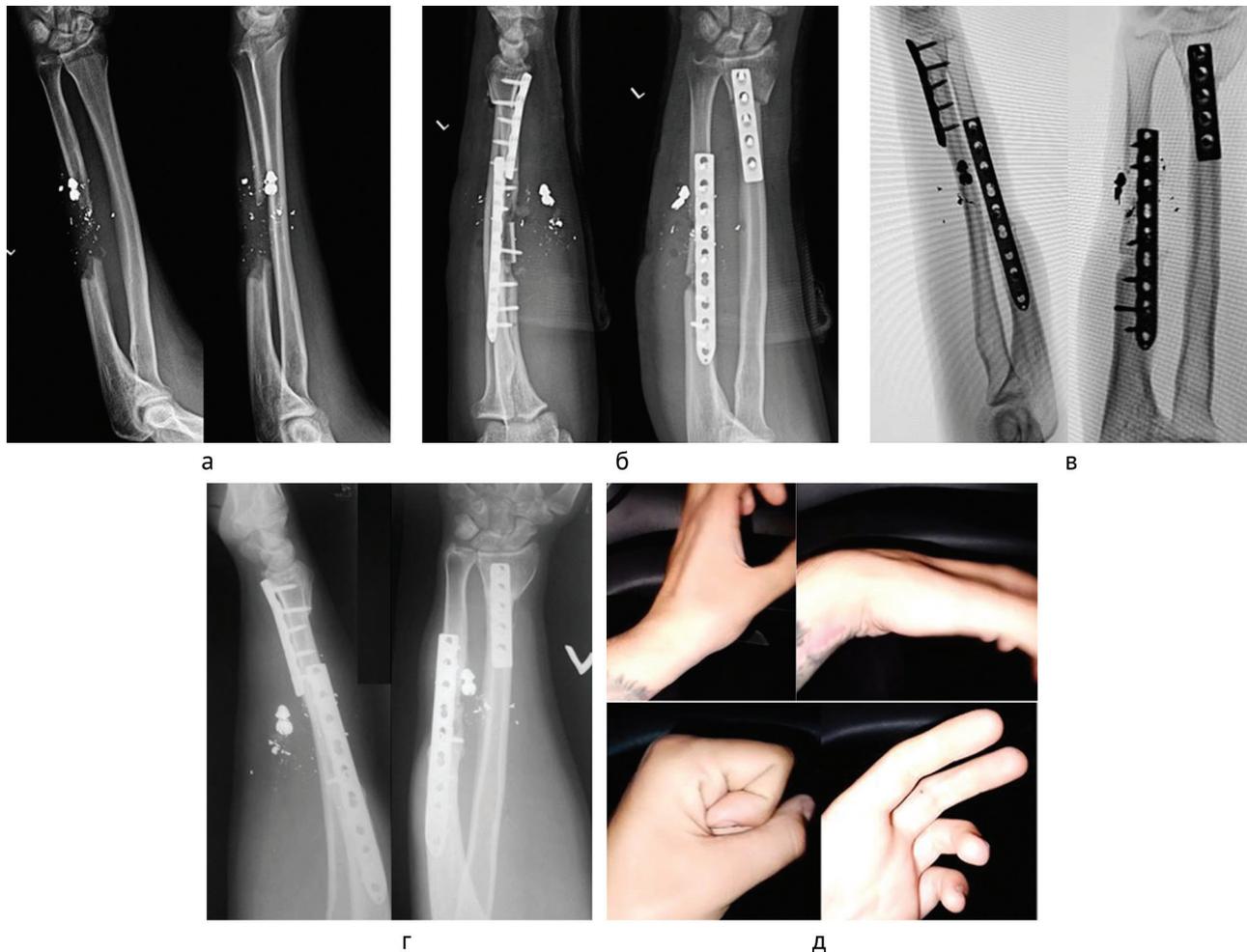


Рис. 5. Раненый К.: а — рентгенограммы костей предплечья до операции; б — рентгенограммы костей предплечья после операции; в — цифровые рентгенограммы костей предплечья через 4 мес. после операции; г — рентгенограммы костей предплечья через 6 мес. после операции; д — функция кисти через 8 мес. после операции (фото сделано камерой мобильного телефона самим пациентом в зоне специальной военной операции)

Раненый А., 27 лет, в ходе участия в боевых действиях 20.03.2022 получил огнестрельное ранение правой верхней конечности. Первая помощь оказана на месте. Далее эвакуирован в ГВКГ им Н.Н. Бурденко, где 24.03.2022 были выполнены ПХО ран правого предплечья, фиксация правой локтевой кости аппаратом наружной фиксации (АНФ) комплекта стержневого военно-полевого (КСВП) и ВАК-терапия ран (рис. 6, а–г).

28.03.2022 выполнены: повторная хирургическая обработка ран правого предплечья, кожная пластика раневого дефекта местными тканями. Раны зажили (рис. 6, д).

27.05.2022 выполнены демонтаж аппарата внешней фиксации и свободная васкуляризованная пластика дефекта локтевой кости правого предплечья МБТ (длиной 8 см) с фиксацией 3D-конструкцией (рис. 7, а).

Послеоперационный период протекал без осложнений, трансплантат прижился через 6 месяцев после пересадки, металлоконструкция удалена через 12 мес. после операции (рис. 7, б, в). Функциональный результат после реабилитационного лечения представлен на рис. 7, г.



Рис. 6. Раненый А.: а – вид раны мягких тканей; б – рентгенограммы предплечья; в – вид раны мягких тканей при ВАК-терапии; г – рентгенограммы предплечья после фиксации АНФ КСВП; д – раны мягких тканей после пластики местными тканями



Рис. 7. Раненый А.: а – рентгенограммы предплечья после пластики и фиксации 3D-конструкцией; б – рентгенограммы предплечья через 6 мес. после операции; в – цифровые рентгенограммы предплечья после удаления металлоконструкции (через 12 мес. после реконструктивной операции)



Рис. 7 (продолжение). Раненый А.: г — функция верхних конечностей после реабилитации

Раненый М., 35 лет, получил осколочное сквозное ранение левого предплечья с открытым многооскольчатый переломом в средней и верхней третях обеих костей левого предплечья, со смещением костных отломков, дефектом костей и мягких тканей. ПХО и иммобилизация АНФ выполнены на этапе квалифицированной хирургической помощи, после чего доставлен в ГВКГ им. Н.Н. Бурденко (рис. 8, а, б). Раны заживали частично вторичным натяжением с применением пластики местными тканями. После заживления ран и проведения КТ конечности выполнено 3D-планирование, изготовлены резекционный шаблон и металлоконструкция (рис. 8, в-е).

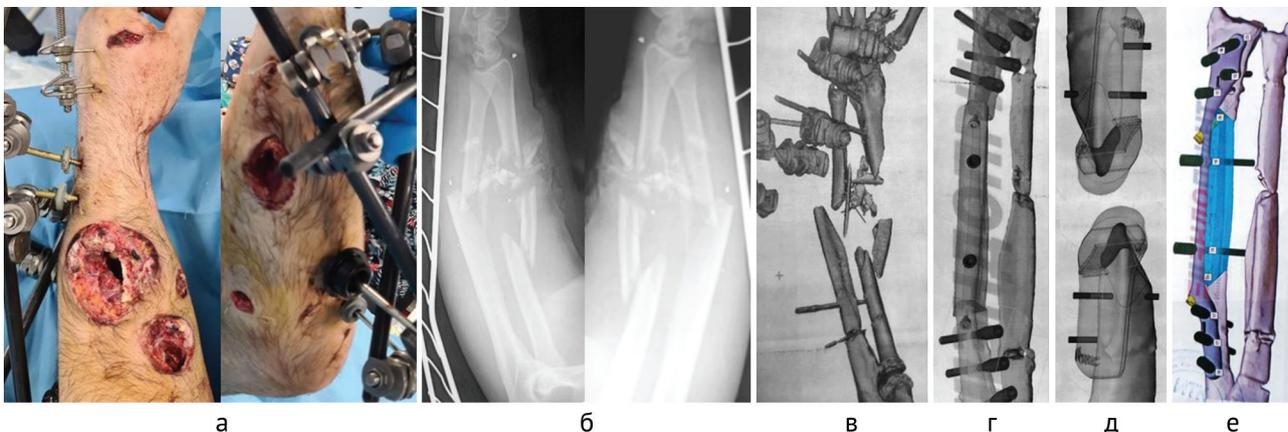


Рис. 8. Раненый М.: а — вид ран мягких тканей; б — рентгенограммы предплечья. Планирование операции: в — КТ костей предплечья; г — планирование трансплантата; д — шаблоны для резекции; е — план 3D-реконструкции

Выполнена пластика дефекта лучевой кости свободным васкуляризированным трансплантатом малоберцовой кости с кожно-фасциальным лоскутом с фиксацией 3D-металлоконструкцией (рис. 9). Применение индивидуальной конструкции в данном случае было обусловлено размерами дефекта, а также необходимостью обхода сосудистой «ножки» МБТ. Остеосинтез локтевой кости выполнен стандартной пластиной с угловой стабильностью винтов (рис. 10, а). Раны зажили, переломы срослись через 6 месяцев после операции (рис. 10, б, в).

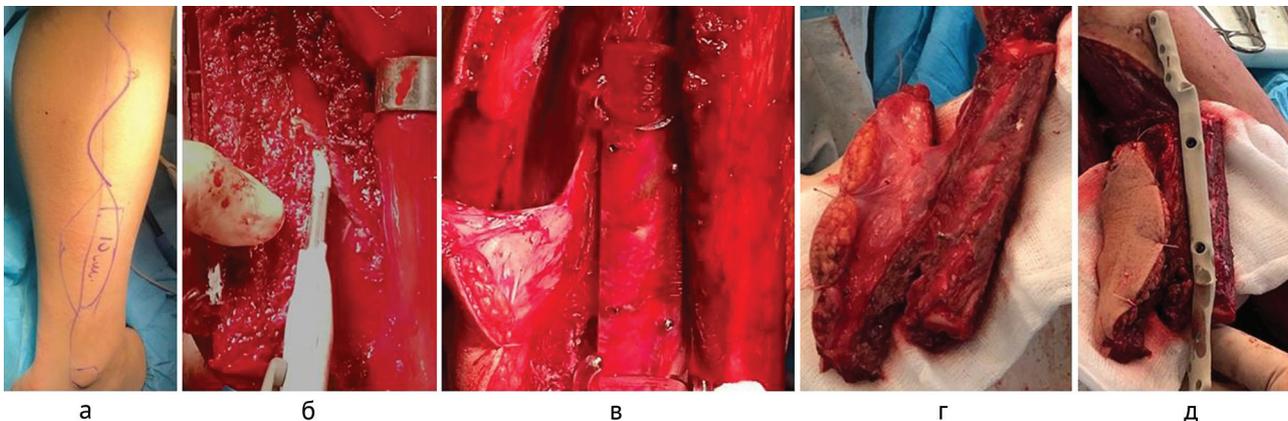


Рис. 9. Раненый М. Этапы операции: а — планирование трансплантата; б — выделение малоберцового трансплантата; в — использование резекционного шаблона; г — вид малоберцового трансплантата; д — вид 3D-конструкции

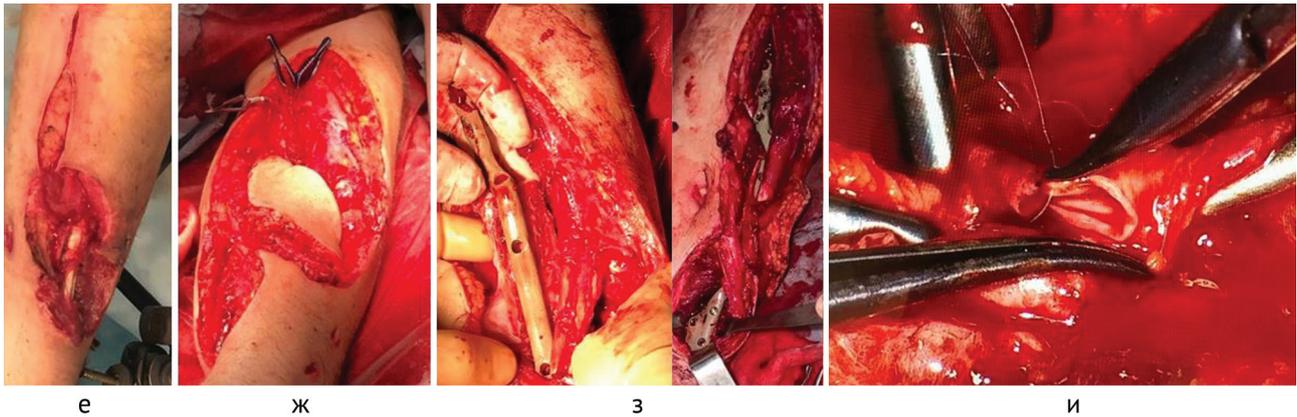


Рис. 9 (продолжение). Раненый М. Этапы операции: е — иссечение краев раны и мобилизация сосудистого пучка; ж — вид малоберцового трансплантата; з — фиксация 3D-конструкцией; и — микрососудистый этап операции (шов артерии малоберцового трансплантата)



Рис. 10. Раненый М.: а — рентгенограммы после операции; б — вид раны после операции и после снятия швов; в — рентгенограммы через 6 мес. после операции

### ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение специальной литературы и анализ опыта клиники по лечению раненых с тяжелыми огнестрельными ранениями предплечья показали трудности выбора оптимальной хирургической тактики. Огнестрельные ранения отличаются от других повреждений формированием первичного дефекта. Размеры и структура последнего зависят от величины энергии ранящего снаряда. Характеристики вторичного дефекта в большой мере определяются последующим лечением. Применение проверенных временем методов лечения не всегда позволяет получить оптимальный результат в короткие сроки. Перенос опыта лечения травмы мирного времени на решение проблемы боевой травмы требует проверки и осмысления. Тем не менее, принцип предлагаемого нами «вектора реконструкции» дает хирургу методологический инструмент, основанный на логике и опыте многих поколений хирургов.

В основе предлагаемого алгоритма лежит принцип разделения дефектов костей по анатомическому признаку (одно-, двукостные и дефект-перелом) и размеру (эти показатели служат своего рода осями координат, отталкиваясь от которых следует определить направление вектора реконструкции). Конечной точкой алгоритма является точка на плоскости координат, расположенная напротив соответствующих точек на осях анатомии и размера. Изучение предшествующего опыта позволило нам расположить на плоскости выбора тактики лечения известные проверенные и предлагаемые новые методы лечения от простого к сложному. Таким образом, в направлении вектора реконструкции располагаются оптимальные методы лечения, которые возможно применять при сочетании соответствующей структуры и размеров дефекта.

В основе лечения нарушения целостности кости лежат репозиция и остеосинтез. После восстановления длины, ротационного и углового смещения требуется стабильная фиксация, которая может быть обеспечена в легких случаях штатными металлоконструкциями, в тяжелых — требует применения инди-

видуальных 3D-конструкций. Все методы должны отвечать принципу минимизации травматичности, сохранения и восстановления кровоснабжения. Соблюдение этих принципов обеспечивает возможность раннего реабилитационного лечения и восстановления трудоспособности, что может служить подтверждением правильности выбранной концепции.

Смещение вектора реконструкции к одной из осей координат или его укорочение говорит об упрощении хирургической задачи. Например, при дефекте-переломе относительно простая методика остроуго укорочения помогает решить проблему большого дефекта путем уменьшения последнего, что позволяет применить менее травматичную невазуляризованную костную пластику вместо сложного многочасового микрохирургического вмешательства.

Костная пластика фрагментом гребня подвздошной кости является одним из часто используемых и простых решений для восстановления костных дефектов [46, 47]. Гребень подвздошной кости как трансплантат обладает всеми преимуществами ауто трансплантатов: остеогенез, остеоиндукция, остеоиндукция и гистосовместимость [48, 49]. Костный трансплантат можно получить из передней или задней части гребня подвздошной кости, васкуляризованный или нет, а также кортикальный, губчатый или комбинированный. Однако размеры его и, особенно, механическая прочность лимитированы [50, 51].

Васкуляризованные МБТ обычно используются для реконструкции костных дефектов размером более 6 см [52], часто в сочетании с дефектами мягких тканей [53]. Разработаны три разных варианта пересадки васкуляризованного МБТ: единичный васкуляризованный МБТ (до 25 см у взрослого пациента), двухствольная техника и комбинированная реконструкция васкуляризованной малоберцовой костью и аллотрансплантатом [54–56]. Однако дефект кости, при котором можно использовать этот метод, не должен превышать 13 см в длину [57].

Сращение МБТ было достигнуто без дальнейших хирургических вмешательств у 70 % пациентов в среднем через 10 месяцев. Имели место серьезные осложнения, такие как глубокое нагноение мягких тканей, тромбоз ножки, стрессовый перелом, не связанный с нарушением фиксации, компартмент-синдром, но частота сращения составила 82 % в течение 2-х лет наблюдения и 97 % — через 5 лет [58–61]. Наши результаты по частоте и длительности сращения соответствуют работе S. Liu et al. (2018) [62], которые сообщили о долгосрочном наблюдении за МБТ: частота сращения составила 100 % и среднее время 21,3 недели. Применяемая комбинированная реконструкция васкуляризованной малоберцовой костью и аллотрансплантатом имеет преимущества обеих, ранее описанных методик [63].

При реконструкции сегментарных дефектов металлические протезы являются альтернативой массивным костным трансплантатам, они обеспечивают немедленную стабильность, быструю реабилитацию и раннюю нагрузку весом [64]. Однако частые инфекционные осложнения, механическое расшатывание и механический износ, высокий риск протезных и перипротезных переломов сделали эту технику применимой только у онкологических пациентов с ограниченной продолжительностью жизни [65–67]. Однако предложенные тканеинженерные конструкции на основе металлических каркасов с набором биологических компонентов способны встраиваться в живые ткани и могут в ближайшее время заменить ауто- и аллотрансплантацию в отдельных случаях.

Метод Илизарова долгое время служил надежным и эффективным средством решения многих проблем, связанных с повреждениями опорно-двигательной системы. Он может применяться при любом варианте дефекта, что не противоречит правилу вектора реконструкции. Но его место в системе лечения ассоциированных огнестрельных дефектов предплечья также требует уточнения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Лечение крупных костных дефектов является сложной задачей, выбор метода реконструкции остается трудоемким и неопределенным, необходимый консенсус отсутствует. Доступно несколько методик лечения дефектов костей, однако нет достаточных количественных и качественных доказательств, позволяющих сделать убедительные выводы, особенно о сроках лечения, осложнениях и повторных операциях.

Предложенный алгоритм хирургического лечения пострадавших с огнестрельными дефектами костей предплечья позволяет детально учесть анатомические особенности патологических изменений, составить вектор реконструкции в конкретных случаях и помочь сделать оптимальный выбор методики хирургического лечения раненых.

*Конфликт интересов. Не заявлен.*

*Источник финансирования. Не заявлен.*

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Алексеев Д.Е. и др. *Военно-полевая хирургия. Национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2024:180-208. doi: 10.33029/9704-8036-6-VPX-2024-1-1056
2. Тришкин Д.В., Крюков Е.В., Чуприна А.П. и др. *Методические рекомендации по лечению боевой хирургической травмы*. С.-Пб.: Военно-медицинская академия имени С. М. Кирова; 2022:373. Доступно по: [http://xn----9sbdbejx7bdduahu3a5d.xn--p1ai/upload/metod\\_rek\\_VPH\\_ver-1.pdf](http://xn----9sbdbejx7bdduahu3a5d.xn--p1ai/upload/metod_rek_VPH_ver-1.pdf). Ссылка активна на 26.06.2024.
3. Керимов А.А., Нелин Н.И., Переходов С.Н. и др. Актуальные подходы к хирургической обработке огнестрельных травм конечностей. *Медицинский вестник МВД*. 2023;124(3):2-6. doi: 10.52341/20738080\_2023\_124\_3\_2
4. Челноков А.Н., Лазарев А.Ю., Соломин Л.Н. и др. Восстановление функции верхней конечности при диафизарных переломах лучевой и локтевой костей после применения малоинвазивных способов остеосинтеза. *Травматология и ортопедия России*. 2016;22(1):74-84. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-74-84
5. Мизиев И.А., Баксанов Х.Д., Жигунов А.К. и др. Лечение переломов костей предплечья при множественных и сочетанных повреждениях. *Медицина катастроф*. 2018;(4):24-27.
6. Ставицкий О.Б., Пастернак Д.В., Карпушкин О.В. и др. Наш опыт применения блокирующего интрамедуллярного остеосинтеза при лечении больных с переломами костей предплечья в условиях Областной больницы интенсивного лечения г. Мариуполя. *Травма*. 2019;20(4):61-65. doi: 10.22141/1608-1706.4.2019.178747
7. Купченко Д.Э. Применение стержневых аппаратов с узлами репозиции при диафизарных переломах костей предплечья. *Гений ортопедии*. 2011;(1):13-16.
8. Король С.А., Матвейчук Б.В., Доманский А.Н. Объем хирургической помощи раненым с огнестрельными переломами костей предплечья на этапах медицинской эвакуации во время антитеррористической операции. *Травма*. 2016;17(6):76-80. doi: 10.22141/1608-1706.6.17.2016.88621
9. Walker M, Sharareh B, Mitchell SA. Masquelet Reconstruction for Posttraumatic Segmental Bone Defects in the Forearm. *J Hand Surg Am*. 2019;44(4):342.e1-342.e8. doi: 10.1016/j.jhsa.2018.07.003
10. Wang P, Wu Y, Rui Y, et al. Masquelet technique for reconstructing bone defects in open lower limb fracture: Analysis of the relationship between bone defect and bone graft. *Injury*. 2021;52(4):988-995. doi: 10.1016/j.injury.2020.12.009
11. Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am*. 1976;58(4):453-458.
12. Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma*. 1984;24(8):742-746. doi: 10.1097/00005373-198408000-00009
13. Gustilo RB, Merkow RL, Templeman D. The management of open fractures. *J Bone Joint Surg Am*. 1990;72(2):299-304.
14. Keating JF, Simpson AH, Robinson CM. The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(2):142-150. doi: 10.1302/0301-620x.87b2.158744
15. Baldwin P, Li DJ, Auston DA, et al. Autograft, allograft, Autograft, Allograft, and Bone Graft Substitutes: Clinical Evidence and Indications for Use in the Setting of Orthopaedic Trauma Surgery. *J Orthop Trauma*. 2019;33(4):203-213. doi: 10.1097/BOT.0000000000001420
16. Nashi N, Kagda FH. Current concepts of bone grafting in trauma surgery. *J Clin Orthop Trauma*. 2023;43:102231. doi: 10.1016/j.jcot.2023.102231
17. Robinson CM, McLauchlan G, Christie J, et al. Tibial fractures with bone loss treated by primary reamed intramedullary nailing. *J Bone Joint Surg Br*. 1995;77(6):906-913.
18. Harris AM, Althausen PL, Kellam J, et al. Complications following limb-threatening lower extremity trauma. *J Orthop Trauma*. 2009;23(1):1-6. doi: 10.1097/BOT.0b013e31818e43dd
19. Ilizarov GA. Clinical application of the tension-stress effect for limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(250):8-26.
20. Lasanianos NG, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Current management of long bone large segmental defects. *Orthop Trauma*. 2010;24(2):149-163. doi: 10.1016/j.mporth.2009.10.003
21. Mauffrey C, Barlow BT, Smith W. Management of segmental bone defects. *J Am Acad Orthop Surg*. 2015;23(3):143-153. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00018
22. Pipitone PS, Rehman S. Management of traumatic bone loss in the lower extremity. *Orthop Clin North Am*. 2014;45(4):469-482. doi: 10.1016/j.ocl.2014.06.008
23. El-Rosasy MA. Acute shortening and re-lengthening in the management of bone and soft-tissue loss in complicated fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(1):80-88. doi: 10.1302/0301-620X.89B1.17595
24. Eralp L, Balci HI, Kocaoglu M, et al. Is acute compression and distraction superior to segmental bone transport techniques in chronic tibial osteomyelitis ? Comparison of Distraction Osteogenesis Techniques. *Acta Orthop Belg*. 2016;82(3):599-609.
25. Regan DK, Crespo AM, Konda SR, et al. Functional Outcomes of Compression Plating and Bone Grafting for Operative Treatment of Nonunions About the Forearm. *J Hand Surg Am*. 2018;43(6):564.e1-564.e9. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.10.039
26. Ring D, Allende C, Jafarnia K, et al. Ununited diaphyseal forearm fractures with segmental defects: plate fixation and autogenous cancellous bone-grafting. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(11):2440-2445.
27. Weiland AJ, Phillips TW, Randolph MA. Bone grafts: a radiologic, histologic, and biomechanical model comparing autografts, allografts, and free vascularized bone grafts. *Plast Reconstr Surg*. 1984;74(3):368-379.
28. Faldini C, Pagkrati S, Nanni M, et al. Aseptic forearm nonunions treated by plate and opposite fibular autograft strut. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(8):2125-2134. doi: 10.1007/s11999-009-0827-5
29. Giannoudis PV, Harwood PJ, Tosounidis T, Kanakaris NK. Restoration of long bone defects treated with the induced membrane technique: protocol and outcomes. *Injury*. 2016;47 Suppl 6:S53-S61. doi: 10.1016/S0020-1383(16)30840-3
30. Wong TM, Lau TW, Li X, et al. Masquelet technique for treatment of posttraumatic bone defects. *ScientificWorldJournal*. 2014;2014:710302. doi: 10.1155/2014/710302
31. Davis JA, Choo A, O'Connor DP, et al. Treatment of Infected Forearm Nonunions With Large Complete Segmental Defects Using Bulk Allograft and Intramedullary Fixation. *J Hand Surg Am*. 2016;41(9):881-887. doi: 10.1016/j.jhsa.2016.05.021
32. Wood MB, Bishop AT. Massive bone defects of the upper limb: reconstruction by vascularized bone transfer. *Hand Clin*. 2007;23(1):49-56. doi: 10.1016/j.hcl.2007.01.002

33. Safoury Y. Free vascularized fibula for the treatment of traumatic bone defects and nonunion of the forearm bones. *J Hand Surg Br.* 2005;30(1):67-72. doi: 10.1016/j.jhsb.2004.09.007
34. Zhang Q, Yin P, Hao M, et al. Bone transport for the treatment of infected forearm nonunion. *Injury.* 2014;45(12):1880-1884. doi: 10.1016/j.injury.2014.07.029
35. Green SA. Skeletal defects. A comparison of bone grafting and bone transport for segmental skeletal defects. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(301):111-117.
36. Коваленко А.Н., Шубняков И.И., Бильяк С.С., Тихилов Р.М. Современные технологии лечения тяжелых костных дефектов в области вертлужной впадины: какие проблемы решают индивидуальные имплантаты? *Политравма.* 2017;(1):72-81.
37. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н. и др. Показания к ревизионному эндопротезированию тазобедренного сустава, планирование и техника ревизионной операции. В кн.: *Руководство по хирургии тазобедренного сустава.* Под ред. Тихилов Р.М., Шубняков И.И. СПб.: РНИИТО им. Р.Р. Вредена; 2015;2:258-355.
38. Efetov SK, Lychagin AV, Zubayraeva AA, et al. 3D-printed pubic bone for pelvic ring reconstruction after exenteration for anal cancer recurrence. *Br J Surg.* 2020;107(11):e512-e514. doi: 10.1002/bjs.11982
39. Пелешок С.А., Головкин К.П. 3D-печать и медицина. *Известия Российской Военно-медицинской академии.* 2022;41(3):325-333. doi: 10.17816/rmmar88645
40. Keating JF, Simpson AH, Robinson CM. The management of fractures with bone loss. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(2):142-150. doi: 10.1302/0301-620x.87b2.15874
41. Molina CS, Stinner DJ, Obremsky WT. Treatment of Traumatic Segmental Long-Bone Defects: A Critical Analysis Review. *JBJS Rev.* 2014;2(4):e1. doi: 10.2106/JBJS.RVW.M.00062
42. Omid R, Stone MA, Zalavras CG, Marecek GS. Gunshot Wounds to the Upper Extremity. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(7):e301-e310. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00676
43. Ebrahimi A, Nejadzarvari N, Ebrahimi A, Rasouli HR. Early Reconstructions of Complex Lower Extremity Battlefield Soft Tissue Wounds. *World J Plast Surg.* 2017;6(3):332-342.
44. Migliorini F, La Padula G, Torsiello E, et al. Strategies for large bone defect reconstruction after trauma, infections or tumour excision: a comprehensive review of the literature. *Eur J Med Res.* 2021;26(1):118. doi: 10.1186/s40001-021-00593-9
45. Jebson P, Hayden RJ. AO Principles of Fracture Management. *JAMA.* 2008;300(20):2432-2433. doi:10.1001/jama.2008.703
46. Ebraheim NA, Elgafy H, Xu R. Bone-graft harvesting from iliac and fibular donor sites: techniques and complications. *J Am Acad Orthop Surg.* 2001;9(3):210-218. doi: 10.5435/00124635-200105000-00007
47. Tonoli C, Bechara AH, Rossanez R, et al. Use of the vascularized iliac-crest flap in musculoskeletal lesions. *Biomed Res Int.* 2013;2013:237146. doi: 10.1155/2013/237146
48. Roberts TT, Rosenbaum AJ. Bone grafts, bone substitutes and orthobiologics: the bridge between basic science and clinical advancements in fracture healing. *Organogenesis.* 2012;8(4):114-124. doi: 10.4161/org.23306
49. Lei P, Du W, Liu H, et al. Free vascularized iliac bone flap based on deep circumflex iliac vessels graft for the treatment of osteonecrosis of femoral head. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):397. doi: 10.1186/s13018-019-1440-2
50. Kessler P, Thorwarth M, Bloch-Birkholz A, et al. Harvesting of bone from the iliac crest--comparison of the anterior and posterior sites. *Br J Oral Maxillofac Surg.* 2005;43(1):51-56. doi: 10.1016/j.bjoms.2004.08.026
51. Myeroff C, Archdeacon M. Autogenous bone graft: donor sites and techniques. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(23):2227-2236. doi: 10.2106/JBJS.J.01513
52. Beris AE, Lykissas MG, Korompilias AV, et al. Vascularized fibula transfer for lower limb reconstruction. *Microsurgery.* 2011;31(3):205-211. doi: 10.1002/micr.20841
53. Kalra GS, Goel P, Singh PK. Reconstruction of post-traumatic long bone defect with vascularised free fibula: A series of 28 cases. *Indian J Plast Surg.* 2013;46(3):543-548. doi: 10.4103/0970-0358.122013
54. Zekry KM, Yamamoto N, Hayashi K, et al. Reconstruction of intercalary bone defect after resection of malignant bone tumor. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019;27(1):2309499019832970. doi: 10.1177/2309499019832970
55. Bumbasirevic M, Stevanovic M, Bumbasirevic V, et al. Free vascularised fibular grafts in orthopaedics. *Int Orthop.* 2014;38(6):1277-82. doi: 10.1007/s00264-014-2281-6
56. Muramatsu K, Ihara K, Shigetomi M, Kawai S. Femoral reconstruction by single, folded or double free vascularised fibular grafts. *Br J Plast Surg.* 2004;57(6):550-555. doi: 10.1016/j.bjps.2003.08.021
57. Wieser K, Modaressi K, Seeli F, Fuchs B. Autologous double-barrel vascularized fibula bone graft for arthrodesis of the shoulder after tumor resection. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(9):1219-1224. doi: 10.1007/s00402-013-1795-5
58. Roddy E, DeBaun MR, Daoud-Gray A, et al. Treatment of critical-sized bone defects: clinical and tissue engineering perspectives. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(3):351-362. doi: 10.1007/s00590-017-2063-0
59. Estrella EP, Wang EH. A Comparison of Vascularized Free Fibular Flaps and Nonvascularized Fibular Grafts for Reconstruction of Long Bone Defects after Tumor Resection. *J Reconstr Microsurg.* 2017;33(3):194-205. doi: 10.1055/s-0036-1594299
60. McCullough MC, Arkader A, Ariani R, et al. Surgical Outcomes, Complications, and Long-Term Functionality for Free Vascularized Fibula Grafts in the Pediatric Population: A 17-Year Experience and Systematic Review of the Literature. *J Reconstr Microsurg.* 2020;36(5):386-396. doi: 10.1055/s-0040-1702147
61. Houdek MT, Bayne CO, Bishop AT, Shin AY. The outcome and complications of vascularised fibular grafts. *Bone Joint J.* 2017;99-B(1):134-138. doi: 10.1302/0301-620X.99B1.BJJ-2016-0160.R1
62. Liu S, Tao S, Tan J, et al. Long-term follow-up of fibular graft for the reconstruction of bone defects. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(40):e12605. doi: 10.1097/MD.00000000000012605
63. Bakri K, Stans AA, Mardini S, Moran SL. Combined massive allograft and intramedullary vascularized fibula transfer: the capanna technique for lower-limb reconstruction. *Semin Plast Surg.* 2008;22(3):234-241. doi: 10.1055/s-2008-1081406
64. Zekry KM, Yamamoto N, Hayashi K, et al. Reconstruction of intercalary bone defect after resection of malignant bone tumor. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2019;27(1):2309499019832970. doi: 10.1177/2309499019832970
65. Panagopoulos GN, Mavrogenis AF, Mauffrey C, et al. Intercalary reconstructions after bone tumor resections: a review of treatments. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2017;27(6):737-746. doi: 10.1007/s00590-017-1985-x
66. Zheng K, Yu XC, Hu YC, et al. Outcome of segmental prosthesis reconstruction for diaphyseal bone tumors: a multi-center retrospective study. *BMC Cancer.* 2019;19(1):638. doi: 10.1186/s12885-019-5865-0

67. Palumbo BT, Henderson ER, Groundland JS, et al. Advances in segmental endoprosthetic reconstruction for extremity tumors: a review of contemporary designs and techniques. *Cancer Control*. 2011;18(3):160-170. doi: 10.1177/107327481101800303

Статья поступила 04.04.2023; одобрена после рецензирования 11.09.2023; принята к публикации 21.02.2024.

The article was submitted 04.04.2023; approved after reviewing 11.09.2023; accepted for publication 21.02.2024.

#### **Информация об авторах:**

Денис Владимирович Давыдов — доктор медицинских наук, профессор, начальник госпиталя;

Леонид Карлович Брижань — доктор медицинских наук, профессор, заместитель начальника, brizhan.leonid@mail.ru;

Артур Асланович Керимов — кандидат медицинских наук, начальник центра, главный травматолог, kerartur@yandex.ru;

Андрей Андреевич Максимов — кандидат медицинских наук, заведующий группой, aam.moscow.hand.72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0891-4937>;

Игорь Владимирович Хоминец — кандидат медицинских наук, начальник отделения;

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

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

Адам Зеудтинович Арсомаков — кандидат медицинских наук, заведующий кафедрой, arsamakov-a@mail.ru.

#### **Information about the authors:**

Denis V. Davydov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Chief of the Hospital;

Leonid K. Brizan — Doctor of Medical Sciences, Professor, Deputy Head, brizhan.leonid@mail.ru;

Artur A. Kerimov — Candidate of Medical Sciences, Head of the Traumatology Center, kerartur@yandex.ru;

Andrey A. Maksimov — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, aam.moscow.hand.72@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-0891-4937>;

Igor V. Khominets — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department;

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

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

Adam Z. Arsomakov — Candidate of Sciences in Medicine, Head of the Department, arsamakov-a@mail.ru.

Научная статья

УДК 616.717.7-007.248-001.5-089.873+616.717.5/.6-001.5-089.227.84

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-502-510>



## Модификация техники резекции проксимального ряда костей запястья (PRC) при адаптивном коллапсе запястья (пилотное исследование)

Ш.К. Куттыгул ✉, Д.Е. Тягунов, Н.А. Щудло

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

Автор, ответственный за переписку: Шынгыс Кайырбекулы Куттыгул, [artana.kaz@gmail.com](mailto:artana.kaz@gmail.com)

### Аннотация

**Введение.** Резекция проксимального ряда костей запястья на протяжении многих десятилетий применяется как «спасительная операция» при прогрессирующем коллапсе запястья. Совершенствование техники её выполнения, а также внедрение в практику различных модификаций техники являются важным направлением для улучшения результатов оперативного лечения.

**Цель работы** — продемонстрировать аспекты модифицированной техники резекции проксимального ряда костей запястья (PRC) и ближайшие результаты её применения.

**Материалы и методы.** По модифицированной технике PRC прооперировано восемь пациентов в возрасте от 24 до 57 лет (семь мужчин и одна женщина). Оценку результатов лечения производили по адаптированному опроснику QuickDASH, по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ), на основании удовлетворенности пациента и по результатам рентгенографии.

**Результаты.** Средняя продолжительность оперативного вмешательства составила  $(149,0 \pm 35,5)$  мин. В послеоперационном периоде 6 пациентам (75 %) выполнена фиксация аппаратом Илизарова, остальным — гипсовой лонгетой. Средний объем движения сгибания и разгибания составил  $(67,5 \pm 18,3)^\circ$ , диапазон —  $40-95^\circ$ . У пациентов в среднем зафиксировано  $(35,6 \pm 16,13)^\circ$  разгибания, диапазон —  $10-65^\circ$  и  $(31,87 \pm 10,9)^\circ$  сгибания, диапазон —  $10-45^\circ$ . Пациенты отметили снижение силы хвата после операции. Болевой синдром по ВАШ в покое был равен 0–1 баллу, при нагрузке оперированной конечности — 3–4 баллам. У шести пациентов был проведен опрос по QuickDASH, среднее значение составило  $(14,83 \pm 4,25)$  балла. Все пациенты удовлетворены результатом лечения, отсутствием болевого синдрома в покое. Пациенты вернулись к привычной работе.

**Обсуждение.** В отличие от общепринятого тыльного доступа через III–IV сухожильные каналы, применение двух мини-доступов обеспечивает лучший косметический эффект, позволяет легче восстановить целостность сухожильных каналов, которые значимы для профилактики десмогенных контрактур. Применение аппарата Илизарова зарекомендовало себя методикой выбора, обеспечивающей абсолютную стабильность и снижение болевого синдрома в послеоперационном периоде. Для пациентов моложе 45 лет с повышенными потребностями в функциональных нагрузках необходим взвешенный подход при выборе операции PRC либо межзапястного артрореза, в зависимости от того, какие функциональные параметры важнее для пациента.

**Заключение.** Анализ ближайших результатов применения модифицированной техники PRC показал, что она снижает травматичность операции, улучшает её косметический результат, обеспечивает купирование болевого синдрома, удовлетворительный объём движений и силу схвата.

**Ключевые слова:** адаптивный коллапс запястья (АКЗ), аппарат Илизарова, резекция проксимального ряда костей запястья

**Для цитирования:** Куттыгул Ш.К., Тягунов Д.Е., Щудло Н.А. Модификация техники резекции проксимального ряда костей запястья (PRC) при адаптивном коллапсе запястья. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):502-510. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-502-510. EDN: EFJEPF.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-502-510>



## Modification of proximal row carpectomy (PRC) technique for adaptive wrist collapse (pilot study)

Sh.K. Kuttygul✉, D.E. Tyagunov, N.A. Shchudlo

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

**Corresponding author:** Shyngys K. Kuttygul, [artana.kaz@gmail.com](mailto:artana.kaz@gmail.com)

### Abstract

**Introduction** Proximal carpal row resection has been used for many decades as a “salvage procedure” for progressive wrist collapse. Improving the technique of its implementation, as well as introducing various modifications of the technique into practice are an important area for achieving better results of surgical treatment.

The **purpose** of this work was to demonstrate aspects of the modified proximal row carpectomy (PRC) technique and the immediate results of its use.

**Materials and methods** Eight patients aged from 24 to 57 years (seven men and one woman) were treated with the modified PRC technique. Treatment results were assessed using an adapted QuickDASH questionnaire, a visual analogue scale (VAS), based on patient satisfaction and radiographic results.

**Results** The average duration of surgical intervention was ( $149.0 \pm 35.5$ ) minutes. In the postoperative period, six patients (75 %) underwent fixation with an Ilizarov apparatus, the rest with a plaster splint. The average range of motion of flexion and extension was ( $67.5 \pm 18.3$ )°, range: 40–95°. The patients had an average of ( $35.6 \pm 16.13$ )° extension, range: 10–65° and ( $31.87 \pm 10.9$ )° flexion, range: 10–45°. Patients reported decreased grip strength after surgery. Pain syndrome according to VAS at rest was equal to 0–1 points and 3–4 points when the affected limb was loaded. Six patients completed the QuickDASH survey, with a mean score of ( $14.83 \pm 4.25$ ) points. All patients are satisfied with the result of treatment and the absence of pain at rest. Patients returned to their usual work.

**Discussion** Unlike the conventional dorsal approach through the III–IV tendon canals, the use of two mini-approaches provides a better cosmetic effect and makes it easier to restore the integrity of the tendon canals, which are important for the prevention of desmogenic contractures. The use of the Ilizarov apparatus has proven to be the method of choice, providing absolute stability and reduction of pain in the postoperative period. For patients under 45 years of age with increased functional demands, a balanced approach is required when choosing PRC or intercarpal arthrodesis, depending on which functional parameters are more important to the patient.

**Conclusion** The analysis of short-term results of using the modified PRC technique shows that it reduces the invasiveness of the operation, improves its esthetic result, provides pain relief and a satisfactory range of motion and grip strength.

**Keywords:** adaptive carpal collapse (ACC), Ilizarov apparatus, resection, proximal row of carpal bones

**For citation:** Kuttygul ShK, Tyagunov DE, Shchudlo NA. Modification of proximal row carpectomy (PRC) technique for adaptive wrist collapse (pilot study). *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):502-510. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-502-510

## ВВЕДЕНИЕ

Безболезненный и стабильный кистевой сустав необходим для полноценного функционирования кисти. В клинической практике часто встречаются пациенты с болью на уровне запястья, причины которой условно подразделяются на механические, неврологические и системные [1]. Наиболее частая причина хронических болей — остеоартрит запястья, который классифицируют на воспалительный, дегенеративный, инфекционный и геморрагический [2]. Первичный остеоартрит запястья (остеоартрит) как идиопатическое состояние встречается редко [3], вторичный остеоартрит возникает после простой травмы, нестабильности, вывихов или воспалительного артрита в результате церебрального паралича, проникающих огнестрельных ранений [4], а также инфекций [5].

Вторичный дегенеративный артрит запястья чаще всего развивается в результате повреждений ладьевидно-полулунной связки или переломов ладьевидной кости с последующим несращением либо неправильным сращением. Впоследствии развивается адаптивный коллапс запястья — патологическое состояние, заключающееся в прогрессирующем нарушении анатомически правильного взаиморасположения костей и их фрагментов или рядов костей запястья, приводящее к снижению высоты, изменению биомеханики и высокому темпу развития дегенеративно-дистрофического процесса. Коллапс запястья следует рассматривать как своеобразный исход нестабильности, имеющий застарелый характер и еще более усугубляющий течение посттравматического остеоартроза [6].

Одной из главных задач кистевого хирурга является восстановление анатомо-функциональной целостности поврежденного сегмента, купирование болевого синдрома, и в арсенале хирурга для этого имеются различные типы хирургических вмешательств. Выбор метода лечения зависит от причины и характера последствий вызывающей патологии, потребности пациента. Доступные процедуры могут быть сгруппированы в два основных варианта лечения, а именно: частичный или полный артродез запястья [7–11] и артропластика запястья [12–16], также паллиативные и «спасительные» методы лечения.

Для купирования хронического запястного болевого синдрома применяют декомпрессию костномозговой полости дистального конца лучевой кости [17], направленную на улучшение его кровоснабжения, а также частичную или полную денервацию запястья [18], которые могут быть самостоятельными операциями или дополнять другие [19].

Общепринятая оперативная техника при различных дегенеративных состояниях — резекция проксимального ряда костей запястья. Она относится к операциям, сохраняющим объем движения (в отличие от тотального артродеза, когда движение в суставе приносится в жертву) [20]. У резекции проксимального ряда костей запястья есть несколько преимуществ: относительная простота выполнения, меньшая продолжительность послеоперационной иммобилизации, отсутствие риска несращения костей, в отличие от артродеза [21, 22]. Ее можно применять у пациентов, которым не требуется большая сила кистевого схвата [23]. Недостаток методики — развитие остеоартрита в сформированном лучеголовчатом суставе, который со временем развивается у большинства пациентов и связан с тяжёлым физическим трудом [24], что может в дальнейшем потребовать дополнительных оперативных вмешательств. Несмотря на то, что резекция проксимального ряда костей запястья проверена временем, остаётся актуальной проблема совершенствования техники её выполнения [25], что определило цель нашего исследования.

**Цель работы** — продемонстрировать аспекты модифицированной техники резекции проксимального ряда костей запястья (PRC) и ближайшие результаты её применения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

По модифицированной технике резекции проксимального ряда костей запястья прооперировано восемь пациентов в возрасте от 24 до 57 лет (табл. 1), средний возраст —  $(37,75 \pm 10,42)$  года.

Предоперационное обследование направлено на понимание степени нетрудоспособности пациента и основано на субъективной оценке пациентом боли и потери функции, а также на объективной оценке диапазона движений (гониометрии) [26] и данных лучевых методов исследования (рентгенографии и КТ).

Все пациенты поступили в плановом порядке. Травма в анамнезе была у шести пациентов (75 %). Показания к операции:

- застарелый перилунарный вывих кисти ( $n = 2$ ; 25 %);
- чрезладьевидный оперилунарный вывих ( $n = 1$ ; 12,5 %);
- прогрессирующий коллапс на фоне несращения перелома ладьевидной кисти [SNAC 2 стадии] ( $n = 2$ ; 25 %);
- ладьевидно-полулунный коллапс кисти (SLAC 2 стадии) ( $n = 1$ ; 12,5 %);
- признаки асептического некроза полулунной кости 4 степени без положительного эффекта от консервативного лечения ( $n = 2$ ; 25 %).

Клинико-демографические данные до операции

№ пациента	Возраст (годы)	Пол	Доминирующая кисть	Поврежденная кисть	Показания к операции	Объем движения (разгибание / установка по оси / сгибание)	DASH	Боль в покое	Боль при нагрузке
1	24	м	правая	правая	Асептический некроз полулунной кости	30° / 0° / 10°	30	да	да
2	30	м	правая	левая	Чрезлабевидный перилунарный вывих	4° / 0° / 28°	–	да	да
3	40	ж	правая	правая	SNAC 2 степени	20° / 0° / 30°	71,6	да	да
4	37	м	правая	левая	Застарелый перилунарный вывих	10° / 0° / 10°	–	да	да
5	57	м	правая	правая	SLAC 2 степени	10° / 0° / 20°	47,5	да	да
6	47	м	левая	левая	Асептический некроз полулунной кости	90° / 0° / 90°	–	да	да
7	36	м	правая	левая	Застарелый перилунарный вывих кисти	15° / 0° / 35°	–	да	да
8	31	м	правая	правая	SNAC 2 степени	5° / 0° / 30°	–	да	да

Все пациенты жаловались на наличие болей ноющего характера в покое. Боль усиливалась при нагрузке и вызывала ограничение движений и снижение силы кистевого хвата.

Оценку результатов лечения производили на основе опросника QuickDASH (Quick the Disabilities of the Arm, Shoulder and Hand) [27], оценки болевого синдрома по визуально-аналоговой шкале (ВАШ), гониометрической оценки объема движений в лучезапястном суставе и балльной оценки силы кистевого схвата (0–1, 1–2, 2–3), где оценка «3» соответствовала силе здоровой контралатеральной кисти.

### Техника операции

При операции использовали проводниковую анестезию. Положение пациента — на спине, рука — на прикроватной стойке. После подготовки операционного поля накладывали гемостатический пневможгут на уровне средней трети плеча. Оперативный доступ к ладьевидной кости осуществляли из разреза по передней поверхности предплечья длиной 4–5 см, используя в качестве внешнего ориентира Flexor carpi radialis (FCR). После выполнения разреза сухожилие отодвигали в сторону, что давало возможность вскрыть капсулу ЛЗС и осмотреть суставные поверхности дистального отдела лучевой и ладьевидной костей (рис. 1). Далее производили резекцию ладьевидной кости. С целью профилактики импинджмент-синдрома выполняли резекцию шиловидного отростка лучевой кости. Затем через дополнительный тыльный доступ длиной 4–5 см обнажали retinaculum extensorum и вскрывали V канал разгибателей. Сухожилия разгибателя V пальца отодвигали в сторону, капсулу ЛЗС рассекали вдоль тыльной лучезапястной связки (DRC) (рис. 2), проводили осмотр дистального отдела лучевой кости и среднелунарного сустава, чтобы убедиться в сохранности полулунной ямки лучевой и головчатой костей.

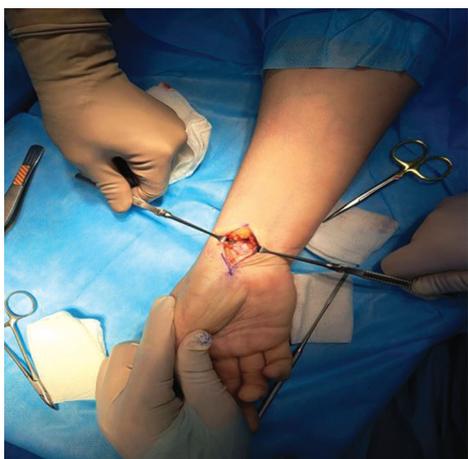


Рис. 1. Ладонный доступ



Рис. 2. Тыльный доступ к кистевому суставу

При их повреждении необходимо рассмотреть альтернативу оперативному вмешательству. Если есть какие-либо вопросы относительно правильной идентификации костей запястья, возможна рентгеноскопия с металлической спицей-меткой. Удаление трехгранной и полулунной костей выполняют аналогично удалению ладьевидной кости оперативными приемами.

Затем проводили рентген-контроль. Капсулу сустава ушивали нерассасывающимся шовным материалом в соответствии с рекомендациями литературы [28]. После снятия жгута осуществляли тщательный гемостаз и рану послойно ушивали узловым или внутрикожным швом. В случае перилунарного вывиха и повреждения связочного аппарата ЛЗС иммобилизовали в функционально выгодном положении аппаратом Илизарова. Для этого проводили две спицы в нижней трети предплечья перекрестно и две спицы в средней трети. Спицы, проведенные на предплечье, закрепляли и натягивали в кольцах. Опоры соединяли между собой прямыми стержнями. Через основания II–V пястных костей проводили две спицы. Спицы фиксировали в полукольце. Полукольцо и кольца соединяли стержнями посредством шарниров, обеспечивающих функционально выгодное положение кисти по отношению к предплечью.

В послеоперационном периоде назначали обезболивающие средства, перевязки, антибиотикопрофилактику, затем с третьих суток с момента операции — ЛФК.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### Ближайшие результаты

Ближайшие результаты до 1 года отслеживали на амбулаторном этапе после снятия аппарата. На контрольном осмотре проводили оценку жалоб, гониометрию (табл. 2), рентгенографию кисти в двух проекциях (прямой и боковой) для оценки состояния лучезапястного сустава.

Таблица 2

Ближайшие результаты лечения (до одного года)

№ пациента	Возраст (годы)	Пол	Доминирующая кисть	Поврежденная кисть	Показания к операции	Объем движения (разгибание / установка по оси / сгибание)	Quick DASH	Боль в покое	Боль при нагрузке
1	24	м	правая	правая	Асептический некроз полулунной кости	10° / 0° / 30°	17,5	нет	да
2	30	м	правая	левая	Чрезладевидный перилунарный вывих	30° / 0° / 45°	–	–	–
3	40	ж	правая	правая	SNAC 2 степени	45° / 0° / 45°	17,6	нет	да
4	37	м	правая	левая	Застарелый перилунарный вывих	65° / 0° / 30°	13	нет	нет
5	57	м	правая	правая	SLAC 2 степени	30° / 0° / 30°	7	нет	нет
6	47	м	левая	левая	Асептический некроз полулунной кости	30° / 0° / 30°	18	нет	нет
7	36	м	правая	левая	Застарелый перилунарный вывих кисти	30° / 0° / 35°	–	–	–
8	31	м	правая	правая	SNAC 2 степени	45° / 0° / 10°	15,9	нет	нет

Особенностью изученной группы пациентов является молодой возраст — ( $37,75 \pm 10,42$ ) года.

Средняя продолжительность оперативного вмешательства составила ( $149,0 \pm 35,51$ ) минуты. В послеоперационном периоде шести пациентам (75 %) выполнена фиксация аппаратом Илизарова, остальным — фиксация гипсовой лонгетой.

В период от 3 мес. до 1 г. с момента операции средний объем сгибания и разгибания составил ( $67,5 \pm 18,3$ )°, диапазон — 40–95°, из них ( $35,6 \pm 16,13$ )° разгибания, диапазон — 10–65° и ( $31,8 \pm 10,9$ )° сгибания, диапазон — 10–45°.

Болевой синдром по ВАШ в покое равен 0–1 баллу, при нагрузке оперированной конечности — 3–4 балла. У шести пациентов проведен опрос по QuickDASH, среднее значение составило ( $14,83 \pm 4,25$ ) балла. Сила кистевого схвата в баллах составила 1–2 балла.

Все пациенты удовлетворены результатом лечения, отсутствием болевого синдрома в покое. Пациенты вернулись к привычной жизни.

### Клинический пример

Пациент 36 лет. Жалобы: боль в покое и при нагрузке, ограничение движения в левой кисти. An. morbi: бытовая травма 23.10.2021, ушиб при падении на кисть. По месту жительства диагностирован перилунарный вывих кисти. Под местной анестезией выполнено вправление вывиха, иммобилизация кисти и лучезапястного сустава гипсовой лонгетой. На контрольных рентгенограммах определено, что вывих не устранен. Пациент в течение двух месяцев фиксировал кисть ортезом, проходил курсы физиотерапии. Из-за сохранившихся жалоб 09.03.2022 госпитализирован в НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова.

Обследование выявило сохранившийся застарелый чрезладевидный перилунарный вывих левой кисти, артроз, синовит левого лучезапястного сустава, несросшийся оскольчатый перелом шиловидного отростка левой локтевой кости (рис. 3–4).



Рис. 3. Рентгенограмма при поступлении в прямой и боковой проекциях



Рис 4. Фото функции до операции

Контрактура мягких тканей препятствовала вправлению вывиха, поэтому 18.03.2022 выполнена резекция проксимального ряда костей запястья, а также резекция фрагмента шиловидного отростка левой лучевой кости с фиксацией кисти и предплечья аппаратом Илизарова (рис. 5).

В послеоперационном периоде болевой синдром уменьшился по сравнению с дооперационным и, благодаря фиксации аппаратом Илизарова, повторных подвывихов или вывихов отмечено не было. 12.04.2022 (через 27 сут. с момента операции) проведено снятие аппарата. В дальнейшем произведена фиксация ортезом в течение 1 мес.

Через 1 год с момента операции объем сгибания и разгибания составил  $95^\circ$ , из них  $65^\circ$  разгибания и  $30^\circ$  сгибания (рис. 6, 7).

Болевой синдром по ВАШ в покое и нагрузке равен нулю. При опросе по QuickDASH значение составило 13 баллов. Сила кистевого схвата — 2 балла относительно здоровой кисти.



Рис. 5. Рентгенограммы в прямой и боковой проекциях в первые сутки после операции

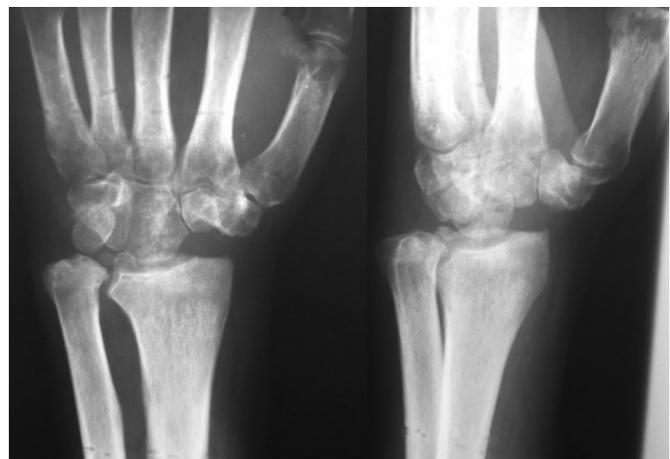


Рис. 6. Результат лечения. Рентгенограммы в прямой и боковой проекциях через год с момента операции



Рис. 7. Результат лечения. Фото пациента через год после операции

### ОБСУЖДЕНИЕ

По данным мировой литературы PRC имеет широкий круг показаний [20]:

- ладьевидно-полулунный коллапс кисти [SLAC];
- прогрессирующий коллапс на фоне несращения перелома ладьевидной кости [SNAC];
- болезнь Кинбека с коллапсом кисти;
- застарелый перилунарный вывих;
- остеонекроз ладьевидной кости (болезнь Прейзера или посттравматический остеонекроз);
- тяжелые сгибательные контрактуры, связанные с системными заболеваниями (церебральный паралич или артрогрипоз).

Противопоказания относительные:

- отсутствие комплаенса пациента;
- хронические компенсированные заболевания внутренних органов;
- кожные заболевания в области операционного вмешательства (в стадии обострения): пиодермия, рожистое воспаление;
- психические заболевания пациента;
- молодой возраст, тяжелый физический труд пациента.

Противопоказания абсолютные:

- хронические декомпенсированные заболевания внутренних органов;
- психические заболевания пациента;
- дегенеративные изменения в полулунной ямке лучевой кости и головчатой кости;
- воспалительные артропатии (ревматоидный артрит).

Прогрессирующее сужение суставной щели и артроз лучеголовчатого сустава неизбежно возникают после PRC вследствие замены комплексного запястного сустава шарнирным [24].

У пациентов моложе сорока пяти лет с повышенными потребностями в функциональных нагрузках необходим взвешенный подход при выборе операции PRC либо четырехстороннего артродеза в зависимости от того, какие функциональные параметры (сила схвата или амплитуда движений) важнее для пациента [29].

Harvey Chim et al. в 2012 г. в работе по анализу отдаленных результатов PRC у 147 пациентов сообщили о среднем результате послеоперационного объема движения (сгибание и разгибание —  $73,5^\circ$ ) [24], что не противоречит нашим средним результатам объема движения, сгибания и разгибания ( $67,5 \pm 18,3^\circ$ ).

Особенностью нашей методики PRC является наличие двух мини-доступов. В отличие от общепринятого тыльного доступа через III–IV сухожильные каналы, применение двух мини-доступов позволяет легче восстановить целостность сухожильных каналов, обеспечивает лучший косметический эффект,

в том числе за счет соблюдения разрезов вдоль линий натяжения Лангера, которые соответствуют естественной ориентации коллагеновых волокон дермы. Такие разрезы обычно лучше заживают и вызывают меньшее рубцевание [30], что является значимым фактором профилактики десмогенных контрактур. Применение аппарата Илизарова при застарелых перилунарных вывихах — также новый аспект модификации PRC, зарекомендовавший себя методикой выбора, обеспечивающей качественную иммобилизацию ЛЗС и снижение болевого синдрома в послеоперационном периоде.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ ближайших результатов применения модифицированной техники PRC показал, что она снижает травматичность операции, улучшает косметический результат, обеспечивает купирование болевого синдрома в покое, удовлетворительный объём движений и силу схвата. Данные, полученные на основе работы с восемью пациентами, носят предварительный характер, дальнейшие исследования ближайших и отдалённых результатов позволят обосновать внедрение модифицированной техники PRC в клиническую практику.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Авторы не получали финансирования на проведение данной работы.

**Этическая экспертиза.** Исследования проводились в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации, разработанной Всемирной медицинской ассоциацией, «Этическими принципами проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г.

**Информированное согласие.** Всеми пациентами или их законными представителями было подписано информированное согласие на публикацию данных, полученных в результате исследований, без идентификации личности.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Forman TA, Forman SK, Rose NE. A clinical approach to diagnosing wrist pain. *Am Fam Physician*. 2005;72(9):1753-8.
- Maklad M. Wrist arthritis and carpal advanced collapse- systematic review. *Int J Orthop*. 2020;7(6):1374-1378. doi: 10.17554/j.issn.2311-5106.2020.07.400
- Laulan J, Marteau E, Bacle G. Wrist osteoarthritis. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2015;101(1 Suppl):S1-S9. doi: 10.1016/j.otsr.2014.06.025
- Nissen KL. Symposium on cerebral palsy (orthopaedic section). *Proc R Soc Med*. 1951;(44):87-90.
- Ely LW. An operation for tuberculosis of the wrist. *JAMA*. 1920;75(25):1707-1709. doi: 10.1001/jama.1920.02620510021009
- Волотовский А.И. Адаптивный коллапс запястья: понятие, классификация, современные методы диагностики. *Медицинский журнал*. 2012;(3):26-31.
- Borisch N, Haussmann P. Radiolunate arthrodesis in the rheumatoid wrist: a retrospective clinical and radiological longterm follow-up. *J Hand Surg Br*. 2002;27(1):61-72. doi: 10.1054/jhsb.2001.0681
- Chamay A, Della Santa D, Vilaseca A. Radiolunate arthrodesis. Factor of stability for the rheumatoid wrist. *Ann Chir Main*. 1983;2(1):5-17. doi: 10.1016/s0753-9053(83)80073-8
- Tubiana R, Thomine J-M, Mackin E. *Examination of the hand and wrist*. London: Martin Dunitz; 1996:185-197.
- Viegas SF, Patterson RM, Peterson PD, et al. Ulnar-sided perilunate instability: an anatomic and biomechanic study. *J Hand Surg Am*. 1990;15(2):268-278. doi: 10.1016/0363-5023(90)90107-3
- Watson HK, Ashmead D. Triscaphe fusion for chronic scapholunate instability. In: Gelberman RH. (ed). *The wrist*. New York: Raven Press; 1994:183-194.
- Alnot JY. Guepar's total arthroplasty of the wrist in rheumatoid polyarthritis. *Acta Orthop Belg*. 1988;54(2):178-184.
- Clayton ML. Surgical treatment at the wrist in rheumatoid arthritis: a review of thirty-seven patients. *J Bone Joint Surg Am*. 1965 Jun;47:741-750.
- Cobb TK, Beckenbaugh RD. Biaxial total-wrist arthroplasty. *J Hand Surg Am*. 1996;21(6):1011-1021. doi: 10.1016/S0363-5023(96)80309-1
- Divelbiss BJ, Sollerman C, Adams BD. Early results of the Universal total wrist arthroplasty in rheumatoid arthritis. *J Hand Surg Am*. 2002;27(2):195-204. doi: 10.1053/jhsu.2002.31728
- Gupta A. Total wrist arthroplasty. *Am J Orthop* (Belle Mead NJ). 2008;37(8 Suppl 1):12-16.
- Wu J, Sun J, Liu X, et al. Clinical analysis of distal radius core decompression for chronic wrist pain. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2023;37(7):815-820. (In Chin.) doi: 10.7507/1002-1892.202303131
- Smeraglia F, Basso MA, Famiglietti G, et al. Partial wrist denervation versus total wrist denervation: A systematic review of the literature. *Hand Surg Rehabil*. 2020;39(6):487-491. doi: 10.1016/j.hansur.2020.05.010
- Kadiyala RK, Lombardi JM. Denervation of the Wrist Joint for the Management of Chronic Pain. *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(6):439-447. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00243
- Stern PJ, Agabegi SS, Kiefhaber TR, Didonna ML. Proximal row carpectomy. *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87 Suppl 1(Pt 2):166-174. doi: 10.2106/JBJS.E.00261
- Tomaino MM, Miller RJ, Cole I, Burton RI. Scapholunate advanced collapse wrist: proximal row carpectomy or limited wrist arthrodesis with scaphoid excision? *J Hand Surg Am*. 1994;19(1):134-142. doi: 10.1016/0363-5023(94)90237-2
- Trumble TE, Salas P, Barthel T, Robert KQ 3rd. Management of scaphoid nonunions. *J Am Acad Orthop Surg*. 2003;11(6):380-391. doi: 10.5435/00124635-200311000-00002. Erratum in: *J Am Acad Orthop Surg*. 2004;12(1):33A.
- Dacho AK, Baumeister S, Germann G, Sauerbier M. Comparison of proximal row carpectomy and midcarpal arthrodesis for the treatment of scaphoid nonunion advanced collapse (SNAC-wrist) and scapholunate advanced collapse (SLAC-wrist) in stage II. *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2008;61(10):1210-1218. doi: 10.1016/j.bjps.2007.08.007

24. Chim H, Moran SL. Long-term outcomes of proximal row carpectomy: a systematic review of the literature. *J Wrist Surg.* 2012;1(2):141-148. doi: 10.1055/s-0032-1329547
25. Altaf W, Bhardwaj P, Sabapathy SR, Haseeb BA. A simple trick to excise the carpal bones during proximal row carpectomy. *Indian J Plast Surg.* 2018;51(1):101-102. doi: 10.4103/ijps.IJPS\_213\_17
26. Carter TI, Pansy B, Wolff AL, et al. Accuracy and reliability of three different techniques for manual goniometry for wrist motion: a cadaveric study. *J Hand Surg Am.* 2009;34(8):1422-1428. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.06.002
27. Su Y. QuickDASH. *J Physiother.* 2014;60(3):167. doi: 10.1016/j.jphys.2014.06.003
28. El-Mowafi H, El-Hadidi M, Boghdady GW, Hasanein EY. Functional outcome of four-corner arthrodesis for treatment of grade IV scaphoid non-union. *Acta Orthop Belg.* 2007;73(5):604-611.
29. Wagner ER, Barras LA, Harstad C, et al. Proximal Row Carpectomy in Young Patients. *JBJS Essent Surg Tech.* 2021;11(1):e19.00054-e19.00054. doi: 10.2106/JBJS.ST.19.00054
30. Volgas DA, Harder I. *Manual of Soft-Tissue Management in Orthopaedic Trauma.* New York: AOTrauma Publ.; 2011:4-5.

Статья поступила 25.10.2023; одобрена после рецензирования 04.04.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 25.10.2023; approved after reviewing 04.04.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### **Информация об авторах:**

Шынгыс Кайырбекулы Куттыгул — аспирант, artana.kaz@gmail.com;

Денис Евгеньевич Тягунов — травматолог-ортопед, заведующий отделением;

Наталья Анатольевна Щудло — доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник, nshchudlo@mail.ru.

#### **Information about the authors:**

Shyngys K. Kuttygul — post-graduate student, artana.kaz@gmail.com;

Denis E. Tyagunov — orthopaedic surgeon, head of the department;

Natalya A. Shchudlo — Doctor of Medical Sciences, leading researcher, nshchudlo@mail.ru.

#### **Вклад авторов**

Куттыгул Ш.К. — постановка проблемы, разработка концепции статьи, проведение исследования, оформление статьи, табличное и графическое представление результатов.

Тягунов Д.Е. — проведение исследования, редактирование текста.

Щудло Н.А. — критический анализ литературы, описание результатов и формирование выводов исследования, редактирование текста.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-511-521>



## Prospective comparative study of medial parapatellar and medial subvastus approaches in total knee arthroplasty

I.A. Badawi, A.S. Ismail, A.H. Waly, M.A.N. Khalkaf✉

Faculty of Medicine, Alexandria University, Egypt

**Corresponding author:** Moustafa Ali Nagui Khalkaf, [moustafa.nagui78@gmail.com](mailto:moustafa.nagui78@gmail.com)

### Abstract

**Introduction** Total knee arthroplasty (TKA) is the treatment of end-stage osteoarthritis in patients who failed to respond to conservative treatment in providing significant pain relief and improving joint function. The medial parapatellar approach (MPP) allows adequate patellar eversion and sufficient knee flexion to expose the knee joint, but the incision through the quadriceps tendon may impair the extensor mechanism of the knee post-operatively. The subvastus approach (SV) completely spares both the quadriceps tendon and muscle and provides adequate exposure of the knee joint for the replacement procedure, SV maintains integrity of the patellar blood supply and reduces post-operative pain resulting in shorter hospital stay.

The **aim** of this prospective study was to compare the results of the medial parapatellar and subvastus approaches in primary total knee arthroplasty (TKA) regarding postoperative pain, recovery of muscle strength, range of knee motion and return to regular daily activities.

**Materials and Methods** Sixty patients underwent TKA at El-Hadara university hospital in Alexandria. The medial parapatellar approach (MPP) was performed in 30 patients while the subvastus approach (SV) was used for the other 30 patients. The choice of approach was randomly assigned.

**Results** The statistical analysis of the results at the end of a 6-month follow-up showed that there were no significant differences between the patients in group 1 (MPP) and group 2 (SV) with respect to age, gender, comorbidity, side operated or body mass index (BMI). Regarding the functional knee scores (IKDC, WOMAC), there were no differences at 4 weeks, 3 months and 6 months postoperatively between the two groups. However, we found better outcomes in the SV group regarding the VAS score during the first five postoperative days, earlier quadriceps recovery by assessment of Straight Leg Raising test (SLR), while the operative time was longer in the SV group with less blood collected postoperatively in hemovac drain in the same group.

**Discussion** In our study during the operation via the MPP approach, the index suture positioned at the superomedial border of the patella and the opposite suture on the medial retinacular flap had enabled the surgeon to avoid patellar maltracking during closure of the wound. In the SV group, the L-shaped incision of the medial capsule was considered an efficient landmark for accurate soft tissue closure avoiding the patellar maltracking.

**Conclusion** The subvastus approach offers the advantage of keeping the integrity of quadriceps muscle and the extensor mechanism remains intact post-surgery. It causes less pain and less blood loss postoperatively than the regular parapatellar approach. The patient could recover the knee function in a shorter time with fewer complications, which is greatly in line with the concept of ERAS (Enhanced Recovery After Surgery).

**Keywords:** arthroplasty, knee joint, medial parapatellar approach, subvastus approach

**For citation:** Badawi IA, Ismail AS, Waly AH, Khalkaf MAN. Prospective comparative study of medial parapatellar and medial subvastus approaches in total knee arthroplasty. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):511-521. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-511-521

Научная статья

УДК 616.728.3-77-089.844-089.168

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-511-521>



## Перспективное сравнительное исследование медиального парapatеллярного и медиального субвастусного доступов при тотальной артропластике коленного сустава

I.A. Badawi, A.S. Ismail, A.H. Waly, M.A.N. Khalkaf✉

Faculty of Medicine, Alexandria University, Egypt

Автор, ответственный за переписку: Moustafa Ali Nagui Khalkaf, [moustafa.nagui78@gmail.com](mailto:moustafa.nagui78@gmail.com)

### Аннотация

**Введение.** Тотальная артропластика коленного сустава (ТКА) является методом лечения пациентов в конечной стадии остеоартроза, консервативная помощь которым не облегчила боль и не улучшила функции сустава. Медиальный парapatеллярный доступ (МПД) обеспечивает достаточное сгибание коленного сустава, но разрез через сухожилие четырехглавой мышцы может нарушить разгибательный механизм колена в послеоперационном периоде. Субвастусный доступ (СД) позволяет полностью сохранить сухожилие и мышцу четырехглавой мышцы и обеспечивает адекватное обнажение коленного сустава для проведения процедуры замены, сохраняя целостность кровоснабжения надколенника и уменьшая послеоперационную боль.

**Цель работы** — сравнение результатов МПД и СД доступов при первичной ТКА в отношении послеоперационной боли, восстановления мышечной силы, диапазона движений коленного сустава и возвращения к обычной повседневной активности.

**Материалы и методы.** ТКА проведена 60 пациентам университетской больницы Эль-Хадара в Александрии (группы МПД и СД по 30 пациентов). Выбор доступа был рандомизированным.

**Результаты.** Статистический анализ результатов в конце шестимесячного наблюдения показал, что достоверных различий между пациентами группы 1 (МПД) и группы 2 (СД) по возрасту, полу, сопутствующей патологии, стороне поражения или индексу массы тела не было. Различий функциональных показателей коленного сустава (IKDC, WOMAC) через 4 нед., 3 мес. и 6 мес. после операции между двумя группами также не зарегистрировано. Тем не менее, в группе СД отмечены лучшие результаты по шкале ВАШ в течение первых пяти послеоперационных дней, более раннее восстановление четырехглавой мышцы по оценке теста на подъем прямой ноги. Продолжительность операции была дольше в группе СД, меньшая кровопотеря зарегистрирована в этой же группе.

**Обсуждение.** В нашем исследовании при использовании МПД шов на супрамедиальной границе надколенника и противоположный шов на медиальном ретинакуле позволили хирургу избежать смещения надколенника во время закрытия раны. В группе СД L-образный разрез медиальной капсулы считался эффективным ориентиром для точного закрытия мягких тканей во избежание смещения надколенника.

**Заключение.** Преимущество СД заключается в сохранении целостности четырехглавой мышцы, разгибательный механизм после операции остается неповрежденным. При использовании СД отмечены менее интенсивный послеоперационный болевой синдром и меньшая интраоперационная кровопотеря. Пациент может восстановить функцию колена в более короткие сроки, что в значительной степени соответствует концепции ERAS.

**Ключевые слова:** артропластика, коленный сустав, медиальный парapatеллярный доступ, субвастусный доступ

**Для цитирования:** Badawi I.A., Ismail A.S., Waly A.H., Khalkaf M.A.N. Перспективное сравнительное исследование медиального парapatеллярного и медиального субвастусного доступов при тотальной артропластике коленного сустава. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):511-521. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-511-521. EDN: DXGKXU.

## INTRODUCTION

Total knee arthroplasty (TKA) is the treatment of end-stage osteoarthritis in patients who failed to respond to conservative treatment in providing significant pain relief and improving joint function [1]. The medial parapatellar approach (MPP) is the most common approach performed by orthopaedic surgeons [2]. This approach allows adequate patellar eversion and sufficient knee flexion to expose the knee joint [3], but unfortunately the incision through the quadriceps tendon may impair the extensor mechanism of the knee post-operatively [4]. The subvastus approach (SV) completely spares both the quadriceps tendon and muscle and provides adequate exposure of the knee joint for the replacement procedure [5]. This procedure theoretically maintains integrity of the patellar blood supply and reduces post-operative pain resulting in shorter hospital stay [6].

Other approaches have been documented in the literature, with the majority, if not all, aiming to maintain the quadriceps mechanism in order to have fast postoperative recovery and quadriceps function. The midvastus technique, which differs from the subvastus technique in that the vastus medialis muscle is split in line with its fibres rather than being sublaxed laterally in its whole, is another strategy to access the joint. The quadriceps tendon and the superior genicular artery to the patella are preserved with this technique [7].

While the lateral parapatellar approach is performed mainly in valgus knees, other techniques as tibial tubercle osteotomy (TTO), rectus snip and quadriceps turndown are preserved for stiff knee and revision total knee arthroplasty [2].

The goal of this prospective study is to compare the results of the medial parapatellar and subvastus approaches in primary total knee arthroplasty regarding postoperative pain, recovery of muscle strength, range of knee motion and return to regular daily activities.

## MATERIALS AND METHODS

Sixty patients scheduled for primary total knee arthroplasty were included in this study.

All patients underwent TKA at El-Hadara university hospital in Alexandria during the period from October 2021 till May 2022.

The study was conducted after approval from the ethical committee and patients' consent.

### Characteristics of the study patients:

- The MPP approach was performed in 30 patients (group 1) while the SV approach was performed in the other 30 patients (group 2).
- The choice of approach was randomly assigned.
- The diagnosis leading to total knee replacement was primary degenerative osteoarthritis in all patients.
- All patients had the same preoperative preparation as well as the postoperative protocol of treatment.
- We have unified the preoperative quadriceps muscle power for all patients included in this study to be grade 3.
- The implant used in all patients was PCS (posterior cruciate sacrificing) Total Knee Arthroplasty. All patients were operated under inflated tourniquet.
- Time of operative interference was monitored starting from skin incision till skin stapler application.
- In all patients, hemovac drain was used to monitor blood loss postoperatively.
- Patients suffering from pre-existing muscular or neurologic disease, previous operations on the knee or history of previous injury involving any portion of the quadriceps mechanism were excluded from our study.

### Preoperative evaluation

Each patient had his/her affected knee assessed regarding pain, swelling, giving way, stiffness, difficulty with and catching / pseudolocking.

Our clinical examination included BMI calculation (Body Mass Index), gait, medial joint line tenderness and range of motion.

Radiological evaluation included standing AP and lateral plain radiographs as well as stretch long lower limb films of the affected side.

Visual analogue scale (VAS), International Knee Documentation Committee Subjective Knee Score (IKDCS) and Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) were the scores recorded preoperatively.

## Operative procedure

Surgery was performed either under general or spinal anaesthesia.

Prophylactic antibiotics were given one hour pre-operatively.

— In group 1, patients were operated via MPP approach. A standard anterior midline skin incision proximally around 5–7 cm proximal to upper patella pole and distally to the tibial tubercle. Subcutaneous tissue was dissected to develop a full thickness flap. The capsule was incised through a medial parapatellar approach approximately 1 cm from the medial border of the patella. Incision of the quadriceps mechanism longitudinally allowed adequate patellar eversion and sufficient knee flexion. An index suture was taken on the superomedial border of the patella and another corresponding suture on the superomedial portion of the tendon considering a landmark for later closure after prosthesis implantation to avoid patellar maltracking. The patella was everted laterally, the knee flexed to expose the knee joint.



Fig. 1. Index suture marking the superomedial patella and the superomedial capsule

— In group 2, patients were operated via the SV approach. A straight anterior midline skin incision extended proximally around 5–7 cm proximal to upper patella pole and distally to the tibial tubercle. Subcutaneous tissue was dissected to develop a full thickness flap. Both the quadriceps tendon and muscle was spared. An L-shaped capsulotomy was performed; first, the vertical line of the incision was made along the medial edge of the patellar tendon from the tibial tubercle until crossing the inferior margin of the vastus medialis obliquus, and second, the horizontal line of the incision was made along the inferior margin of the vastus medialis obliquus. After insertion of the implant, the capsule was closed and the muscle remained completely intact.



Fig. 2. L-shaped incision capsulotomy

## Post-operative period

- Postoperatively, Teicoplanin 400 mg (Targocid) intravenous injection was given once daily and Amikacin 500 mg intravenous injection every 12 hours for 3 days.
- Upon home discharge, oral Levofloxacin 500 mg once daily (Tavanic) for 5 days and Oxazolidinone 600 mg (lenozolid) twice daily for 7 days were prescribed for every patient.
- Ketorolac Tromethamine (Ketolac) infusion was given every 12 hours and Paracetamol intravenous infusion (Perfalgan) was given every 8 hours as analgesic for 3 days.
- At home, Paracetamol 100 mg orally was prescribed for all patients.
- Deep vein thrombosis (DVT) prophylaxis started by Enoxaparin Sodium (Clexane) 40 mg subcutaneous injection prescribed for both groups for 14 days then oral Rivaroxaban once daily for 4 weeks.
- Postoperatively, knee range of motion was started on the first postoperative day as well as weight bearing as tolerated with aids.
- Clinical integrity of the extensor mechanism by the ability of each patient to perform Straight leg raising test (SLR) as soon as possible after the operation.

## Method of assessment of results

- Visual analogue scale (for the first 5 days daily postoperatively).
- The International Knee Documentation Committee Subjective Knee score (IKDCS) and The Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) at 4 weeks, 3 months and 6 months post operatively.

## Statistical analysis of the data

The data were uploaded in the computer and analyzed using IBM SPSS software package version 20.0. (Armonk, NY: IBM Corp). Qualitative data were described using number and percent. The Shapiro – Wilk test was used to verify the normality of distribution. Quantitative data were described using range (minimum and maximum),

mean, standard deviation, median and interquartile range (IQR). Significance of the obtained results was judged at the 5 % level. The used tests were: 1) Chi-square test; 2) Fisher's Exact test or Monte – Carlo correction; 3) Student t-test; 4) Mann – Whitney test.

## RESULTS

All 60 patients included in the study had completed the follow-up period till the end of 6 month.

### Demographic data of study patients

**Gender** There were no statistical differences between the groups regarding gender.

Table 1

Comparison between the two studied groups according to sex

Sex	Group 1 (n = 30)		Group 2 (n = 30)		$\chi^2$ test	p
	No.	%	No.	%		
Male	5	16.7	10	33.3	2.222	0.136
Female	25	83.3	20	66.7		

p – p value for comparing between the two studied groups.

**Age** The age difference was statistically insignificant.

Table 2

Comparison between the two studied groups according to age

Age (years)	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Student t-test	p
Min – Max	55.0 – 73.0	55.0 – 67.0	0.936	0.354
Mean $\pm$ SD	63.30 $\pm$ 4.96	62.30 $\pm$ 3.10		
Median (IQR)	62.0 (60.0 – 67.0)	62.0 (60.0 – 65.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Interquartile range; p – p value for comparing between the two studied groups.

**Side Operated** The difference between both groups regarding the affected side was not statistically significant.

Table 3

Comparison between the two studied groups according to affected side

Side	Group 1 (n = 30)		Group 2 (n = 30)		$\chi^2$ test	p
	No.	%	No.	%		
Right	19	63.3	22	73.3	0.693	0.405
Left	11	36.7	8	26.7		

p – p value for comparing between the two studied groups.

**Co-morbidity** In group 1, 31 patients had mainly hypertension (53.3 %) and diabetes mellitus (30 %). In group 2, 26 patients were suffering from only hypertension (76.7 %) and diabetes mellitus (43.3 %). The difference between two groups in terms of co-morbidity was statistically insignificant.

Table 4

Comparison between the two studied groups according to co- morbidity

Comorbidity	Group 1 (n = 30)		Group 2 (n = 30)		$\chi^2$ test	p
	No.	%	No.	%		
HTN	16	53.3	23	76.7	3.590	0.058
DM	9	30.0	13	43.3	1.148	0.284
History Hep C	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
Bronchitis	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
Right knee TKA 1 year ago	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
Rx Hepatitis C	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
CVA	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
Cardiac	1	3.3	0	0.0	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000
Right THA 2 years ago	0	0.0	1	3.3	1.017	<sup>FE</sup> p = 1.000

p – p value for comparing between the two studied groups; <sup>FE</sup> – Fisher Exact.

**Body Mass Index (BMI)** Average BMI in group 1 ranged from  $29.04 \pm 2.91$  while in group 2 ranged from  $28.66 \pm 2.76$ .

Table 5

Comparison between the two studied groups according to BMI

BMI (kg/m <sup>2</sup> )	Group 1 (n = 30)		Group 2 (n = 30)		Test of sig.	p
	No.	%	No.	%		
Normal	3	10.0	5	16.7	$\chi^2 = 0.921$	<sup>MC</sup> p = 0.600
Overweight	13	43.3	14	46.7		
Obese class I	14	46.7	11	36.7		
Min – Max	23.30 – 34.30		24.00 – 33.10		t = 0.519	0.606
Mean ± SD	29.04 ± 2.91		28.66 ± 2.76			
Median (IQR)	30.15 (26.70 – 31.0)		28.6 (26.50 – 30.70)			

$\chi^2$  – Chi square test; <sup>MC</sup> – Monte – Carlo; t – Student t-test; SD – Standard deviation; IQR – Interquartile range; p – p value for comparing between the two studied groups.

**Operative time** Patients in group 2 (SV) had more operative time than those in group 1 (MPP) and this was statistically significant (p < 0.001).

Table 6

Comparison between the two studied groups according to operative time

Time	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Mann – Whitney test	p
Min – Max	1.75 – 2.0	1.83 – 2.25	196.0*	< 0.001*
Mean ± SD	1.93 ± 0.08	2.07 ± 0.13		
Median (IQR)	1.92 (1.83 – 2.0)	2.08 (1.92 – 2.17)		

SD – Standard deviation; IQR – Interquartile range; p – p value for comparing between the two studied groups; \* – Statistically significant at p ≤ 0.05.

**Hemovac Drain** In group 1, the median blood loss calculated in redevac suction was 500 cc while for group 2 it was 350 cc; this difference was statistically significant (p < 0.001).

Table 7

Comparison between the two studied groups according to drain

Drain	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Mann – Whitney test	p
Min – Max	450.0 – 600.0	300.0 – 450.0	12.0*	< 0.001*
Mean ± SD	513.3 ± 49.01	366.7 ± 40.11		
Median (IQR)	500.0 (450.0 – 550.0)	350.0 (350.0 – 400.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Inter quartile range; p – p value for comparing between the two studied groups; \* – Statistically significant at p ≤ 0.05.

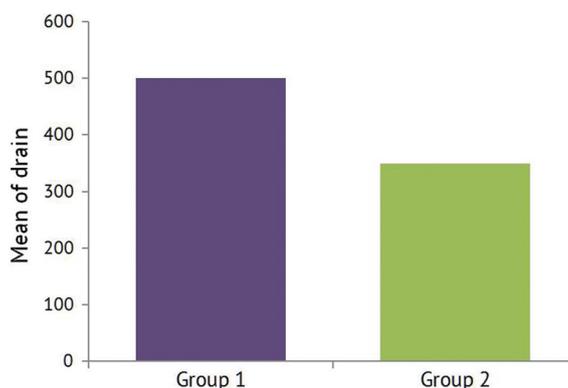


Fig. 3 Comparison between the two studied groups according to drain

**Visual Analogue Scale (VAS)** On postoperative day 1 and 2, the average in group 1 was  $7.80 \pm 0.96$ , while in group 2 it was  $4.87 \pm 1.01$ . Starting from postoperative day 3, the difference was more obvious as the average in group 1 was  $6.27 \pm 1.26$  while in group 2 was  $2.80 \pm 1.35$ . There were obvious decline in pain sensation and increase in the degree of patient satisfaction, especially in group 2, and this was statistically significant (p ≤ 0.001) for daily assessment of Visual Analogue Scale.

Table 8

Comparison between the two studied groups according to VAS

Day	VAS	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Mann – Whitney test	p
Preoperative	Min – Max	8.0 – 10.0	8.0 – 10.0	405.0	0.351
	Mean ± SD	9.67 ± 0.76	9.47 ± 0.90		
	Median (IQR)	10.0 (10.0 – 10.0)	10.0 (8.0 – 10.0)		
1 <sup>st</sup>	Min – Max	6.0 – 10.0	4.0 – 6.0	32.50*	< 0.001*
	Mean ± SD	7.80 ± 0.96	4.87 ± 1.01		
	Median (IQR)	8.0 (8.0 – 8.0)	4.0 (4.0 – 6.0)		
2 <sup>nd</sup>	Min – Max	6.0 – 10.0	4.0 – 6.0	36.0*	< 0.001*
	Mean ± SD	7.80 ± 0.96	4.87 ± 1.01		
	Median (IQR)	8.0 (6.0 – 8.0)	4.0 (2.0 – 6.0)		
3 <sup>rd</sup>	Min – Max	4.0 – 8.0	0.0 – 6.0	37.0*	< 0.001*
	Mean ± SD	6.27 ± 1.26	2.80 ± 1.35		
	Median (IQR)	6.0 (6.0 – 8.0)	2.0 (2.0 – 4.0)		
4 <sup>th</sup>	Min – Max	2.0 – 6.0	0.0 – 4.0	48.0*	< 0.001*
	Mean ± SD	5.40 ± 1.07	2.20 ± 1.42		
	Median (IQR)	6.0 (4.0 – 6.0)	2.0 (2.0 – 4.0)		
5 <sup>th</sup>	Min – Max	2.0 – 6.0	0.0 – 4.0	45.0*	< 0.001*
	Mean ± SD	4.53 ± 1.38	1.27 ± 1.11		
	Median (IQR)	4.0 (4.0 – 6.0)	2.0 (0.0 – 2.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Inter quartile range; p – p value for comparing between the two studied groups; \* – Statistically significant at p < 0.05.

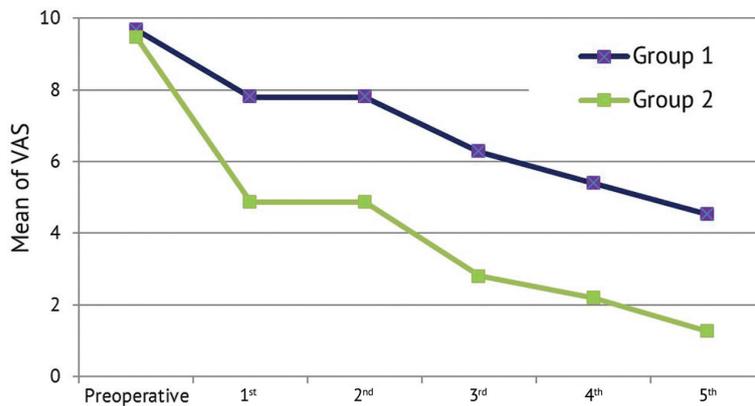


Fig. 4. Comparison between the two studied groups according to VAS

**IKDC AND WOMAC scores** There were no statistical differences between both groups regarding the IKDC and WOMAC indices.

Table 9

Comparison between the two studied groups according to IKDC

	VAS	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Student t-test	p
Preoperative	Min – Max	20.0 – 30.0	22.0 – 29.0	0.805	0.424
	Mean ± SD	25.67 ± 2.44	26.13 ± 2.03		
	Median (IQR)	26.0 (24.0 – 28.0)	26.0 (25.0 – 28.0)		
4 weeks	Min – Max	30.0 – 43.0	30.0 – 43.0	0.696	0.489
	Mean ± SD	36.80 ± 3.42	37.43 ± 3.63		
	Median (IQR)	36.50 (35.0 – 39.0)	37.50 (35.0 – 40.0)		
3 months	Min – Max	38.0 – 57.0	40.0 – 56.0	1.914	0.061
	Mean ± SD	45.87 ± 4.58	48.03 ± 4.18		
	Median (IQR)	46.0 (43.0 – 47.0)	48.0 (45.0 – 51.0)		
6 months	Min – Max	35.0 – 64.0	39.0 – 66.0	1.648	0.105
	Mean ± SD	53.70 ± 5.95	56.13 ± 5.48		
	Median (IQR)	54.0 (52.0 – 56.0)	56.0 (53.0 – 59.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Inter quartile range; p – p value for comparing between the two studied groups.

Table 10

Comparison between the two studied groups according to WOMAC

	VAS	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Mann – Whitney test	p
Preoperative	Min – Max	69.0 – 81.0	67.0 – 80.0	377.0	0.277
	Mean ± SD	74.97 ± 3.18	73.90 ± 2.77		
	Median (IQR)	75.0 (73.0 – 77.0)	74.0 (72.0 – 76.0)		
4 weeks	Min – Max	40.0 – 75.0	42.0 – 70.0	385.0	0.335
	Mean ± SD	52.83 ± 7.57	51.13 ± 5.76		
	Median (IQR)	53.0 (50.0 – 56.0)	52.0 (46.0 – 55.0)		
3 months	Min – Max	27.0 – 70.0	23.0 – 66.0	361.0	0.187
	Mean ± SD	40.67 ± 9.56	37.53 ± 7.68		
	Median (IQR)	40.0 (35.0 – 43.0)	37.0 (32.0 – 41.0)		
6 months	Min – Max	20.0 – 68.0	22.0 – 60.0	336.0	0.091
	Mean ± SD	32.77 ± 10.84	28.83 ± 6.52		
	Median (IQR)	30.0 (26.0 – 35.0)	28.0 (26.0 – 30.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Inter quartile range; p – p value for comparing between the two studied groups.

**Straight Leg Raising test (SLR)** The time lapsed after operation to restore the quadriceps function to perform SLR test was statistically significant between the groups. Patients in group 2 needed shorter time to perform SLR postoperatively than patients in group 1.

Table 11

Comparison between the two studied groups according to postoperative SLR

VAS	Group 1 (n = 30)	Group 2 (n = 30)	Mann – Whitney test	p
Min – Max	7.0 – 45.0	7.0 – 21.0	184.50*	< 0.001*
Mean ± SD	18.83 ± 7.18	11.43 ± 5.35		
Median (IQR)	21.0 (14.0 – 21.0)	7.0 (7.0 – 14.0)		

SD – Standard deviation; IQR – Inter quartile range; p – p value for comparing between the two studied groups; \* – Statistically significant at p ≤ 0.05.

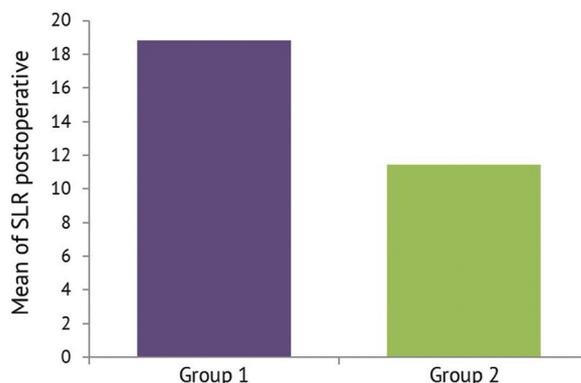


Fig. 5. Comparison between the two studied groups according to postoperative SLR

**Complications** One female in group 1 (MPP) had paralytic ileus on the 2nd postoperative day and was treated intensively by parenteral nutrition and prokinetics. That complication did not affect our results. Two infected cases in group 1 (MPP) at 7 month and 6 month respectively. One infected case in group 2 (SV) 6 month after the end of the follow-up. Those cases underwent two-stage revision using mobile-bearing antibiotic impregnated cemented spacer in the first stage followed by more constrained knee arthroplasty (CCK) 6 weeks later. Two patients suffered femoral component malrotation, one patient in each group which was not related to the approach selected. Those two cases did not need or did not accept revision at the end of the follow-up.

Table 12

Comparison between the two studied groups according to complications

Complications	Group 1 (n = 30)		Group 2 (n = 30)		χ <sup>2</sup> test	<sup>FE</sup> p
	No.	%	No.	%		
No	25	83.3	26	86.7	0.131	1.000
Yes	5	16.7	4	13.3		
Paralytic Ileus	1	3.3	0	0.0		
Femoral component malrotation	1	3.3	1	3.3		
Infected, 7 months	1	3.3	0	0.0		
Infected, 6 months	1	3.3	0	0.0		
Patient did not apply Physiotherapy settings	1	3.3	0	0.0		
Wound dehiscence	0	0.0	2	6.7		
Infected case	0	0.0	1	3.3		

<sup>FE</sup> – Fisher exact test; p – p value for comparing between the two studied groups.

## DISCUSSION

Although the subvastus (SV) approach was described in 1929 [5], it is still a debate regarding the efficacy of performing such approach when compared to the popular medial parapatellar (MPP) approach.

In our study, we found better pain tolerance and pain subsidence in the SV group which was evident during the first 5 days post-surgery by recording the Visual Analogue Scale (VAS) scale.

P. Dileep et al., in their study of 54 patients during the postoperative period found that pain scores accessed using VAS showed significant lower values in SV group from postoperative day 1 onward [8].

M. Hafez concluded in his study that subvastus patients recovered early considering knee pain and motion, which was verified in his series by lower use of painkillers within the first 48 hours and the ability to SLR in a significantly lesser time [9].

According to J.K. Seon et al., the scores on postoperative day 3 were significantly higher on a 10-point visual analogue pain scale for patients who had been randomly assigned to SV approach than in the patients who underwent the standard MPP approach [10].

In our cases, the straight leg raising (SLR) test was performed earlier in the subvastus group as the quadriceps had been left intact; this was evident in the short term period of time at 4 weeks postoperatively. There was no difference in the range of motion (ROM).

J.R. Berstock et al's comparative study showed that the SV approach resulted in earlier recovery of SLR and improved ROM at one week. However, there was no statistical difference between the SV and MPP approaches in KSS (Knee Severity Score) at 6-weeks and 1-year postoperatively [3].

A meta-analysis by P.A. Bouché et al. concluded that no differences were found between various approaches of TKA regarding the functional outcomes, but the SV approach showed higher mean ROM at 6-month post-surgery as compared to all the other surgical approaches of TKA [11].

According to Y. Wu et al's meta-analysis, the SV approach offered higher total KSS and fewer days of SLR ability during primary TKA. The SV approach provided early ROM improvement and a mean decrease in SRL days of 2.35 days compared to patients in the MPP group [12].

M.N.H. Khan and his colleagues concluded that individuals who had surgery using the SV method recovered their quadriceps strength more quickly. This supported their claim that the SV approach is more anatomically sound and speeds up the healing process after surgery [13].

G.J. Matehuala et al's results of the total of 64 patients included in their study showed better evolution in the first four weeks with the subvastus approach, but after six-month follow-up the results were very similar [14].

The SV technique maintains vascular flow to the patella and protects the quadriceps tendon's integrity during surgery, that's why in our series, there was statistical difference regarding blood loss collected in hemovac drain postoperatively.

In our study, we have faced difficulty in surgical exposure in some cases of the SV group. Therefore, there was longer operative time which was statistically significant during collecting our results.

This prolonged time enabled the surgeon to adequately expose the articular surfaces, inserting homan retractors, directly visualizing the placement of our jigs without compromising the inserted implants nor the final result.

According to Y. Wu et al's meta-analysis, patients in the SV group had a mean increase in operation time of 8.88 minutes over those in the MPP technique. On the other hand, compared to the patients receiving the MPP approach, the SV group could dramatically minimize blood loss by a mean of 56.92 mL [12].

Other authors found no appreciable variations in either the length of the procedure nor in the amount of blood loss, as well as no modifications in the end ROM result by operating via the subvastus technique at any time point [15, 16].

Although the subvastus method has numerous advantages, some authors have theorized that because of the small surgical field, it might have a negative impact on the prosthesis positioning and limb alignment [17–20].

R. Butala and his colleagues in the original study did not recommend the SV approach as they stated that TKA by conventional MPP approach demonstrated better functional outcomes, reduced operative time, reduced tissue trauma (lesser pressure by retractors), shorter learning curve, easier availability of implant and instrument sets and precise implant placement due to a good visualization of the surgical field in comparison to minimal invasive SV approach [21].

In another study by M.G. Bourke et al., it was clear that surgeons viewed the SV technique to be a more technically challenging surgical approach and that the AKSS Functional ratings by 12 months postoperatively favored the MPP group [22].

It is important to consider the M. Sukeik et al's opinion about the limitations of the SV approach. The current meta-analysis found that using an SV technique makes surgery more challenging and demanding since total visibility is decreased, especially in obese patients [23].

In their study, L. Geng et al. found that SV group had an advantage over the conventional MPP group in terms of ROM, VAS, satisfaction rate and the recovery time to SLR within 7 days after operation. However, the above outcomes showed no statistical difference on postoperative day 30 between the two groups. The alignment of the component did not differ significantly between the two groups [24].

In our study, one patient in each group suffered patellar maltracking due to component malrotation which had no relation statistically with the approach used.

The proper component orientation was essentially related to proper visualization of the articular surfaces and proper placement of the retractors.

During the operation via the MPP approach, the index suture positioned at the superomedial border of the patella and the opposite suture on the medial retinacular flap had enabled the surgeon to avoid patellar maltracking during closure of the wound.

In the SV group, the L-shaped incision of the medial capsule was considered an efficient landmark for accurate soft tissue closure avoiding the patellar maltracking.

#### CONCLUSION

The subvastus approach offers the advantage of keeping the integrity of quadriceps muscle thus the extensor mechanism remains intact post-surgery. It causes less pain and less blood loss postoperatively than the regular parapatellar approach. It can restore the function of the knee joint earlier after the operation with few complications, which is greatly in line with the concept of ERAS (Enhanced Recovery After Surgery). We recommend in cases of BMI obese class I, an expert arthroplasty surgeon perform the subvastus approach in total knee replacement surgery.

#### REFERENCES

1. Mahomed NN, Barrett J, Katz JN, et al. Epidemiology of total knee replacement in the United States Medicare population. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(6):1222-1228. doi: 10.2106/JBJS.D.02546
2. Barrack RL, Smith P, Munn B, et al. The Ranawat Award. Comparison of surgical approaches in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(356):16-21. doi: 10.1097/00003086-199811000-00004
3. Berstock JR, Murray JR, Whitehouse MR, et al. Medial subvastus versus the medial parapatellar approach for total knee replacement: A systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *EFORT Open Rev.* 2018;3(3):78-84. doi: 10.1302/2058-5241.3.170030
4. Fehring TK, Odum S, Griffin WL, Mason JB. Patella inversion method for exposure in revision total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2002;17(1):101-104. doi: 10.1054/arth.2002.29326
5. Hofmann AA, Plaster RL, Murdock LE. Subvastus (Southern) approach for primary total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 1991;(269):70-77.
6. Lin TC, Wang HK, Chen JW, et al. Minimally invasive knee arthroplasty with the subvastus approach allows rapid rehabilitation: a prospective, biomechanical and observational study. *J Phys Ther Sci.* 2013;25(5):557-562. doi: 10.1589/jpts.25.557
7. Engh GA, Holt BT, Parks NL. A midvastus muscle-splitting approach for total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 1997;12(3):322-331. doi: 10.1016/s0883-5403(97)90030-9
8. Dileep P, Padmanabhan V, Krishnaraj CP. Subvastus approach versus medial parapatellar approach in total knee arthroplasty – A prospective comparative study of functional outcome. *Journal of Orthopaedic Association of South Indian States.* 2022;19(1):2-6. doi: 10.4103/joasis.joasis\_5\_22
9. Hafez MA. The subvastus approach for primary total knee replacement: Does it affect the early results? *Pan Arab J Orth Trauma.* 2002;6:181-187.
10. Seon JK, Song EK. Navigation-assisted less invasive total knee arthroplasty compared with conventional total knee arthroplasty: a randomized prospective trial. *J Arthroplasty.* 2006;21(6):777-782. doi: 10.1016/j.arth.2005.08.024
11. Bouché PA, Corsia S, Nizard R, Resche-Rigon M. Comparative Efficacy of the Different Surgical Approaches in Total Knee Arthroplasty: A Systematic-Review and Network Meta-Analysis. *J Arthroplasty.* 2021;36(3):1187-1194.e1. doi: 10.1016/j.arth.2020.09.052
12. Wu Y, Zeng Y, Bao X, Xiong H, Hu Q, Li M, Shen B. Comparison of mini-subvastus approach versus medial parapatellar approach in primary total knee arthroplasty. *Int J Surg.* 2018;57:15-21. doi: 10.1016/j.ijssu.2018.07.007
13. Khan MNH, Abbas K, Faraz A, et al. Total knee replacement: A comparison of the subvastus and medial parapatellar approaches. *Ann Med Surg (Lond).* 2021;68:102670. doi: 10.1016/j.amsu.2021.102670
14. Matehuala GJ, Pérez AJM, Villarreal BFJ, Ramos GMQ. Subvastus versus medial parapatellar approach in total knee arthroplasty, functional results. *Orthotips.* 2021;17(4):206-210. (In Span.) doi: 10.35366/102218

15. Matsueda M, Gustilo RB. Subvastus and medial parapatellar approaches in total knee arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;(371):161-168. doi: 10.1097/00003086-200002000-00020
16. Cila E, Güzel V, Ozalay M, et al. Subvastus versus medial parapatellar approach in total knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2002;122(2):65-68. doi: 10.1007/s004020100319
17. Barrack RL, Barnes CL, Burnett RS, et al. Minimal incision surgery as a risk factor for early failure of total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2009;24(4):489-98. doi: 10.1016/j.arth.2009.02.004
18. Lin WP, Lin J, Horng LC, et al. Quadriceps-sparing, minimal-incision total knee arthroplasty: a comparative study. *J Arthroplasty.* 2009;24(7):1024-1032. doi: 10.1016/j.arth.2008.07.005
19. Thiengwittayaporn S, Fusakul Y, Kangkano N, Jarupongprapa C, Charoenphandhu N. Hand-held navigation may improve accuracy in minimally invasive total knee arthroplasty: a prospective randomized controlled trial. *Int Orthop.* 2016;40(1):51-57. doi: 10.1007/s00264-015-2848-x
20. Jung YB, Lee YS, Lee EY, et al. Comparison of the modified subvastus and medial parapatellar approaches in total knee arthroplasty. *Int Orthop.* 2009;33(2):419-423. doi: 10.1007/s00264-007-0510-y
21. Butala R, Parelkar K, Pandey A. Comparative Analysis of Functional Outcome of Conventional Midline Parapatellar to Minimally Invasive Subvastus Approach in Total Knee Replacement. *Orthop J MPC.* 2021;27(2):70-74.
22. Bourke MG, Buttrum PJ, Fitzpatrick PL, et al. Systematic review of medial parapatellar and subvastus approaches in total knee arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2010;25(5):728-734. doi: 10.1016/j.arth.2009.06.008
23. Sukeik M, Sohail MZ, Hossain FS, et al. Comparing the Sub-Vastus and Medial Parapatellar Approaches in Total Knee Arthroplasty: A Meta-Analysis of Short-Term Outcomes. *Dr. Sulaiman Al Habib Med J.* 2021;3(2):66-73. doi: 10.2991/dsahmj.k.210203.001
24. Geng L, Fu J, Xu C, et al. The Comparison between Mini-Subvastus Approach and Medial Parapatellar Approach in TKA: A Prospective Double-Blinded Randomized Controlled Trial. *Orthop Surg.* 2022;14(11):2878-2887. doi: 10.1111/os.13494

The article was submitted 28.11.2023; approved after reviewing 20.02.2024; accepted for publication 18.06.2024.

Статья поступила 28.11.2023; одобрена после рецензирования 20.02.2024; принята к публикации 18.06.2024.

#### Information about the authors:

Ihab Abdelwahab Badawi — Prof. Dr., Professor of Orthopaedic surgery, ihabbadawj@yahoo.com;

Ayman Soliman Ismail — Prof. Dr., Professor of Orthopaedic surgery, ssssoliman@gmail.com;

Ahmed Hassan Waly — Prof. Dr., Professor of Orthopaedic surgery, Drwaly28@gmail.com;

Moustafa Ali Nagui Khalkaf — moustafa.nagui78@gmail.com.

Научная статья

УДК 617.58-007.24-001.5-089.227.84:616.71-089.818.3

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532>



## Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях: проспективное исследование

Д.В. Тропин, В.И. Тропин, А.А. Чертищев, Н.С. Гвоздев✉, Д.А. Попков

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

Автор ответственный за переписку: Никита Сергеевич Гвоздев, [nikitozgvozdev@mail.ru](mailto:nikitozgvozdev@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Удлинение и коррекция деформаций конечностей с использованием наружной фиксации по Илизарову является распространенной стандартной операцией. Тем не менее, риск осложнений, связанных с удлинением конечностей, в том числе, поверхностная или глубокая инфекция, контрактуры, вторичная деформация и переломы после удаления аппарата, связанные с замедленной консолидацией кости, остается существенным.

**Цель работы** — в условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии выявить особенности удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием – титановым или с композитным гидроксипатитным покрытием.

**Материалы и методы.** В исследование включены 64 пациента, из них 31 пациенту проведено монофокальное удлинение бедренной кости, 33 — монофокальное удлинение большеберцовой кости.

**Результаты.** Средние индексы внешней фиксации (ИВФ) групп, сравниваемых по схожим типам удлинения (удлинение бедра или большеберцовой кости), существенно не отличались при использовании различных типов интрамедуллярных стержней. При удлинении бедренной кости выявлено значимое влияние на ИВФ типа стержней и соотношения «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала». Зависимость ИВФ от типа стержней при удлинении большеберцовой кости связана с соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» ( $p = 0,023$ ). Двусторонний дисперсионный анализ показал, что влияние типа стержня на ИВФ зависит от соотношения «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» в группе удлинения большеберцовой кости ( $p = 0,034$ ).

**Обсуждение.** При приобретенных укорочениях нижних конечностей нет различий в отношении ИВФ при использовании титановых эластичных стержней или интрамедуллярных стержней с композитным гидроксипатитным покрытием. Применение комбинированной методики, в любом случае, имеет преимущества: она обеспечивает хорошие и отличные результаты без серьезных осложнений при удлинении у пациентов с укорочением приобретенной этиологии. Сильная положительная корреляция между соотношением «диаметр кости / внутреннее расстояние между кортикалами в месте остеотомии» в сочетании со значительным влиянием типа стержня и диаметра стержня на ИВФ предполагает, что оба фактора следует рассматривать вместе в будущих исследованиях.

**Заключение.** В условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии использование комбинированной методики удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием обеспечивает хорошие и отличные результаты без серьезных осложнений.

**Ключевые слова:** удлинение конечностей, эластичное интрамедуллярное армирование, гидроксипатит

**Для цитирования:** Тропин Д.В., Тропин В.И., Чертищев А.А., Гвоздев Н.С., Попков Д.А. Влияние эластичного интрамедуллярного армирования на удлинение нижних конечностей при приобретенных укорочениях: проспективное исследование. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):522-532. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532. EDN: CNFWFN.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532>



## Effect of elastic intramedullary nailing on lower limb lengthening in acquired shortenings: a prospective study

D.V. Tropin, V.I. Tropin, A.A. Chertishchev, N.S. Gvozdev✉, D.A. Popkov

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

**Corresponding author:** Nikita S. Gvozdev, [nikitozgzvozdev@mail.ru](mailto:nikitozgzvozdev@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** Lengthening and correction of limb deformities using Ilizarov external fixation is a frequent standard operation. However, the risk of complications associated with limb lengthening, including superficial or deep infection, contractures, secondary deformity, and fractures after device removal associated with delayed bone consolidation, remains significant.

The **purpose** of the work was to identify the features of bone lengthening with an external fixator in combination with elastic intramedullary nails, titanium or titanium with a composite hydroxyapatite coating, in the conditions of shortening of the lower extremities of acquired etiology.

**Materials and methods** The study included 64 patients, of which 31 patients underwent monofocal lengthening of the femur, 33 patients underwent monofocal lengthening of the tibia.

**Results** The mean external fixation indices (EFIs) of the groups compared for similar lengthening types (femoral or tibial lengthening) did not differ significantly for the types of intramedullary nails implanted. In femoral lengthening, a significant effect on the EFI had the nail type and the ratio of “nail diameter / medullary canal diameter”. The dependence of EFI on the nail type in tibial lengthening was associated with the ratio “nail diameter / internal diameter at the osteotomy site” ( $p = 0.023$ ). Two-way ANOVA showed that the effect of the nail type on EFI depended on the nail diameter/ internal diameter at osteotomy site ratio in the tibial lengthening group ( $p = 0.034$ ).

**Discussion** In acquired shortening of the lower extremities, there is no difference in EFI by using titanium elastic nails or intramedullary nails coated with composite hydroxyapatite. The use of a combined technique, in any case, has advantages: it provides good and excellent results without serious complications during lengthening in patients with shortening of acquired etiology. The strong positive correlation between the bone diameter/internal cortical distance ratio at the osteotomy site, coupled with the significant influence of the nail type and nail diameter on EFI, suggests that both factors should be considered together in future studies.

**Conclusion** In shortening of the lower extremities of acquired etiology, the use of a combined bone lengthening technique, comprising an external fixator in combination with elastic intramedullary nailing, provides good and excellent results without serious complications.

**Keywords:** limb lengthening, Ilizarov apparatus, elastic intramedullary nailing, hydroxyapatite

**For citation:** Tropin DV, Tropin VI, Chertishchev AA, Gvozdev NS, Popkov DA. Effect of elastic intramedullary nailing on lower limb lengthening in acquired shortenings: a prospective study. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):522-532. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-522-532

## ВВЕДЕНИЕ

Частота возникновения разницы в длине ног, требующая хирургического вмешательства, составляет примерно 1 случай на 1000 [1]. Приобретенное неравенство длины нижних конечностей (НДНК) и деформации являются одними из наиболее частых причин для направления к ортопеду [2–6]. Варианты оперативного лечения данной патологии включают использование циркулярных внешних фиксаторов, удлинение с помощью полностью имплантируемого электромагнитного стержня или удлинение на интрамедуллярных стержнях с помощью внешних устройств [2, 7–12].

Удлинение и коррекция деформаций конечностей с использованием наружной фиксации, основанной на принципах метода Илизарова, является распространенной стандартной операцией [9, 13, 14]. Тем не менее, риск осложнений, связанных с удлинением конечностей, в том числе, поверхностная или глубокая инфекция, контрактуры [15–17], вторичная деформация и переломы после удаления аппарата, связанные с замедленной консолидацией кости [16, 18, 19], остается существенным. Необходимо принимать во внимание и негативную длительную психологическую нагрузку, связанную с ограничениями в повседневной жизни, у данных пациентов [20].

В литературе описано удлинение конечностей с использованием эластичных интрамедуллярных стержней [21–24]. Данный комбинированный метод обеспечивает ряд преимуществ: дополнительная стабильность позиции костных фрагментов, профилактика вторичных смещений, особенно по ширине, и переломов после снятия аппарата, сокращение длительности внешней фиксации. Учитывая эластичный характер имплантов, возможна постепенная коррекция оси конечности при тяжелой деформации, малый диаметр стержней дает им возможность применения при узком костномозговом канале, установка стержней через метафиз исключает повреждение зон роста [21–24]. Исследования на животных показали, что данный метод также щадяще воздействует на интрамедуллярное кровоснабжение [25].

Экспериментальные исследования показали стимулирующий характер для костного сращения при использовании эластичных стержней с комбинированным гидроксиапатитным покрытием [7, 8, 26, 27]. Но остается невыясненной роль таких композитных покрытий при удлинении здоровой костной ткани в клинических условиях [28].

**Цель работы** — в условиях укорочения нижних конечностей приобретенной этиологии выявить особенности удлинения кости с помощью внешнего фиксатора в сочетании с эластичным интрамедуллярным армированием — титановым или с композитным гидроксиапатитным покрытием.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведено нерандомизированное проспективное исследование результатов лечения пациентов с приобретенными укорочениями и деформациями нижних конечностей. У всех пациентов, включенных в исследование, диагностировано приобретенное неравенство длины нижних конечностей (посттравматическое, последствия неонатального остеомиелита, последствия полиомиелита или спастического гемипареза, классифицированного по системе GMFCS как уровень I–II). Всем пациентам произведено моносегментарное удлинение с использованием комбинированной методики наружной фиксации и эластичного интрамедуллярного остеосинтеза. Период наблюдения после демонтажа аппарата внешней фиксации составил 10–12 месяцев. В исследование не включены пациенты, которым осуществляли одномоментную коррекцию, полисегментарное удлинение, пациенты с врожденным укорочением или системной патологией, а также те, кому производили удлинение без эластичного армирования.

Результаты проанализированы по двум группам: монофокальное удлинение бедренной кости (группа Б,  $n = 31$ ) и монофокальное удлинение костей голени (группа Г,  $n = 33$ ). Данные группы разделены на подгруппы: с удлинением титановым эластичными стержнями (Б-Ті и Г-Ті) и с титановым стержнями с гидроксиапатитным (ГА) покрытием (Б-ГА и Г-ГА).

*Хирургическая методика*

Под общей анестезией в положении на спине пациенту устанавливали спице-стержневой аппарат внешней фиксации (бедренной или большеберцовой кости) с учетом деформации и выполняли чрескожную кортикотомию. Затем производили эластичное интрамедуллярное армирование: ретроградное — для бедренной кости и антеградное — для большеберцовой. Выбор диаметра используемых эластичных стержней хирург определял произвольно, ориентируясь на диаметр костномозгового канала. Титановые стержни без ГА покрытия применены у 29 пациентов (интрамедуллярные эластичные педиатрические стержни фирмы MEDIN, Нове-Место-на-Мораве, Чехия). Титановые стержни с ГА покрытием (стержни фирмы Orthopediatrics, модифицированные ООО «Метис», Томск, Россия) использовали в ходе 24 операций по удлинению конечности. Рассверливания длинных трубчатых костей не проводили. Аппарат Илизарова использовали в 51 случае, а CORA и ACA использовали при установке шарниров (рис. 1). У трех пациентов лечение проводили с использованием аппарата Taylor (TSF) (Smith & Nephew, Мемфис, Теннесси, США), в котором CORA была интегрирована в программу distraction и коррекции как референтная точка (рис. 2). До операции, после консультации с лечащим врачом, пациентам была предоставлена возможность выбрать интрамедуллярные стержни с титановым или ГА покрытием.

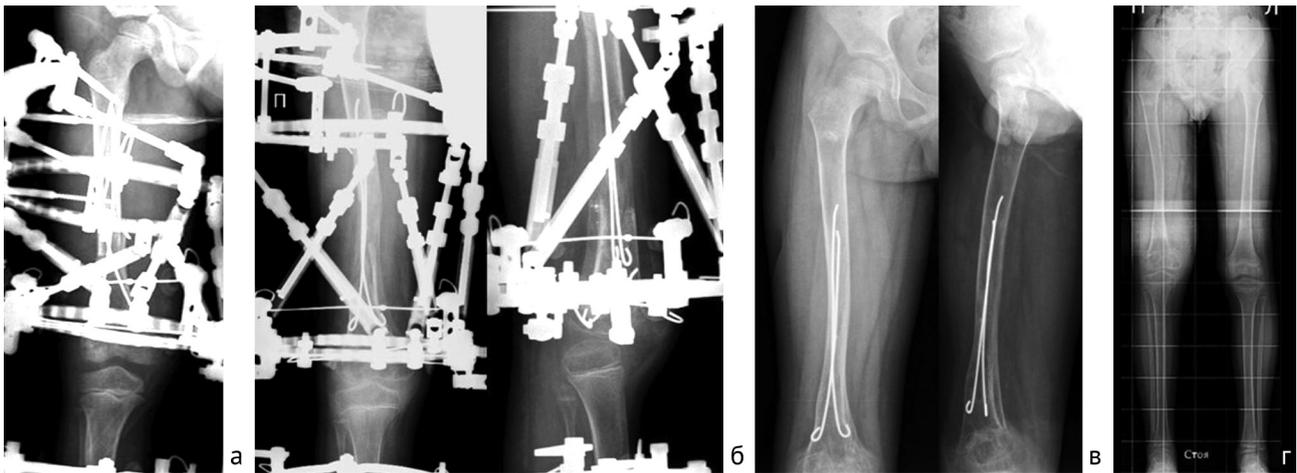


Рис. 1. Рентгенограммы бедра пациента подгруппы Б-ГА: а — остеотомия бедра, исходное положение интрамедуллярных эластичных стержней; б — в конце периода дистракции; в — после снятия аппарата внешней фиксации; г — после удаления интрамедуллярных стержней, ремоделирование дистракционного регенерата

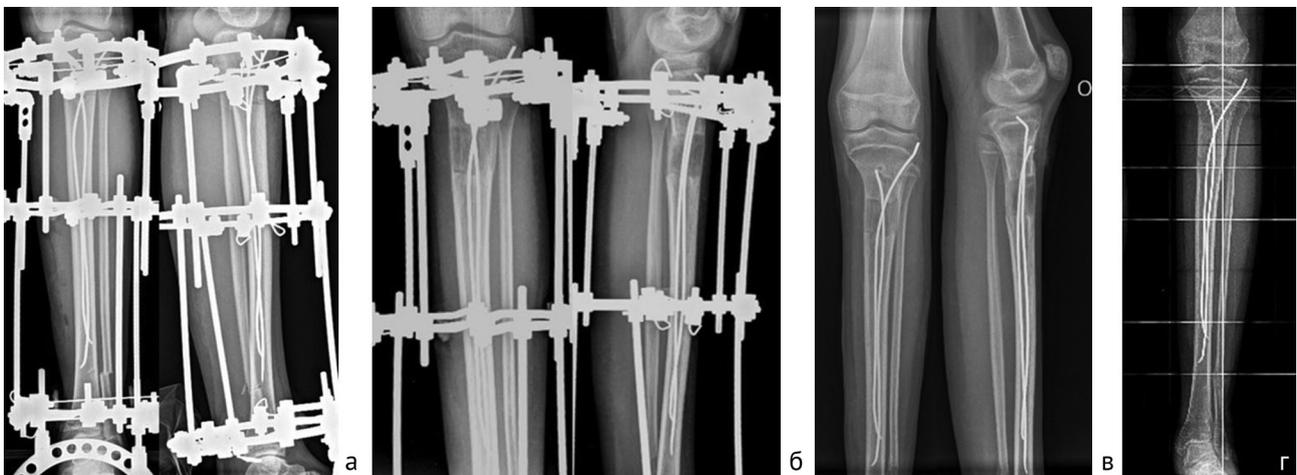


Рис. 2. Рентгенограммы пациента подгруппы Г-Тi: а — проксимальная остеотомия большеберцовой кости, исходная позиция стержней эластичного армирования; б — в конце периода фиксации, костное сращение; в — после удаления аппарата внешней фиксации; г — через 14 мес. после снятия аппарата внешней фиксации, ремоделирование костной мозоли

У всех пациентов удлинение и коррекция деформации носили прогрессирующий характер и начались на 5–7 сут. после операции. Сопутствующие деформации корректировали постепенно. По достижении консолидации (рентгеновская картина и клиническая проба) аппарат снимали и накладывали гипсовую повязку на 3–4 нед. Все осложнения и исходы лечения классифицировали по системе Lascombes [29]. Результаты лечения классифицировали ретроспективно, через 10–12 мес. после снятия аппарата, в зависимости от полученной величины удлинения и возникших осложнений, проведенного лечения и их влияния на конечный результат. В каждой группе и подгруппах анализировали факторы, которые могли повлиять на ИВФ (количество дней внешней фиксации, отнесенное к величине удлинения в см), возникновение осложнений и исход лечения:

- возраст;
- величину удлинения (в см и % от исходной длины сегмента);
- отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала;
- отношение диаметра стержня к внутреннему расстоянию между кортикальными пластинками на уровне остеотомии;
- тип использованных эластичных интрамедуллярных стержней (ГА-покрытие или без него).

Данные подгрупп сравнивали по ИВФ, рискам осложнений и исходам лечения.

Статистический анализ проводили с помощью программного обеспечения AtteStat 12.0.5. Для описания непрерывных переменных использовались средние значения, стандартные отклонения и диапа-

зоны. Непараметрический критерий Манна – Уитни применяли для сравнения параметров возраста, величины удлинения, соотношения «диаметр стержня / интрамедуллярный канал или диаметр места остеотомии» в подгруппах. Различия по частоте встречаемости полов пациентов оценивали между подгруппами с помощью критерия хи-квадрат. Тест Post-hoc Conover использовали для сравнений в подгруппах (стержни из Ti и стержни с ГА покрытием) на предмет различий в средних значениях ИВФ как зависимой переменной. Двусторонний дисперсионный анализ использовали для оценки одновременного влияния типов стержней (первый детерминирующий фактор) и одного из количественных параметров (вторая детерминирующая переменная: возраст, величина удлинения, соотношение стержня / костномозгового канала, соотношение стержня / внутреннего диаметра в месте остеотомии), классифицируемого в порядковых категориях ИВФ. Для оценки корреляции между непрерывными показателями в каждой подгруппе использовали коэффициент ранговой корреляции Спирмена. Значимость была установлена на уровне  $p < 0,05$  для всех сравнительных статистических данных.

Исследования проведены в соответствии с этическими стандартами Хельсинской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2000 г., «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утвержденными Приказом Минздрава РФ от 19.06.2003 года № 266. Пациенты или родители пациентов, уполномоченные сотрудники социальных учреждений подтвердили согласие на проведение исследования и публикацию результатов без идентификации личности.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Демографические данные (возраст, пол), оперированный сегмент и тип оперативного вмешательства, величина удлинения, соотношение между диаметром стержня и рентгенографическими показателями костномозгового канала, а также величина ИВФ отражены в табл. 1, 2 (значения приведены как среднее и стандартное отклонение, в скобках указан диапазон). Внутри групп мы не обнаружили статистически значимой разницы между удлинением с использованием Ti-стержней или стержней с ГА-покрытием с учетом среднего возраста, пола, величины удлинения, соотношения между диаметром стержней и костномозгового канала в самом узком месте или месте остеотомии. Кроме того, средние значения ИВФ в подгруппах Ti-стержни и стержни с ГА-покрытием по сравнению с аналогичными типами удлинения (Б-группа или Г-группа) существенно не отличались.

Таблица 1

Демографические, клинические и рентгеновские данные группы удлинения бедра

Параметр	Подгруппа Б-Ti (n = 16)	Подгруппа Б-ГА (n = 15)	p-value
Возраст; лет	16,7 ± 5,8 (7,6 – 32,6)	16,1 ± 7,3 (7,3 – 24,2)	0,916 <sup>mw</sup>
Соотношение полов: Ж/М	8/8	7/8	0,928*
Удлинение; см	4,5 ± 1,7 (3,0 – 7,1)	4,7 ± 1,8 (2,5 – 6,5)	0,820 <sup>mw</sup>
Удлинение; %	11,4 ± 4,1 (6,9 – 21,4)	12,6 ± 4,9 (6,2 – 23,6)	0,661 <sup>mw</sup>
Отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала	0,18 ± 0,08 (0,11 – 0,26)	0,18 ± 0,06 (0,07 – 0,25)	0,547 <sup>mw</sup>
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии	0,11 ± 0,04 (0,05–0,22)	0,10 ± 0,04 (0,06–0,13)	0,822 <sup>mw</sup>
ИВФ (дн/см)	26,5 ± 9,2 (19,1 – 42,9)	28,1 ± 6,2 (20,4 – 39,3)	0,713 <sup>mw</sup>

Примечание: <sup>mw</sup> – Mann – Whitney тест; \* – критерий хи-квадрат.

Таблица 2

Демографические, клинические и рентгеновские данные группы удлинения голени

Параметр	Подгруппа Т-Ti (n = 17)	Подгруппа Т-ГА (n = 16)	p-value
Возраст; лет	15,7 ± 7,9 (6,1 – 31,8)	16,3 ± 3,4 (10,7 – 24,5)	0,34 <sup>mw</sup>
Соотношение полов: Ж/М	8/9	7/9	0,67*
Удлинение; см	3,5 ± 0,91 (2,0 – 5,5)	4,0 ± 1,3 (2,5 – 6,0)	0,058 <sup>mw</sup>
Удлинение; %	12,9 ± 3,23 (6,7 – 14,6)	14,7 ± 4,45 (6,0 – 21,7)	0,188 <sup>mw</sup>
Отношение диаметра стержня к диаметру самой узкой части костномозгового канала	0,21 ± 0,044 (0,15 – 0,28)	0,21 ± 0,08 (0,11 – 0,30)	0,565 <sup>mw</sup>
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии	0,11 ± 0,03 (0,08 – 0,19)	0,1 ± 0,03 (0,05 – 0,13)	0,472 <sup>mw</sup>
ИВФ (дн/см)	34,9 ± 9,6 (23,2 – 48,8)	32,7 ± 7,65 (23 – 44,3)	0,285 <sup>mw</sup>

Примечание: <sup>mw</sup> – Mann – Whitney тест; \* – критерий хи-квадрат.

Тест Conover не выявил в подгруппах статистически значимого влияния типа интрамедуллярных стержней на ИВФ. F-статистика составила 0,363 при  $p = 0,342$  при удлинении бедра и 1,063 при удлинении костей голени при  $p = 0,157$ . Однако двусторонний дисперсионный анализ выявил значительное одновременное влияние типа стержней и соотношение «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала» при удлинении бедренной кости ( $p = 0,029$ ) на ИВФ. Влияние типа стержня на ИВФ при удлинении костей голени было связано с соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр в месте остеотомии» ( $p = 0,021$ ). Кроме того, этот тест показал, что влияние типа стержня (Ti против GA) на ИВФ зависит от соотношения «стержень / внутренний диаметр в месте остеотомии» в Г-группе ( $p = 0,029$ ).

Соотношение параметров лечения и ИВФ определяет значительную отрицательную корреляцию величины удлинения (как абсолютной, так и выраженной в %) с ИВФ как для эластичного армирования с GA-покрытием при удлинении бедра, так и для эластичных титановых стержней при удлинении костей голени (табл. 3). Кроме того, коэффициент ранговой корреляции Спирмена продемонстрировал статистически значимую положительную корреляцию между соотношением «диаметр стержня / внутренний диаметр на уровне остеотомии» и ИВФ при удлинении голени (подгруппа GA-Г) и значимую положительную корреляцию между возрастом и ИВФ в подгруппе GA-Б.

Таблица 3

Значимые корреляции между изучаемыми параметрами и ИВФ (коэффициент Spearman)

Параметр		Значение коэффициента	p-value
Удлинение бедра (подгруппа Б-GA)	см	-0,509	0,031
	%	-0,558	0,018
Удлинение голени (подгруппа Г-Ti)	см	-0,589	0,017
	%	-0,565	0,022
Отношение между диаметром стержня и внутренним расстоянием между кортикальными пластинками на уровне остеотомии (подгруппа Г-GA)		0,776	0,008
Возраст (подгруппа Б-GA)		0,549	0,025

Тяжесть и частота встретившихся осложнений отражена в табл. 4. У одного пациента наблюдали сопутствующие осложнения: перелом спицы и последующее вторичное смещение, потребовавшие перемонтажа аппарата под общим наркозом. Был случай преждевременного сращения кости, потребовавший реosteотомии. Еще в одном случае наблюдали внешнюю миграцию интрамедуллярного стержня, не покрытого GA, что потребовало его преждевременного удаления. У 48 пациентов интрамедуллярные стержни были удалены через 4–13 мес. после снятия аппарата.

Таблица 4

Осложнения

Вид осложнения	Удлинение бедра				Удлинение голени			
	Б-Ti		Б-GA		Г-Ti		Г-GA	
	абс.	%	абс.	%	абс.	%	абс.	%
Поверхностная инфекция	2	12,6	3	20,1	3	17,7	2	12,6
Спицевой остеомиелит	–		1	6,7	–		–	
Парестезия, транзитный парез	–		–		1	5,9	1	6,3
Перелом спиц	1	6,3	1	6,7	–		–	
Вторичное смещение костных фрагментов	–		1	6,7	1	5,9	–	
Внешняя миграция интрамедуллярного эластичного стержня	1	6,3	–		–		–	
Преждевременное костное сращение	–		1	6,7	–		–	
Перелом после снятия аппарата внешней фиксации	1	6,3	–		–		–	
Стойкая контрактура коленного сустава	–		1	6,7	–		–	

Осложнение в виде деформации в зоне удлинения, потребовавшей внепланового хирургического вмешательства после снятия аппарата, наблюдали в одном случае в Б-группе (подгруппа Б-Ti). В двух случаях вторичного смещения были вынужденно проведены внеплановые операции перемонтажа аппарата с установкой дополнительных спиц или стержней-шурупов. В одном случае это осложнение связано с переломом спицы (Б-GA подгруппа), во втором случае — с нестабильностью проксимальной опоры на голени (Г-Ti подгруппа).

Мы не отмечали случаев блокирования интрамедуллярных эластичных стержней спицами или стержнями-шурупами наружного фиксатора на этапе дистракции. В 10 случаях околоспицевая инфекция была успешно купирована пероральными антибиотиками. Только в одном случае спицевой инфекции осложнение связано с термическим некрозом кости и потребовало кюретажа через 2 мес. после снятия

аппарата. Исходная амплитуда движений в коленном или голеностопном суставе была восстановлена у 63 пациентов при обследовании на последнем контрольном осмотре. Временный паралич малоберцовой группы отмечен в двух случаях. В дальнейшем функция нерва после проведенного консервативного лечения полностью восстановилась.

Оценка результатов по классификации Lascombes (табл. 5) через год показала, что триада условий планируемой величины удлинения, продолжительности наружной фиксации и функционального восстановления отмечена у 60 пациентов (93,8 % случаев). В трех случаях ИВФ составлял более 45 дн/см (46,3, 46,4 и 48,8 дн/см).

Рентгенологический анализ показал, что индекс консолидации в этих случаях был ниже 45 дн/см. Поскольку у этих пациентов не отмечено замедленной консолидации, повышенное значение ИВФ следует объяснять задержанным снятием аппарата внешней фиксации, вызванным другими проблемами, не связанными с процессом удлинения. Тем не менее, эти три исхода мы классифицировали как степень IIIa. Также к категории результатов III мы отнесли один случай стойкой разгибательной контрактуры коленного сустава после удлинения бедра, что потребовало выполнения операции релиза четырехглавой мышцы в сочетании с артротомией коленного сустава в отдаленном периоде.

Таблица 5

Результаты удлинения

Категория	Удлинение бедра		Удлинение голени	
	Б-Тi	Б-ГА	Г-Тi	Г-ГА
I	14	11	14	16
IIa	–	2	1	–
IIb	2	1	–	–
III	–	1	3	–

### ОБСУЖДЕНИЕ

Укорочение одной из нижних конечностей, в том числе приобретенной этиологии, даже кажущееся незначительным, влияет на развитие вторичной патологии. Неравенство длины более 1 см может вызвать изменение биомеханики движений, приводящее к сколиотической деформации позвоночника, нарушениям походки и раннему развитию деформирующего артроза крупных суставов [30–33]. Эта разница в длине ног, влияющая на осанку в положении стоя, сбалансированность походки и баланс таза, подлежит коррекции [34]. Разработка нового поколения моторизованных интрамедуллярных удлиняющих стержней позволяет удлинять конечность, обеспечивая точный контроль режима distraction, и избегать неудобств наружной фиксации [1, 10, 12, 13]. Но открытые зоны роста, тяжесть деформации, инфекционные поражения кости в анамнезе и малый диаметр костномозгового канала в значительной степени ограничивают использование данных устройств [13, 35, 36]. В литературе рекомендуют применять метод наружной фиксации при удлинении конечностей и коррекции тяжелых деформаций приобретенной этиологии [11, 13, 37–40].

Удлинение аппаратами внешней фиксации представляет собой сложную задачу с длительным сроком лечения, присутствует значительный риск осложнений, включая септические осложнения, увеличение индекса консолидации, замедленные сроки сращения костей и переломы после удаления аппарата [16, 19, 22, 29, 41–43]. За последние двадцать лет прогресс в удлинении конечностей аппаратами наружной фиксации направлен на сокращение сроков фиксации аппаратом наружной фиксации и снижение количества осложнений. Так, стимуляция регенерата импульсным ультразвуком низкой интенсивности снижала индекс консолидации с 45 дн/см до 33 дн/см по результатам исследования К.Н. Salem et al. [8] и с 48 дн/см до 30 дн/см по результатам исследования Н. El-Mowafi et al. [7]. Эти небольшие по объему выборки представляют результаты удлинения конечностей у пациентов с приобретенным укорочением.

Многие авторы отмечают, что средний индекс наружной фиксации ниже при удлинении конечностей у пациентов с приобретенной патологией, чем таковой у пациентов с врожденным укорочением. R. Ganger et al. [3] отметили, что ИВФ составляет 2,1 мес/см при удлинении бедра и 2,8 мес/см при удлинении голени. В исследовании V. Antoci et al. [14] средний показатель составил 32 дн/см, достоверной разницы с результатами удлинения при врожденных укорочениях замечено не было. T. Nakase et al. [44] отмечали индекс, равный 1,45 мес/см, у пациентов при удлинении не менее 2 см, а J. Horn et al. [11] сообщили об индексе 2,0 мес/см (диапазон 0,8–6,0 мес/см) у пациентов с приобретенной разницей в длине конечностей. Наше исследование показало, что средние значения ИВФ при комбинации с интрамедуллярным армированием ниже, чем в вышеуказанных исследованиях.

В предыдущем исследовании мы указывали, что индекс консолидации был значительно ниже при использовании интрамедуллярных эластичных стержней, в среднем 7 дн/см, по сравнению с традиционным методом Илизарова [45]. V. Saraph et al. [46] использовали два изогнутых стержня Эндера для удлинения костей голени и выявили преимущества стабильного остеосинтеза, меньший процент инфекционных осложнений по сравнению с традиционной методикой, а также возможность предотвращения переломов и деформации удлинённых костей голени. M. Lampasi et al. [24] не встретили

ни вторичных смещений в период distraction, ни развития инфекции и переломов после удаления стержня при удлинении бедренной кости с помощью моноклатерального фиксатора и эластичного интрамедуллярного армирования. Кроме того, они сообщали о двух случаях преждевременной консолидации вследствие интенсивного формирования distractionных регенератов. В. Vukva et al. [22] и F. Launey et al. [19] также показали эффективность применения эластичного интрамедуллярного армирования для снижения индекса консолидации при удлинении конечностей, снижения риска осложнений и переломов после удаления аппарата. F. Launey et al. [21] подчеркивают преимущества использования интрамедуллярных стержней для профилактики вторичного смещения по ширине при удлинении костей малого диаметра, в частности, на предплечье.

Доказано, что эластичные интрамедуллярные стержни, покрытые гидроксиапатитом, способствуют костеобразованию и обеспечивают остеоинтеграцию, стимулируя остеогенную активность в костномозговом канале [28, 47]. Целью данного исследования было не только продемонстрировать особенности комбинированной техники для удлинения костей голени и бедра у пациентов с приобретенной разницей в длине конечностей, но и сравнить влияние биоактивных и титановых эластичных интрамедуллярных стержней на результаты лечения. А также оценить влияние демографических и отдельных механических факторов на костное сращение при distractionном остеосинтезе и, соответственно, на результат лечения.

Что касается влияния возраста и величины удлинения, наши результаты согласуются с результатами, опубликованными J. Fischgrund et al. [48] и P. Koczewski et al. [42]. Возраст оказывает существенное влияние на сроки консолидации: у детей сращение костей происходит быстрее, чем у взрослых пациентов. В нашем исследовании корреляция «возраст–ИВФ» была статистически положительной в подгруппе с удлинением бедренной кости с помощью стержней с ГА-покрытием. В отличие от возраста, по величине удлинения (в см или %) мы определили отрицательную значимую корреляцию с ИВФ (в подгруппе удлинения бедренной кости с использованием стержней с ГА-покрытием и в подгруппе удлинения костей голени с использованием титановых интрамедуллярных стержней). Эти данные позволяют предположить, что факторы, оказывающие влияние на время костной консолидации при удлинении с использованием комбинированной техники, аналогичны факторам, выявленным при использовании традиционной методики удлинения по Илизарову. Поскольку эти корреляции присутствуют при комбинированном удлинении, можно сделать заключение о сохранении биологических условий метода Илизарова для консолидации кости при использовании эластичного интрамедуллярного армирования.

Что касается ИВФ при использовании разных типов (титановые vs. с композитным гидроксиапатитным покрытием) интрамедуллярных стержней, то статистически значимых различий нами обнаружено не было. Мы предполагаем, что у включенных в исследование пациентов с приобретенным укорочением, без аномальной регенерации костной ткани, достаточно механической стимуляции костеобразования, обеспечивающей консолидацию удлиняемых костей в течение сходного по длительности периода. На практике не выявлено очевидных преимуществ применения интрамедуллярных стержней с остеоиндуктивным гидроксиапатитным покрытием в сравнении с титановыми стержнями для регенерации костной ткани без компрометированного гистогенеза. С другой стороны, влияние диаметра интрамедуллярного стержня на биологические свойства регенерации кости при удлинении конечностей раскрыто лишь отчасти. В нашем исследовании выявлена положительная достоверная корреляция между отношением «Диаметр стержня / внутреннее расстояние между кортикальными слоями в месте остеотомии» в Т-ГА подгруппе. Данный результат в сравнении со значительным влиянием типа стержней и соотношения «диаметр стержня / диаметр костномозгового канала или внутренний диаметр в месте остеотомии» на ИВФ, выявленный с помощью двустороннего дисперсионного анализа, означает, что оба фактора (и диаметр, и тип эластичного стержня) следует рассматривать вместе в будущих клинических и экспериментальных исследованиях.

В нашем исследовании ни в одном случае мы не наблюдали замедленного формирования и созревания distractionного регенерата. Что касается осложнений, только в одном случае после снятия аппарата произошел перелом в месте удлинения. M.B. Danzinger et al. отмечали два случая переломов после снятия аппарата у пяти пациентов с посттравматическими деформациями [49]. D.F. Stanitski et al. описывали развитие деформации в месте удлинения после снятия аппарата в шести случаях у 62 пациентов, которым удлиняли голень с использованием аппарата Илизарова [50]. R. Ganger et al. [3] описывали появление деформации в месте удлинения после снятия аппарата у одного пациента (4,5%). В отличие от этих данных, J. Horn et al. [11] не выявили переломов или других серьезных осложнений при удлинении ног у пациентов с приобретенными укорочениями конечностей.

Следует подчеркнуть, что существуют специфические осложнения удлинения, связанные с применением интрамедуллярного эластичного армирования: миграция интрамедуллярных стержней (1 случай) и преждевременное сращение кости (1 случай). В данной серии больных они были пролечены хирургическим путем без последствий (рис. 3).



Рис. 3. Рентгенограммы при удлинении бедра, осложненном преждевременной консолидацией, пациент подгруппы Б-ГА: а — дистальная остеотомия бедренной кости, ретроградное армирование; б — преждевременная консолидация (рентгенография на 21-ый послеоперационный день), потребовавшая реостеотомии; в — в конце периода фиксации, костное сращение, аппарат снят; г — 40 дней после снятия аппарата внешней фиксации

В итоге, у наших пациентов требуемые результаты лечения были достигнуты без ухудшения функции удлинённой конечности в 63 из 64 случаев. Результаты лечения расценены как хорошие или отличные во всех случаях. Ограничения данного исследования связаны с небольшим числом пациентов, неоднородностью серии, в исследование включены пациенты с разницей в длине конечностей только умеренной. Однако следует отметить, что и в других сериях удлинения при приобретенных патологиях нижних конечностей популяции пациентов обычно гетерогенны [7, 11, 14, 22].

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше проспективное исследование показало, что удлинение конечностей, как с помощью эластичных титановых стержней, так и стержней с композитным ГА-покрытием, обеспечивает хорошие и отличные результаты при удлинении костей бедра и голени у пациентов с приобретенной разницей в длине нижних конечностей. Применение данной методики способствует снижению ИВФ и меньшему риску осложнений, в т.ч. тяжелых, в сравнении с традиционными методиками без использования интрамедуллярных эластичных стержней. При приобретенных укорочениях конечностей, не связанных с патологически измененной костной тканью, не отмечено различий в ИВФ при использовании титановых стержней в сравнении с интрамедуллярными стержнями с ГА-покрытием. Положительная достоверная высокая корреляция отношения «Диаметр стержня / внутреннее расстояние между кортикальными слоями в месте остеотомии» и ИВФ, а также значительное влияние типа стержня и его диаметра на ИВФ означает, что оба фактора (диаметр и тип применяемого эластичного интрамедуллярного стержня) следует рассматривать вместе в будущих исследованиях.

*Конфликт интересов.* Не заявлен.

*Источник финансирования.* Не заявлен.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Paley D. PRECICE intramedullary limb lengthening system. *Expert Rev Med Devices*. 2015;12(3):231-249. doi: 10.1586/17434440.2015.1005604
2. Friend L, Widmann RF. Advances in management of limb length discrepancy and lower limb deformity. *Curr Opin Pediatr*. 2008;20(1):46-51. doi: 10.1097/MOP.0b013e3282f35eeb
3. Ganger R, Radler C, Speigner B, Grill F. Correction of post-traumatic lower limb deformities using the Taylor spatial frame. *Int Orthop*. 2010;34(5):723-730. doi: 10.1007/s00264-009-0839-5
4. Maffulli N, Lombardi C, Matarazzo L, et al. A review of 240 patients undergoing distraction osteogenesis for congenital post-traumatic or postinfective lower limb length discrepancy. *J Am Coll Surg*. 1996;182(5):394-402.
5. Massard-Combe P, Verscheure D, Jayet J, et al. Lower Limb Discrepancy Secondary to Post-traumatic Femoral Lesion: A Case Report. *Ann Vasc Surg*. 2020;68:571.e5-571.e7. doi: 10.1016/j.avsg.2020.04.048
6. Emara KM, Khames A. Functional outcome after lengthening with and without deformity correction in polio patients. *Int Orthop*. 2008;32(3):403-407. doi: 10.1007/s00264-007-0322-0
7. El-Mowafi H, Mohsen M. The effect of low-intensity pulsed ultrasound on callus maturation in tibial distraction osteogenesis. *Int Orthop*. 2005;29(2):121-124. doi: 10.1007/s00264-004-0625-3
8. Salem KH, Schmelz A. Low-intensity pulsed ultrasound shortens the treatment time in tibial distraction osteogenesis. *Int Orthop*. 2014;38(7):1477-1482. doi: 10.1007/s00264-013-2254-1
9. Kristiansen LP, Steen H, Reikerås O. No difference in tibial lengthening index by use of Taylor spatial frame or Ilizarov external fixator. *Acta Orthop*. 2006;77(5):772-777. doi: 10.1080/17453670610012971
10. Hammouda AI, Jauregui JJ, Gesheff MG, et al. Treatment of Post-Traumatic Femoral Discrepancy With PRECICE Magnetic-Powered Intramedullary Lengthening Nails. *J Orthop Trauma*. 2017;31(7):369-374. doi: 10.1097/BOT.0000000000000828
11. Horn J, Steen H, Huhnstock S, et al. Limb lengthening and deformity correction of congenital and acquired deformities in children using the Taylor Spatial Frame. *Acta Orthop*. 2017;88(3):334-340. doi: 10.1080/17453674.2017.1295706
12. Horn J, Hvid I, Huhnstock S, et al. Limb lengthening and deformity correction with externally controlled motorized intramedullary nails: evaluation of 50 consecutive lengthenings. *Acta Orthop*. 2019;90(1):81-87. doi: 10.1080/17453674.2018.1534321
13. Calder PR, Laubscher M, Goodier WD. The role of the intramedullary implant in limb lengthening. *Injury*. 2017;48 Suppl 1:S52-S58. doi: 10.1016/j.injury.2017.04.028
14. Antoci V, Ono CM, Antoci V Jr, Raney EM. Comparison of distraction osteogenesis for congenital and acquired limb-length discrepancy in children. *Orthopedics*. 2008;31(2):129. doi: 10.3928/01477447-20080201-04
15. Ceroni D, Grumetz C, Desvachez O, et al. From prevention of pin-tract infection to treatment of osteomyelitis during paediatric external fixation. *J Child Orthop*. 2016;10(6):605-612. doi: 10.1007/s11832-016-0787-8
16. 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
17. Аранович А., Стогов М., Киреева Е., Менщикова Т. Прогнозирование и контроль течения дистракционного остеогенеза. Аналитический обзор. *Гений ортопедии*. 2019;25(3):400-406. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-3-400-406
18. Matsubara H, Tsuchiya H, Sakurakichi K, et al. Deformity correction and lengthening of lower legs with an external fixator. *Int Orthop*. 2006;30(6):550-554. doi: 10.1007/s00264-006-0133-8
19. Launay F, Younsi R, Pithioux M, et al. Fracture following lower limb lengthening in children: a series of 58 patients. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2013;99(1):72-79. doi: 10.1016/j.otsr.2012.08.005
20. 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
21. 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)
22. Bukva B, Vrgoč G, Rakovac I, et al. Complications in leg lengthening using an Ilizarov external fixator and intramedullary alignment in children: comparative study during a fourteen-year period. *Injury*. 2015;46 Suppl 6:S48-51. doi: 10.1016/j.injury.2015.10.058
23. Pejin Z. Femoral lengthening in children and adolescents. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(1S):S143-S149. doi: 10.1016/j.otsr.2016.05.020
24. Lampasi M, Launay F, Jouve JL, Bollini G. Femoral lengthening over elastic stable intramedullary nailing in children using the monolateral external fixator. *Chir Organi Mov*. 2009;93(2):57-64. doi: 10.1007/s12306-009-0032-4
25. 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
26. Morcos MW, Al-Jallad H, Hamdy R. Comprehensive Review of Adipose Stem Cells and Their Implication in Distraction Osteogenesis and Bone Regeneration. *Biomed Res Int*. 2015;2015:842975. doi: 10.1155/2015/842975
27. Shevtsov VI, Popkov AV, Popkov DA, et al. Elastic stable intramedullary nailing in Ilizarov bone lengthening. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2004;90(5):399-410. (In French). doi: 10.1016/s0035-1040(04)70166-x
28. Bolbasov EN, Popkov AV, Popkov DA, et al. Osteoinductive composite coatings for flexible intramedullary nails. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2017;75:207-220. doi: 10.1016/j.msec.2017.02.073
29. Lascombes P, Popkov D, Huber H, et al. Classification of complications after progressive long bone lengthening: proposal for a new classification. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2012;98(6):629-637. doi: 10.1016/j.otsr.2012.05.010
30. Shailam R, Jaramillo D, Kan JH. Growth arrest and leg-length discrepancy. *Pediatr Radiol*. 2013;43(Suppl 1):S155-S65. doi: 10.1007/s00247-012-2598-5
31. Ceroni D, Valaikaite R, Grumetz C, et al. Corrective surgery for lower limb length discrepancy and malalignment in paediatric orthopaedics. *Rev Med Suisse*. 2017;13(550):427-432. (In French)
32. McClure PK, Herzenberg JE. The Natural History of Lower Extremity Malalignment. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(Issue 6, Supplement 1 Suppl 1):S14-S19. doi: 10.1097/BPO.0000000000001361

33. Grivas TB, Angouris K, Chandrinou M, Kechagias V. Truncal changes in children with mild limb length inequality: a surface topography study. *Scoliosis Spinal Disord.* 2018;13:27. doi: 10.1186/s13013-018-0173-z
34. Попков А.В., Аранович А.М., Новиков К.И. и др. Комбинированный высокочастотный дистракционный остеосинтез бедра у детей. *Гений ортопедии.* 2016;(2):57-63. doi: 10.18019/1028-4427-2016-2-57-63
35. Black SR, Kwon MS, Cherkashin AM, et al. Lengthening in Congenital Femoral Deficiency: A Comparison of Circular External Fixation and a Motorized Intramedullary Nail. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(17):1432-1440. doi: 10.2106/JBJS.N.00932
36. Iobst C. Limb lengthening combined with deformity correction in children with the Taylor Spatial Frame. *J Pediatr Orthop B.* 2010;19(6):529-534. doi: 10.1097/BPB.0b013e32833dec43
37. Küçükkaya M, Karakoyun Ö, Sökücü S, Soydan R. Femoral lengthening and deformity correction using the Fitbone motorized lengthening nail. *J Orthop Sci.* 2015;20(1):149-154. doi: 10.1007/s00776-014-0659-3
38. Hosny GA. Limb lengthening history, evolution, complications and current concepts. *J Orthop Traumatol.* 2020;21(1):3. doi: 10.1186/s10195-019-0541-3
39. Попков А.В., Аранович А.М., Новиков К.И. и др. Удлинение голени у детей комбинированной методикой с применением высокочастотной круглосуточной дистракции. *Гений ортопедии.* 2016;(2):51-56. doi: 10.18019/1028-4427-2016-2-51-56
40. Qin S., Zang J., Guo B. Технология Илизарова и китайская философия (к 100-летию со дня рождения профессора Илизарова). *Гений ортопедии.* 2021;27(3):291-295. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-291-295
41. Oostenbroek HJ, Brand R, van Roermund PM, Castelein RM. Paediatric lower limb deformity correction using the Ilizarov technique: a statistical analysis of factors affecting the complication rate. *J Pediatr Orthop B.* 2014;23(1):26-31. doi: 10.1097/BPB.0b013e32836422ba
42. Koczewski P, Shadi M. Factors influencing bone regenerate healing in distraction osteogenesis. *Ortop Traumatol Rehabil.* 2013;15(6):591-599. doi: 10.5604/15093492.1091515
43. Gordon JE, Manske MC, Lewis TR, et al. Femoral lengthening over a pediatric femoral nail: results and complications. *J Pediatr Orthop.* 2013;33(7):730-736. doi: 10.1097/BPO.0b013e3182a122a1
44. Nakase T, Kitano M, Kawai H, et al. Distraction osteogenesis for correction of three-dimensional deformities with shortening of lower limbs by Taylor Spatial Frame. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2009;129(9):1197-1201. doi: 10.1007/s00402-008-0702-y
45. 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
46. Saraph V, Roposch A, Zwick EB, Linhart WE. Tibial lengthening over nails in children using modified Ender nails: preliminary results of a new treatment. *J Pediatr Orthop B.* 2004;13(6):383-388. doi: 10.1097/01202412-200411000-00007
47. Popkov AV, Gorbach EN, Kononovich NA, et al. Bioactivity and osteointegration of hydroxyapatite-coated stainless steel and titanium wires used for intramedullary osteosynthesis. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2017;12(2):107-113. doi: 10.1007/s11751-017-0282-x
48. Fischgrund J, Paley D, Suter C. Variables affecting time to bone healing during limb lengthening. *Clin Orthop Relat Res.* 1994;(301):31-37.
49. Danziger MB, Kumar A, DeWeese J. Fractures after femoral lengthening using the Ilizarov method. *J Pediatr Orthop.* 1995;15(2):220-223.
50. Stanitski DF, Shahcheraghi H, Nicker DA, Armstrong PF. Results of tibial lengthening with the Ilizarov technique. *J Pediatr Orthop.* 1996;16(2):168-172. doi: 10.1097/00004694-199603000-00006

Статья поступила 29.02.2024; одобрена после рецензирования 17.05.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 29.02.2024; approved after reviewing 17.05.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Денис Васильевич Тропин — врач травматолог-ортопед, I@tropin-1.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6719-0959>;

Василий Иванович Тропин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, vasilytropin@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-2082-8341>;

Александр Александрович Чертищев — врач травматолог-ортопед;

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

Дмитрий Арнольдович Попков — доктор медицинских наук, травматолог-ортопед, руководитель клиники, профессор Российской академии наук, член-корр. Французской академии медицинских наук, dpopkov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8996-867X>.

#### Information about the authors:

Denis V. Tropin — orthopaedic surgeon, I@tropin-1.ru, <https://orcid.org/0009-0001-6719-0959>;

Vasily I. Tropin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Department, vasilytropin@yahoo.com, <https://orcid.org/0009-0006-2082-8341>;

Aleksandr A. Chertishev — orthopaedic surgeon;

Nikita S. Gvozdev — orthopaedic surgeon, gvozdev\_n.s@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3428-3742>;

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

## Научная статья

УДК 613.84:618.3:617.586-007.5-053.1

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-533-541>

## Факторы риска, ассоциированные с врожденной косолапостью у детей

М.В. Власов, И.В. Мусихина✉

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Мусихина, [i\\_musihina@mail.ru](mailto:i_musihina@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Врожденная косолапость — частый порок развития нижних конечностей, однако причины возникновения этой патологии у детей до сих пор неясны. Выявление факторов, ассоциированных с врожденной косолапостью, является актуальной проблемой, решение которой позволит проводить пренатальную профилактику рождения детей с косолапостью, уменьшив количество пациентов с данной патологией.

**Цель работы** — определение возможных факторов риска, приводящих к нарушению правильного формирования стоп у плода, и определение степени их значимости в возникновении врожденной косолапости у детей.

**Материалы и методы.** Ретроспективное исследование проведено в парах «мать–новорожденный» по данным наблюдения (обследования) за 149 детьми. Первую группу ( $n = 97$ ) составили пары «мать–новорожденный», в которых у ребенка была типичная форма врожденной косолапости, вторую ( $n = 52$ ) — пары, в которых младенец был практически здоров. Полученные данные обработаны с применением таблиц  $2 \times 2$  и логистической регрессии.

**Результаты.** Наибольшая чувствительность и специфичность возникновения врожденной косолапости установлена к факторам, связанным с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности — никотиновая зависимость у беременных ( $SE = 0,32$ ;  $SP = 0,90$ ), и фактором, сопряженным с отягощенной наследственностью при врожденной патологии стоп у близких родственников ( $SE = 0,16$ ;  $SP = 0,98$ ). Перенесенная острая респираторная вирусная инфекция в анамнезе, анемия беременных, токсикоз беременных статистически значимой причинно-следственной связи с возникновением врожденной косолапости по данным анализа с применением метода логистической регрессии не обнаружили ( $p > 0,05$ ), и их не следует использовать в качестве прогностических.

**Обсуждение.** Полученные нами данные о первостепенном значении двух факторов риска развития врожденной косолапости: никотиновая зависимость у женщины и отягощенная наследственность по врожденной патологии стоп среди близких родственников, были также отражены лишь в единичных литературных источниках.

**Заключение.** Наибольшую чувствительность, специфичность и причинно-следственную связь с возникновением врожденной косолапости имели факторы риска, связанные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности — никотиновая зависимость у женщины и сопряженные с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп у кровных родственников ( $p < 0,05$ ).

**Ключевые слова:** беременность, дети, врожденная косолапость, факторы риска, никотиновая зависимость, наследственность

**Для цитирования:** Власов М.В., Мусихина И.В. Факторы риска, ассоциированные с врожденной косолапостью у детей. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):533-541. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-533-541. EDN: AIYBWU.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-533-541>



## Risk factors associated with congenital clubfoot in children

M.V. Vlasov, I.V. Musikhina✉

Privolzhsky Medical Research University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

**Corresponding author:** Irina V. Musikhina, [i\\_musihina@mail.ru](mailto:i_musihina@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** Congenital clubfoot is a frequent malformation of the lower extremities. However, the causes of this pathology in children are still unclear. The identification of the factors associated with congenital clubfoot is a relevant problem, the solution of which will allow a prenatal prevention of clubfoot in newborns thus reducing the number of patients with this pathology.

**Purpose** The search for possible risk factors leading to a violation of foot development in the fetus and their significance in the occurrence of congenital clubfoot in children.

**Materials and methods** The study was of retrospective nature and was carried out in pairs “Mother-Newborn”. It included examination of 149 children. The first group ( $n = 97$ ) was compiled by the “Mother Newborn” pairs, in which the child had a typical form of congenital clubfoot; the second group ( $n = 52$ ) were pairs in which the baby was healthy. The data obtained were processed using tables  $2 \times 2$  and logistics regression.

**Results** According to the results of the study, it was found that the greatest sensitivity and specificity of congenital clubfoot was associated with the external factor of nicotine dependence in pregnant women ( $SE = 0.32$ ;  $SP = 0.90$ ) and the factor of hereditarily burdened congenital foot pathology in close relatives ( $SE = 0.16$ ;  $SP = 0.98$ ). An acute respiratory viral infection in the anamnesis, anemia in a pregnant woman or toxicosis did not show statistically significant causal connection with the occurrence of congenital clubfoot according to the analysis using the method of logistics regression ( $p > 0.05$ ) and they should not be used as prognostic ones.

**Discussion** The data obtained by us on the paramount significance of the two “risk” factors of the congenital clubfoot development (nicotine dependence in a pregnant woman and hereditarily burdened disorder of congenital foot pathology among close relatives) were reflected only in a few scientific sources.

**Conclusion** The risk factors of the greatest sensitivity, specificity and causal relationship with the congenital clubfoot development were associated with the adverse effects of the external factor of nicotine dependence during pregnancy and burdened heredity associated with congenital foot pathology in close relatives ( $p < 0.05$ ).

**Keywords:** pregnancy, children, congenital clubfoot, risk factors, nicotine dependence, heredity

**For citation:** Vlasov MV, Musikhina IV. Risk factors associated with congenital clubfoot in children. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):533-541. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-533-541

## ВВЕДЕНИЕ

Согласно оценкам Всемирной организации здравоохранения, более 100 тыс. детей во всем мире каждый год рождаются с врожденной косолапостью. Врожденная косолапость является довольно частым пороком развития нижних конечностей и занимает второе место среди деформаций опорно-двигательного аппарата. На первом месте по частоте встречаемости находится патология пальцев кистей и стоп (38,16 %), на втором — деформации стопы (21,95 %) и на третьем месте — врожденные деформации бедра (13,73 %) [1–3]. Частота встречаемости врожденной косолапости среди населения Российской Федерации имеет средние значения и составляет 1–3 на каждую тысячу новорожденных [4–6], прослеживается тенденция к увеличению числа рожденных детей с врожденной косолапостью [7–8].

Необходимо отметить, что двусторонняя врожденная косолапость встречается несколько чаще, чем односторонняя [9–11], при этом среди лиц мужского пола врожденная косолапость встречается в несколько раз чаще и находится в соотношении к женскому полу от 2,5:1 до 1,1:1 [12–13]. В 15–30 % случаев врожденная косолапость находится в тесной связи с другими аномалиями развития костно-мышечной системы, такими как врожденный вывих бедра, сращение пальцев кисти и стоп, мышечная кривошея, амниотические перетяжки различной локализации, Spina Bifida [14–18].

К настоящему времени доказано, что врожденные аномалии развития плода значительно чаще возникают у беременных женщин, проживающих в экологически неблагоприятных условиях, подвергающихся канцерогенно-опасному воздействию на производстве, испытывающих никотиновую, алкогольную интоксикацию, а также имеющих инфекции, передающиеся половым путем — хламидиоз, микоплазмоз, герпесвирусные инфекции [19–24]. Однако работ, посвященных изучению роли факторов риска в возникновении врожденных деформаций стоп, крайне мало [25]. Несмотря на то, что врожденная косолапость — это заболевание, известное уже с давних времен, и в лечении этой патологии достигнуты значительные успехи, причины возникновения врожденной косолапости у детей до сих пор не ясны. Среди исследователей нет полного единодушия ни по одной из имеющихся теорий. На современном этапе развития медицины ученые обсуждают различные теории возникновения врожденной косолапости, отдавая приоритет тем или иным факторам, которые негативно воздействуя на организм будущей матери в первый триместр беременности, могут нарушать правильное созревание плода и, в частности, вызывают аномалию развития стоп. Разнятся данные о значимости таких внешних факторов риска, воздействующих на плод и влияющих на развитие косолапости, как курение, алкоголь, сахарный диабет, острые респираторные инфекции и другие.

С учетом частоты врожденной косолапости среди общего числа новорожденных, тяжелых последствий неблагоприятно протекающего патологического процесса с большой долей рецидивов деформации стоп (35–64 %), инвалидизации этой группы больных, пагубного влияния анатомического дефекта стоп на физическое и психическое развитие ребенка [26, 27], поиск факторов риска, вызывающих возникновение косолапости у плода, является крайне актуальным. Выявление факторов риска, оказывающих максимально повреждающее воздействие во время закладки органов и систем будущего ребенка и приводящих к возникновению врожденной косолапости, даст возможность проводить пренатальную профилактику рождения детей с косолапостью, снизив, тем самым, число пациентов с данной патологией.

**Цель работы** — определение возможных факторов риска, приводящих к нарушению правильного формирования стоп у плода, и определение степени их значимости в возникновении врожденной косолапости у детей.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В течение 2017–2022 гг. обследовано 97 больных с врожденной косолапостью, которые поступали на оперативное лечение в детское отделение травматологии и ортопедии Приволжского исследовательского медицинского университета (ПИМУ), и 52 практически здоровых ребенка во время обращения к ортопеду поликлиники ПИМУ. Возраст пациентов — от 1 до 12 мес. Исследование — ретроспективное, проведено в парах «мать – новорожденный» по данным наблюдения (обследования) 149 детей. Использован метод интервьюирования матерей и изучена форма 113/у (сведения родильного дома, родильного отделения больницы о новорожденном). Критерии включения: первая группа пациентов — наличие типичной формы врожденной косолапости у ребенка, вторая группа — практически здоровые дети, и в обеих группах — информированное добровольное согласие матери на участие в исследовании. Факторы риска, влияющие на формирование порока развития, выявляли методом «случай–контроль» на основании сравнительного анализа сведений акушерско-гинекологического анамнеза и данных формы 113/у в двух группах. Первую группу (n = 97) составили пары «мать-новорожденный», в которых у ребенка была типичная форма врожденной косолапости, вторую (n = 52) — пары, в которых младенец был практически здоров.

Степень косолапости определяли по балльной системе Dimeglio A. [28].

Таблица 1

В первой группе, включавшей 97 детей (150 стоп) с врожденной косолапостью, представлены все ее формы в зависимости от степени тяжести деформации стоп (табл. 1).

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета прикладных программ Statistika 12.0. При статистическом анализе объективными количественными характеристиками факторов риска служили абсолютный риск (*англ.*: Absolute risk, R), снижение абсолютного риска (*англ.*: Atributable risk, AR), относительный риск (*англ.*: Relative risk, RR). Специфичность (Sp) фактора риска и чувствительность (Se) рассчитывали с использованием таблиц 2×2 в экспонированной (с наличием фактора риска) и контрольной (при отсутствии фактора риска) группах; определяли показатель отношения шансов (OR) и вероятность (P+) развития врожденной косолапости у новорожденного по данным анализа методом логистической регрессии. Для проверки статистической значимости различий в сравниваемых группах применяли критерий Пирсона ( $\chi^2$ ). Различия считали достоверными при  $p < 0,05$ .

Распределение детей с врожденной косолапостью в зависимости от степени тяжести деформации

Степень тяжести	Количество			
	детей		стоп	
	абс.	%	абс.	%
I–II степень	15	15,5	23	15,3
III степень	33	34,0	47	31,3
IV степень	49	50,5	80	53,3
Всего	97	100	150	100

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Средняя масса при рождении детей с врожденной косолапостью сопоставима с данным показателем у здоровых детей ( $p = 0,37$ ). При сравнении у детей двух групп показателя средней длины тела статистически значимых отличий не выявлено ( $p = 0,31$ ), показателя среднего количества баллов по шкале Апгар достоверных отличий не выявлено ( $p = 0,13$ ) (табл. 2).

Возраст матерей на момент родов практически не отличался в каждой из сформированных групп ( $p = 0,47$ ), также не отмечено статистически значимых отличий по росту матерей ( $p = 0,13$ ). При сравнении веса матерей не выявлено значимой разницы ( $p = 0,08$ ). Разница при сравнении количества беременностей у матерей статистически ничтожна ( $p = 0,16$ ), при сравнении количества родов — статистически незначима ( $p = 0,17$ ) (табл. 3).

Таблица 2

Средние показатели у новорожденных с врожденной косолапостью и практически здоровых детей (критерий Манна – Уитни)

Показатель	Первая группа (n = 97)	Вторая группа (n = 52)	p-level
Масса при рождении, г	3271,75 ± 593,6	3401,27 ± 509,7	0,37
Рост при рождении, см	51,04 ± 3,31	51,50 ± 3,06	0,31
Баллы по шкале Апгар	7,78 ± 0,74	7,65 ± 0,65	0,13

Таблица 3

Характеристики и акушерский анамнез обследованных женщин (критерий Манна – Уитни)

Показатель	Матери детей с врожденной косолапостью (первая группа)	Матери здоровых детей (вторая группа)	p
Возраст, годы	29,62 ± 5,12	30,23 ± 4,92	0,47
Рост, см	164,73 ± 6,62	166,25 ± 5,13	0,13
Вес, кг	67,16 ± 17,71	63,17 ± 12,93	0,08
Количество беременностей	2,43 ± 1,54	1,98 ± 1,07	0,16
Количество родов	1,80 ± 0,78	1,62 ± 0,74	0,17

Таким образом, сравниваемые группы по основным показателям не отличались друг от друга и могли быть использованы при выявлении факторов риска возникновения врожденной косолапости. Анализ подвергли только те факторы, которые могли оказать непосредственное влияние на внутриутробное формирование плода с установкой причинно-следственных связей, приводящих к развитию врожденной косолапости (рис. 1).

Большая часть женщин первой и второй групп до наступления изучаемой беременности имели хроническую патологию. При ретроспективном анализе акушерского анамнеза установлено, что у матерей обследованных детей в обеих группах выявлена патология течения беременности. Так, в первой группе наиболее часто встречались токсикозы — у 55 (56,7 %), гипертония беременных — у 20 (20,6 %) женщин. У женщин второй группы токсикоз диагностирован в 22 (42,3 %) случаях, гипертония беременных — в 9 (17,3 %). При изучении данных генеалогического анамнеза у 16 (16,49 %) детей первой группы выявлена врожденная патология стоп у близких родственников. Во второй группе отягощенная наследственность по врожденным порокам стоп выявлена только у 1 (1,92 %) ребенка.



Рис. 1. Частота некоторых выявленных состояний/заболеваний и/или осложнений беременности у матерей детей с врожденной косолапостью и у матерей здоровых детей

Методом корреляционного анализа определено, что рождение ребенка с врожденной косолапостью сопряжено с рядом факторов, которые могли служить факторами риска возникновения данного заболевания (табл. 4).

Таблица 4

Определение факторов, ассоциированных с врожденной косолапостью (результаты корреляционного анализа,  $\gamma$ )

Фактор	$\gamma$	$p$
Профессиональная вредность	0,13	0,46
Никотиновая зависимость у беременной	0,63	0,001*
Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ)	0,32	0,006*
Анемия беременных	0,30	0,008*
Токсикоз беременных	0,31	0,005*
Гестационный сахарный диабет	0,07	0,60
Отягощенная наследственность	0,81	0,001*
Варикозная болезнь	-0,26	0,051
Гипертония беременных	0,14	0,32
Эутиреоидный зоб	0,24	0,29
Миопия	0,20	0,13
Пиелонефрит/мочекаменная болезнь	0,33	0,054

Примечание: \* – статистически достоверно ( $p \leq 0,05$ )

Существует корреляционная зависимость возникновения врожденной косолапости от некоторых факторов риска, связанных с соматическим здоровьем и рядом состояний беременных. Так, между возникновением врожденной косолапости у ребенка и никотиновой зависимостью у матери имеется умеренная положительная корреляционная связь высокой степени значимости ( $\gamma = 0,630666$  при  $p = 0,001$ ). Умеренная положительная корреляционная связь определяется между возникновением врожденной косолапости у ребенка и анемией беременных ( $\gamma = 0,30$  при  $p = 0,008$ ), перенесенной ОРВИ ( $\gamma = 0,32$  при  $p = 0,006$ ) и токсикозом беременных ( $\gamma = 0,31$  при  $p = 0,005$ ).

В процессе корреляционного анализа выявлена сильная положительная связь высокой степени значимости между риском возникновения врожденной косолапости и отягощенной наследственностью по врожденным порокам развития стоп ( $\gamma = 0,81$  при  $p = 0,001$ ). Таким образом, выявленные факторы риска могут оказывать неблагоприятное воздействие в период внутриутробного развития плода и быть причиной возникновения врожденной косолапости у новорожденного.

Факторами риска возникновения врожденной косолапости являлись таковые, связанные с отягощенной наследственностью по врожденной деформации стоп у близких родственников ( $RR = 1,53 \pm 0,09$  [1,28–1,83],  $p = 0,007$ ). Факторы риска, сцепленные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности: никотиновая зависимость у женщины ( $RR = 1,47 \pm 0,10$  [1,20–1,80],  $p = 0,002$ ), наличие острой респираторной вирусной инфекции в анамнезе ( $RR = 1,25 \pm 0,11$  [0,99–1,56],

$p = 0,06$ ). Факторы риска, сопряженные с соматическим здоровьем беременных, приводящие к возникновению врожденной косолапости: токсикоз во время беременности ( $RR = 1,22 \pm 0,12 [0,96-1,55]$ ,  $p = 0,09$ ), анемия беременных ( $RR = 1,23 \pm 0,12 [0,97-1,57]$ ,  $p = 0,07$ ).

Несмотря на существенные показатели риска, чувствительность возникновения врожденной косолапости к действию выявленных факторов была невысокой, даже низкой, и заметно (в 1,61 раза и более) уступала их специфичности. Наибольшая чувствительность и специфичность возникновения врожденной косолапости имелась к факторам, связанным с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности, — никотиновая зависимость у беременных ( $SE = 0,32$ ;  $SP = 0,90$ ), и фактором, сопряженным с отягощенной наследственностью при врожденной патологии стоп у близких родственников ( $SE = 0,16$ ;  $SP = 0,98$ ) (табл. 5).

Таблица 5

Показатели риска, ассоциированные с врожденной косолапостью

Фактор риска	Первая группа ( $n = 97$ )		Вторая группа ( $n = 52$ )		$R_1$	$R_2$	AR	RR $\pm$ S [95 % CI]	$\chi^2$	$p$	Se	Sp
	абс.	%	абс.	%								
Никотиновая зависимость у беременной	31	31,95	5	9,61	86,1	58,4	27,7	1,47 $\pm$ 0,10 [1,20–1,80]	9,22	0,002	0,32	0,90
Острые респираторные вирусные инфекции (ОРВИ)	43	44,32	15	28,84	74,1	59,3	14,8	1,25 $\pm$ 0,11 [0,99–1,56]	3,41	0,06	0,44	0,71
Анемия беременных	54	55,67	21	40,38	72,0	58,1	13,9	1,23 $\pm$ 0,12 [0,97–1,57]	3,16	0,07	0,55	0,59
Токсикоз беременных	55	56,7	22	42,38	71,4	58,3	13,1	1,22 $\pm$ 0,12 [0,96–1,55]	2,81	0,09	0,56	0,57
Отягощенная наследственность	16	16,49	1	1,92	94,1	61,4	32,8	1,53 $\pm$ 0,09 [1,28–1,83]	7,11	0,007	0,16	0,98

Примечание:  $R_1$  — абсолютный риск в экспонированной (с наличием фактора риска) группе,  $R_2$  — абсолютный риск в контрольной (с отсутствием фактора риска) группе, AR — атрибутивный риск, RR — относительный риск, S — стандартная ошибка относительного риска, [95 % CI] — 95 %-й доверительный интервал относительного риска,  $\chi^2$  — критерий Пирсона,  $p$  — уровень статистической значимости относительного риска, Se — чувствительность к фактору риска, Sp — специфичность фактора риска.

Отдельные (единичные) факторы из числа выявленных обнаруживали причинно-следственную связь возникновения врожденной косолапости у новорожденного по данным анализа методом логистической регрессии: факторы, связанные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности, — никотиновая зависимость у женщины ( $OR = 4,41 \pm 0,51 [1,59-12,19]$ ,  $p = 0,001$ ). Вероятность возникновения врожденной косолапости при действии данного фактора была достаточно высокой ( $P_+ = 0,81$ ). Фактор, сопряженный с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп среди близких родственников: ( $OR = 10,07 \pm 1,04 [1,29-78,29]$ ,  $p = 0,003$ ), при этом вероятность возникновения врожденной косолапости при действии данного фактора была также достаточно высокой ( $P_+ = 0,90$ ). Перенесенная острая респираторная вирусная инфекция в анамнезе, анемия беременных, токсикоз беременных статистически значимой причинно-следственной связи с возникновением врожденной косолапости по данным анализа с применением метода логистической регрессии не обнаружили ( $p > 0,05$ ) (табл. 6).

Таблица 6

Отношение шансов и вероятность возникновения врожденной косолапости при наличии отдельных факторов (по данным логистической регрессии)

Фактор риска	OR $\pm$ S [95 % CI]	$P_+$	$B_1$	$B_0$	$\chi^2$	$p$
Никотиновая зависимость у беременной	4,41 $\pm$ 0,51 [1,59–12,19]	0,81	1,48	-3,72	10,29	0,001
Острые респираторные вирусные инфекции	1,96 $\pm$ 0,36 [0,95–4,04]	0,66	0,67	1,57	3,48	0,06
Анемия беременных	1,85 $\pm$ 0,34 [0,93–3,67]	0,64	0,61	-1,00	3,17	0,07
Токсикоз беременных	1,78 $\pm$ 0,34 [0,90–3,52]	0,64	0,57	-1,04	3,62	0,06
Отягощенная наследственность	10,07 $\pm$ 1,04 [1,29–78,29]	0,90	2,30	6,24	9,03	0,003

Примечание: OR — отношение шансов, S — стандартная ошибка отношения шансов, [95 % CI] — 95 %-й доверительный интервал отношения шансов;  $P_+$  — вероятность возникновения врожденной косолапости;  $B_1$  — коэффициент регрессии независимого фактора «риска»  $i$ ;  $B_0$  — свободный член в уравнении регрессии;  $\chi^2$  — критерий Пирсона;  $p$  — уровень статистической значимости уровня регрессии.

## ОБСУЖДЕНИЕ

До настоящего времени нет единства в современных взглядах на этиопатогенез врожденной косолапости. Сторонники механической теории (внутриматочной неподвижности) возникновения врожденной косолапости объясняют возникновение деформации механическим воздействием на плод в период его внутриутробного развития. Повышенное внутриматочное давление, маловодие и, как результат,

уменьшенный объем полости матки приводит к излишней иммобилизации суставов, нарушению трофики тканей, задержке развития и искривлению формирующихся костей [29]. Однако довольно большая группа исследователей считает, что роль внутриматочного давления, как одной из причин развития врожденной косолапости, не доказана [30–31].

Теория врожденных пороков зародыша объясняет возникновение врожденной косолапости нарушением закладки и задержкой развития стопы на одном из этапов эмбриогенеза [32]. Сторонники нейромышечной теории считают, что основная причина возникновения врожденной косолапости связана с пороком развития спинного мозга, а именно с неправильным замыканием медуллярной трубки (дизрафии), что в конечном итоге ведет к нарушению иннервации наружной и, в меньшей степени, передней группы мышц голени [33–35]. У пациентов с врожденной косолапостью наблюдается прямая зависимость между степенью тяжести деформации и уровнем неврологического дефицита [36–37].

Проведенные нами исследования показали, что наиболее значимым фактором риска развития врожденной косолапости, связанным с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности, является никотиновая зависимость у женщины.

При изучении факторов риска, сцепленных с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности, получены следующие результаты: никотиновая зависимость у женщины ( $RR = 1,47 \pm 0,10$  [1,20–1,80],  $p = 0,002$ ), наличие острой респираторной вирусной инфекции в анамнезе ( $RR = 1,25 \pm 0,11$  [0,99–1,56],  $p = 0,06$ ). Факторы риска, сопряженные с соматическим здоровьем беременных, приводящие к возникновению врожденной косолапости: токсикоз во время беременности ( $RR = 1,22 \pm 0,12$  [0,96–1,55],  $p = 0,09$ ), анемия беременных ( $RR = 1,23 \pm 0,12$  [0,97–1,57],  $p = 0,07$ ). Хотя показатели риска были существенными, чувствительность возникновения врожденной косолапости к действию выявленных факторов была невысокой и заметно (в 1,61 раза и более) уступала их специфичности, за исключением такого фактора как никотиновая зависимость ( $SE = 0,32$ ;  $SP = 0,90$ ). Ряд факторов, из числа выявленных, обнаруживал причинно-следственную связь возникновения врожденной косолапости у новорожденного по данным анализа методом логистической регрессии: факторы, связанные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности, — никотиновая зависимость у женщины ( $OR = 4,41 \pm 0,51$  [1,59–12,19],  $p = 0,001$ ). Вероятность возникновения врожденной косолапости при действии данного фактора была достаточно высокой ( $P_+ = 0,81$ ). Перенесенная острая респираторная вирусная инфекция в анамнезе, анемия беременных, токсикоз беременных статистически значимой причинно-следственной связи с возникновением врожденной косолапости по данным анализа с применением метода логистической регрессии не обнаружили ( $p > 0,05$ ).

Полученные нами данные подтверждаются рядом работ зарубежных авторов, которые также указывают на негативное влияние никотиновой зависимости беременных на развитие врожденной косолапости [38–39]. В отечественной литературе отмечается тесная взаимосвязь между курением матери в период беременности и возникновением самых различных дефектов развития: внутриутробная задержка развития плода, расщелины твердого и мягкого неба, пороки сердечно-сосудистой системы и прочее, без указаний на четкую зависимость между вредной привычкой беременных и рождением ребенка с врожденной косолапостью [41].

Взаимосвязь между рождением ребенка с врожденной косолапостью и наличием никотиновой зависимости может быть обусловлена тератогенным действием никотина и продуктов горения. Никотин легко проникает через плаценту и оказывает прямое воздействие на фетальные ткани. Повреждающее действие производных табачного дыма направлено непосредственно на плод, что приводит к возникновению врожденных патологических аномалий плода [41].

Вторым наиболее значимым фактором риска развития врожденной косолапости, согласно полученным нами данным, является фактор, сопряженный с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп среди близких родственников. Показатель риска возникновения врожденной косолапости, связанный с отягощенной наследственностью по врожденным порокам развития, был существенным ( $RR = 1,53 \pm 0,09$  [1,28–1,83],  $p = 0,007$ ). При этом определяли наибольшую чувствительность и специфичность возникновения врожденной косолапости ( $SE = 0,16$ ;  $SP = 0,98$ ). Фактор, сопряженный с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп среди близких родственников ( $OR = 10,07 \pm 1,04$  [1,29–78,29],  $p = 0,003$ ), при этом вероятность возникновения врожденной косолапости при действии данного фактора также была достаточно высокой ( $P_+ = 0,90$ ).

Выявленная нами взаимосвязь между врожденной косолапостью у ребенка и наличием отягощенной наследственности по аномалиям развития стоп у близких родственников находит отражение в ряде работ зарубежных авторов, выдвигающих генетическую теорию наследования данного заболевания [42]. В настоящее время генетическая теория является самой современной и получает все большую поддержку среди многочисленной группы исследователей [43–45].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наибольшую чувствительность, специфичность и причинно-следственную связь с возникновением врожденной косолапости имели факторы риска, связанные с неблагоприятным воздействием внешних факторов во время беременности — никотиновая зависимость у женщины и сопряженные с отягощенной наследственностью по врожденной патологии стоп у кровных родственников ( $p < 0,05$ ). Данные факторы риска, оказывая неблагоприятное влияние на формирование и развитие плода, являются причиной возникновения врожденной косолапости и могут быть использованы при прогнозировании и предупреждении (профилактике) возникновения врожденной косолапости.

Такие факторы риска, как острая респираторная вирусная инфекция во время беременности, анемия беременных, токсикоз беременных, имели низкую чувствительность, неудовлетворительную специфичность и не обнаруживали статистически значимой причинно-следственной связи с возникновением врожденной косолапости ( $p > 0,05$ ), и их не следует использовать в качестве прогностических.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

**Этическая экспертиза.** Исследование проводилось в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека» с поправками 2013 г. с соблюдением принципов безопасности исследования, информированности, добровольности, конфиденциальности.

**Информированное согласие.** Все пациенты или их законные представители подписали информированное согласие на участие в исследовании и публикацию данных без идентификации личности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Баиндурашвили А.Г., Кенис В.М., Чухраева И.Ю. К вопросу о ранней диагностике патологии опорно-двигательной системы у новорожденных детей. *Травматология и ортопедия России*. 2009;(3):108-110. doi: 10.17816/2311-2905-1891
2. Peterlein CD, Bosch M, Timmesfeld N, Fuchs-Winkelmann S. Parental internet search in the field of pediatric orthopedics. *Eur J Pediatr*. 2019;178(6):929-935. doi: 10.1007/s00431-019-03369-w
3. Cady R, Hennessey TA, Schwend RM. Diagnosis and Treatment of Idiopathic Congenital Clubfoot. *Pediatrics*. 2022;149(2):e2021055555. doi: 10.1542/peds.2021-055555
4. Савио Ш.Д., Махарджана М.А. Сравнение стандартного и ускоренного методов лечения идиопатической врожденной косолапости по Понсети: систематический обзор и метаанализ. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2020;8(4): 473-484. doi: 10.17816/PTORS35161
5. Крестьяшин И.В., Разумовский А.Ю., Крестьяшин В.М., Кужеливский И.И. Лечение деформации стоп у детей до 3 лет. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии*. 2020;13(4):348-352. doi: 10.18499/2070-478X-2020-13-4-348-352
6. Вавилов М.А., Бланинский В.Ф., Громов И.В. и др. Отдаленные результаты лечения атипичной косолапости по методу Понсети. *Гений ортопедии*. 2022;28(3):372-377. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-3-372-377
7. Баиндурашвили А.Г., Соловьева К.С., Залетина А.В., Лапкин Ю.А. Врожденные аномалии (пороки развития) и деформации костно-мышечной системы у детей. *Вестник травматологии и ортопедии им Н.Н. Приорова*. 2014;21(3):15-20. doi: 10.17816/vto20140315-20
8. Engesaeter LB. Increasing incidence of clubfoot: changes in the genes or the environment? *Acta Orthop*. 2006;77(6):837-938. doi: 10.1080/17453670610013105
9. Алимханова Р.С. Лечение врожденной косолапости у детей методом тяговых устройств. *Гений ортопедии*. 2003;(1):94-97.
10. Heck AL, Bray MS, Scott A, et al. Variation in CASP10 gene is associated with idiopathic talipes equinovarus. *J Pediatr Orthop*. 2005;25(5):598-602. doi: 10.1097/01.bpo.0000173248.96936.90
11. Kruse LM, Dobbs MB, Gurnett CA. Polygenic threshold model with sex dimorphism in clubfoot inheritance: the Carter effect. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90(12):2688-2694. doi: 10.2106/JBJS.G.01346
12. Омаров Г.Г., Румянцев Н.Ю., Круглов И.Ю. Оценка стоп с врожденной косолапостью в первые сутки жизни: статистический анализ 300 случаев. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2015;3(1):27-31. doi: 10.17816/PTORS3127-31
13. Zionts LE, Jew MH, Ebramzadeh E, Sangiorgio SN. The Influence of Sex and Laterality on Clubfoot Severity. *J Pediatr Orthop*. 2017;37(2):e129-e133. doi: 10.1097/BPO.0000000000000603
14. Крестьяшин В.М., Николаев С.Н., Летицецкая О.Ю. и др. Алгоритм лечения врожденной косолапости у детей с синдромом миелодисплазии. *Детская хирургия*. 2008;(4):12-14.
15. Arkin C, Ihnow S, Dias L, Swaroop VT. Midterm Results of the Ponseti Method for Treatment of Clubfoot in Patients With Spina Bifida. *J Pediatr Orthop*. 2018;38(10):e588-e592. doi: 10.1097/BPO.0000000000001248
16. Stoll C, Alembick Y, Dott B, Roth MP. Associated anomalies in cases with congenital clubfoot. *Am J Med Genet A*. 2020;182(9):2027-2036. doi: 10.1002/ajmg.a.61721
17. Esparza M, Tran E, Richards BS, Jet al. The Ponseti Method for the Treatment of Clubfeet Associated With Amniotic Band Syndrome: A Single Institution 20-Year Experience. *J Pediatr Orthop*. 2021;41(5):301-305. doi: 10.1097/BPO.0000000000001789
18. Badin D, Atwater LC, Dietz HC, Sponseller PD. Talipes Equinovarus in Loeys-Dietz Syndrome. *J Pediatr Orthop*. 2022;42(7):e777-e782. doi: 10.1097/BPO.0000000000002180
19. Хаматханова Е.М., Кучеров Ю.И. Эпидемиологические аспекты врожденных пороков развития. *Российский вестник перинатологии и педиатрии*. 2007;(6):35-39.

20. Вайнер А.С., Кудрявцева Е.А., Жечев Д.А. и др. Исследование ассоциации полиморфизма генов фолатного обмена с риском врожденных аномалий развития. *Мать и дитя в Кузбассе*. 2011;(3):10-14.
21. Honein MA, Paulozzi LJ, Moore CA. Family history, maternal smoking, and clubfoot: an indication of a gene-environment interaction. *Am J Epidemiol*. 2000;152(7):658-665. doi: 10.1093/aje/152.7.658
22. Dodwell E, Risoe P, Wright J. Factors Associated With Increased Risk of Clubfoot: A Norwegian National Cohort Analysis. *J Pediatr Orthop*. 2015;35(8):e104-e1049. doi: 10.1097/BPO.0000000000000449
23. Zhao J, Cai F, Liu P, et al. Gene Environment Interactions Between the COL9A1 Gene and Maternal Drinking of Alcohol Contribute to the Risk of Congenital Talipes Equinovarus. *Genet Test Mol Biomarkers*. 2021;25(1):48-54. doi: 10.1089/gtmb.2020.0196
24. Lou Y, Miao J, Li F, et al. Maternal smoking during pregnancy aggravated muscle phenotype in FHL1-/-y offspring mice similar to congenital clubfoot through P2RX7-mediated pyroptosis. *Toxicol Lett*. 2021;345:54-60. doi: 10.1016/j.toxlet.2021.04.014
25. Chen C, Kaushal N, Scher DM, et al. Clubfoot Etiology: A Meta-Analysis and Systematic Review of Observational and Randomized Trials. *J Pediatr Orthop*. 2018;38(8):e462-e469. doi: 10.1097/BPO.0000000000001191
26. Коныхов М.П., Лапкин Ю.А., Клычкова И.Ю., Дрожжина Л.А. Врожденные и приобретенные деформации стоп у детей и подростков. *Пособие для врачей*. СПб; 2000:48.
27. Ревкович А.С., Рыжиков Д.В., Анастасиева Е.А. и др. Рецидивы врожденной косолапости: обзор литературы и анализ собственных наблюдений. *Современные проблемы науки и образования*. 2016;(6). Доступно по: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=25680>. Ссылка активна на 05.03.2024.
28. Diméglio A, Bensahel H, Souchet P, et al. Classification of clubfoot. *J Pediatr Orthop B*. 1995;4(2):129-136. doi: 10.1097/01202412-199504020-00002
29. Woo SL, Gomez MA, Sites TJ, et al. The biomechanical and morphological changes in the medial collateral ligament of the rabbit after immobilization and remobilization. *J Bone Joint Surg Am*. 1987;69(8):1200-1211.
30. Roye DP Jr, Roye BD. Idiopathic congenital talipes equinovarus. *J Am Acad Orthop Surg*. 2002;10(4):239-248. doi: 10.5435/00124635-200207000-00002
31. Cardy AH, Barker S, Chesney D, et al. Pedigree analysis and epidemiological features of idiopathic congenital talipes equinovarus in the United Kingdom: a case-control study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2007;8:62. doi: 10.1186/1471-2474-8-62
32. Kawashima T, Uththoff HK. Development of the foot in prenatal life in relation to idiopathic club foot. *J Pediatr Orthop*. 1990;10(2):232-237.
33. Псянчин Т.С. *Клиническое и нейрофизиологическое обоснование хирургической тактики при врожденной косолапости у детей: автореф. дис... канд. мед. наук*. Уфа; 1996:17. Доступно по: <https://medical-diss.com/docreader/441536/a?#?page=1>. Ссылка активна на 05.03.2024.
34. Вавилов М.А. *Хирургическое лечение тяжёлой косолапости у детей: автореф. дис... канд. мед. наук*. Ярославль; 2007:15. Доступно по: <https://medical-diss.com/docreader/436275/a?#?page=1>. Ссылка активна на 05.03.2024.
35. Клычкова И.Ю., Винокурова Т.С., Гусева И.А. Электрофизиологическое обоснование эффективности оперативного лечения врожденной косолапости. *Травматология и ортопедия России*. 2012;18(3):57-66. doi: 10.21823/2311-2905-2012--3-57-66
36. Тимаев М.Х., Сертакова А.В., Куркин С. А. и др. Косолапость у детей (обзор). *Саратовский научно-медицинский журнал*. 2017;13(3):514-520.
37. Шамик В.Б., Рябоконов С.Г. Эквинусная деформация стоп у детей с церебральным параличом: вопросы диагностики, лечения. *Медицинский вестник Юга России*. 2018;9(4):6-13. doi: 10.21886/2219-8075-2018-9-4-6-13
38. Vuyon-Scott R, Sharpe P, Hasler C, et al. A South Australian population-based study of congenital talipes equinovarus. *Paediatr Perinat Epidemiol*. 2005;19(3):227-37. doi: 10.1111/j.1365-3016.2005.00647.x
39. Sommer A, Blanton SH, Weymouth K, et al. Smoking, the xenobiotic pathway, and clubfoot. *Birth Defects Res A Clin Mol Teratol*. 2011;91(1):20-28. doi: 10.1002/bdra.20742
40. Кельмансон И.А. Курение матери во время беременности как фактор риска развития плода и ребенка. *Врач*. 2017;(8):2-5.
41. Lambers DS, Clark KE. The maternal and fetal physiologic effects of nicotine. *Semin Perinatol*. 1996;20(2):115-126. doi: 10.1016/s0146-0005(96)80079-6
42. Sharp L, Miedzybrodzka Z, Cardy AH, et al. The C677T polymorphism in the methylenetetrahydrofolate reductase gene (MTHFR), maternal use of folic acid supplements, and risk of isolated clubfoot: A case-parent-triad analysis. *Am J Epidemiol*. 2006;164(9):852-861. doi: 10.1093/aje/kwj285
43. Basit S, Khoshhal KI. Genetics of clubfoot; recent progress and future perspectives. *Eur J Med Genet*. 2018;61(2):107-113. doi: 10.1016/j.ejmg.2017.09.006
44. Khanshour AM, Kidane YH, Kozlitina J, et al. Genetic association and characterization of FSTL5 in isolated clubfoot. *Hum Mol Genet*. 2021 21;29(22):3717-3728. doi: 10.1093/hmg/ddaa236
45. Hordyjewska-Kowalczyk E, Nowosad K, Jamsheer A, Tylzanowski P. Genotype-phenotype correlation in clubfoot (talipes equinovarus). *J Med Genet*. 2022;59(3):209-219. doi: 10.1136/jmedgenet-2021-108040

Статья поступила 19.02.2024; одобрена после рецензирования 01.03.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 19.02.2024; approved after reviewing 01.03.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Максим Валерьевич Власов — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, Footdoc@mail.ru;

Ирина Владимировна Мусихина — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, i\_musihina@mail.ru.

#### Information about the authors:

Maxim V. Vlasov — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Footdoc@mail.ru;

Irina V. Musikhina — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, surgeon, i\_musihina@mail.ru.

## Научная статья

УДК 616.71-007.234-06:616.711.5-001.5-021.3-089.22:615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-542-551>

## Сравнительный анализ результатов хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудопоясничной локализации

В.Д. Синявин<sup>1</sup>, В.В. Рерих<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup> Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия

<sup>2</sup> Новосибирский государственный медицинский университет, Новосибирск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Виктор Викторович Рерих, [rvv\\_nsk@mail.ru](mailto:rvv_nsk@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Хирургические методы лечения остеопоротических взрывных переломов тел позвонков имеют свои преимущества и недостатки. Циркулярная стабилизация и корригирующие вертебротомии для пожилых пациентов являются высокоинвазивными и несут в себе больший хирургический риск. В то же время применение малоинвазивных методов часто приводит к рецидиву деформации. Таким образом, в лечении пациентов с такой патологией необходим выбор способа хирургического лечения, позволяющего достичь оптимальных результатов.

**Цель работы** — сравнить результаты хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудопоясничной локализации разработанным способом и методами циркулярной и гибридной стабилизации на основании клинических и рентгенологических критериев.

**Материалы и методы.** Исследование является ретропроспективным. Сформировано три группы пациентов в соответствии с видом оперативного вмешательства. Критерии включения: наличие первичного остеопороза, отсутствие остеотропной терапии до операции, остеопоротические переломы (тип OF3 и OF4) тел позвонков грудопоясничной локализации (Th10–L2). Период наблюдения составил 12 мес. Оценивали следующие критерии: величина коррекции кифоза (по методу Cobb), величина остаточной послеоперационной кифотической деформации, а также её рецидив в отдаленном послеоперационном периоде; сагиттальный баланс туловища (индекс Bargey), субъективная оценка состояния пациента (по болевой шкале VAS). Оценку качества жизни не проводили.

**Результаты.** Статистически значимой разницы в динамике сагиттального баланса в контрольный срок наблюдения между группами выявлено не было ( $p > 0,99$ ). Не было отмечено разницы между группами и в клинических исходах (VAS) в контрольный срок наблюдения ( $p > 0,05$ ). Определена статистически значимая разница в величинах кифотической деформации и ее коррекции в указанные сроки послеоперационного наблюдения между группами гибридной фиксации и группой корригирующей вертебротомии. С группой циркулярной стабилизации разницы не обнаружено.

**Обсуждение.** В связи с высокими рисками неблагоприятных исходов вентрального спондилодеза, в частности, проседания имплантата, для исключения выполнения вентрального спондилодеза мы применили способ коррекции локальной кифотической деформации и заднего спондилодеза аутокопией. Предлагаемый авторами способ коррекции локальной кифотической деформации в лечении пациентов со взрывными остеопоротическими переломами тел позвонков сочетает удовлетворительную коррекцию локального кифоза с минимальной хирургической агрессией, что снижает риски осложнений и неблагоприятных исходов. Предлагаемый метод может сочетаться и с гибридной фиксацией.

**Заключение.** Разработанный способ коррекции локальной кифотической деформации в лечении взрывных остеопоротических переломов тел позвонков в сравнении с циркулярной и гибридной стабилизацией демонстрирует удовлетворительную коррекцию локального кифоза, снижает риски осложнений и неблагоприятных исходов.

**Ключевые слова:** взрывной перелом, остеопороз, гибридная стабилизация, циркулярная стабилизация, вертебротомия, кифоз, сагиттальный баланс

**Для цитирования:** Синявин В.Д., Рерих В.В. Сравнительный анализ результатов хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудопоясничной локализации. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):542-551. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-542-551. EDN: ALWBMY.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-542-551>



## Comparative analysis of surgical treatment results for osteoporotic burst fractures of thoracolumbar vertebral bodies

V.D. Sinyavin<sup>1</sup>, V.V. Rerikh<sup>1,2</sup>✉

<sup>1</sup> Novosibirsk Tsivyan Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russian Federation

<sup>2</sup> Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk, Russian Federation

**Corresponding author:** Victor V. Rerikh, [rvv\\_nsk@mail.ru](mailto:rvv_nsk@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** Surgical methods for osteoporotic burst vertebral body fracture repair have their advantages and shortcomings. The use of circumferential stabilization and corrective vertebrotomies in elderly patients is highly invasive and carries great surgical risk. On the other hand, minimally invasive methods lead to recurrence of the deformity. Thus, in the treatment of patients with such pathology, it is necessary to choose a surgical method that allows achieving optimal results.

**Purpose** of the work was to compare the results of surgical treatment for osteoporotic burst fractures in thoracolumbar vertebral bodies using the developed method and methods of circular and hybrid stabilization based on clinical and radiological criteria.

**Materials and methods** The study was retrospective. Three groups of patients were formed according to the type of surgical intervention. Inclusion criteria were patients with primary osteoporosis who did not receive osteotropic therapy before surgery, with osteoporotic fractures (type OF3 and OF4) of the vertebral bodies of the thoracolumbar location (Th10–L2). The follow-up period was 12 months. The following criteria were assessed: the amount of kyphosis correction (according to the Cobb method), the amount of residual postoperative kyphotic deformity, as well as its recurrence in the long-term postoperative period; sagittal balance of the torso (Barrey index), subjective evaluation of the patient's condition (VAS). Quality of life assessment was not performed.

**Results** There were no statistically significant differences in the dynamics of sagittal balance during the follow-up period between the groups ( $p > 0.99$ ). There was no difference between groups in clinical outcomes (VAS) at follow-up ( $p > 0.05$ ). A statistically significant difference in the magnitude of kyphotic deformity and its correction in the specified postoperative periods was revealed between the hybrid fixation groups and the corrective vertebrotomy group. No difference was found with the circular stabilization group.

**Discussion** Due to the high risks of poor outcomes of anterior spinal fusion, in particular, implant subsidence, to avoid anterior spinal fusion, we used a method of focal kyphosis correction and posterior spinal fusion with autologous bone. The method proposed by the authors for the correction of focal kyphotic deformity in the treatment of patients with osteoporotic burst fractures of the vertebral bodies combines satisfactory correction of focal kyphosis with minimal surgical invasiveness, which reduces the risks of complications and poor outcomes. The proposed method may also be combined with hybrid fixation.

**Conclusion** The developed method for focal kyphotic deformity correction in the treatment of osteoporotic burst fractures of vertebral bodies provides satisfactory correction of focal kyphosis, reduces the risks of complications and poor outcomes in comparison with circular and hybrid stabilization.

**Keywords:** burst fracture, osteoporosis, hybrid stabilization, circular stabilization, vertebrotomy, kyphosis, sagittal balance

**For citation:** Sinyavin VD, Rerikh VV. Comparative analysis of surgical treatment results for osteoporotic burst fractures of thoracolumbar vertebral bodies. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):542-551. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-542-551

## ВВЕДЕНИЕ

В современном мире увеличивается частота остеопоротических компрессионных переломов позвонков, а вместе с этим и число пациентов, обращающихся по поводу острой и хронической боли и прогрессирующих деформаций позвоночника [1]. Более чем в 60 % случаев исходом данных повреждений является формирование тяжелых болезненных кифотических деформаций, возникающих вследствие формирования псевдоартроза тела поврежденного позвонка [2, 3]. Поэтому перед спинальным хирургами стоит задача подобрать рациональные методы оперативного вмешательства, позволяющие избежать дальнейшей компрессии поврежденного позвонка, достичь коррекции локального кифоза, создать условия для стабилизации и консолидации перелома, а также предотвратить неврологические нарушения. Известные способы циркулярной стабилизации с применением вентрального спондилодеза у пожилых пациентов с сопутствующим неблагоприятным коморбидным фоном являются высокоинвазивными и несут в себе больший хирургический риск [4, 5, 6, 7]. Малоинвазивные способы задней стабилизации в сочетании с вертебропластикой тела поврежденного позвонка, представленные как альтернатива циркулярной фиксации [8, 9], в ряде случаев приводят к неблагоприятным исходам, таким как потеря коррекции и рецидив болевого синдрома [10], что нашло подтверждение и в нашем предыдущем исследовании [11]. В специфических и сложных случаях, связанных с тяжелым кифозом (более 30°) и/или сагиттальным дисбалансом, рекомендуются остеотомии позвонков [12, 13]. Эти методы обладают высокой способностью коррекции деформации, но технически сложны и имеют высокие риски осложнений, что особенно важно для пациентов старшей возрастной группы.

**Цель работы** — сравнить результаты хирургического лечения взрывных остеопоротических переломов тел позвонков грудного отдела локализации разработанным способом и методами циркулярной и гибридной стабилизации на основании клинических и рентгенологических критериев.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняло участие 52 пациента. Все поступали в клинику в порядке оказания неотложной помощи. На основании клинического, рентгенологического методов обследования, по данным МСКТ-исследования выявлены переломы тел позвонков грудного отдела позвоночника на фоне остеопороза. Среди пациентов было 40 женщин (77,7 %) и 12 мужчин (22,3 %). Средний возраст составил  $(64,36 \pm 6,74)$  года. Основными причинами остеопоротических переломов была низкоэнергетическая травма (падения с высоты собственного роста на спину или ягодицы) в 68,4 % случаев и физическая нагрузка (работа в наклон, поднятие тяжести) — в 31,6 %.

Путем простой рандомизации все пациенты разделены на три группы. Группе 1 ( $n = 17$ ) выполнена задняя стабилизация в сочетании с цементной пластикой или остеопластикой тела поврежденного позвонка (гибридная фиксация). Группе 2 ( $n = 18$ ) проведена задняя стабилизация в сочетании вентральным спондилодезом (циркулярная стабилизация). Группы 1 и 2 являются контрольными. Пациентам группы 3 ( $n = 17$ , группа исследования) выполнена задняя протяженная фиксация в сочетании с корригирующей вертебротомией (авторский способ).

Сравнительный анализ проведен по ряду рентгенологических и клинических критериев.

Коррекцию локальной кифотической деформации (Патент на изобретение № 2810182) осуществляли следующим образом. На предоперационном этапе (рис. 1, а) измеряли угол кифотической деформации по Cobb. Далее определяли величину резекции суставных пар позвонков на уровне повреждения.

Для этого на уровне повреждения с обеих сторон расчерчивали угол резекции, который соответствует углу кифотической деформации (рис. 1, б):

- с одной стороны суставных пар позвонков определяли вершину угла, которой является каудо-дорзальная точка тела вышележащего позвонка от поврежденного;
- следующую точку располагали на латеральной части нижнего суставного отростка вышележащего позвонка от поврежденного;
- конечную точку угла определяли по латеральной поверхности нижнего края верхнего суставного отростка поврежденного позвонка.

Далее проецировали эти точки на противоположную сторону суставных пар позвонков (точки, отмеченные на суставных отростках, формируют основание угла резекции). Производили измерение высоты основания угла клиновидного дефекта, чтобы в дальнейшем на высоту основания произвести резекцию.

Во время операции сначала в соответствии с анатомическими ориентирами под рентгеновским контролем устанавливали транспедикулярные винты, не менее чем на 2 сегмента выше и ниже вершины локальной деформации. Затем, согласно предоперационному планированию, проводили остеотомию на полный поперечный размер суставных отростков с обеих сторон, при этом нижние суставные отростки вышележащего позвонка и верхние суставные отростки поврежденного позвонка удаляли в плоскости к вершине угла резекции по направлению кпереди и вверх, тем самым формируя клиновидный дефект (рис. 1, в). Аналогично проводили резекцию суставных пар с другой стороны. Далее путем постуральной экстензии смыкали нижний суставной отросток вышележащего позвонка с верхним суставным отростком поврежденного позвонка, тем самым достигая коррекции кифотической деформации, при этом угол становится равен  $0^\circ$  по Cobb (рис. 1, г, д). В завершение проводили установку и фиксацию стержней транспедикулярной конструкции в головках винтов и окончательный монтаж конструкции, при необходимости проводили дополнительную контракцию для улучшения контакта костных поверхностей смежных позвонков в зоне резекции. Выполняли ревизию положения спинномозговых корешков. Костный трансплантат, полученный в ходе резекции, укладывали по задней поверхности с перекрытием линии резекции.

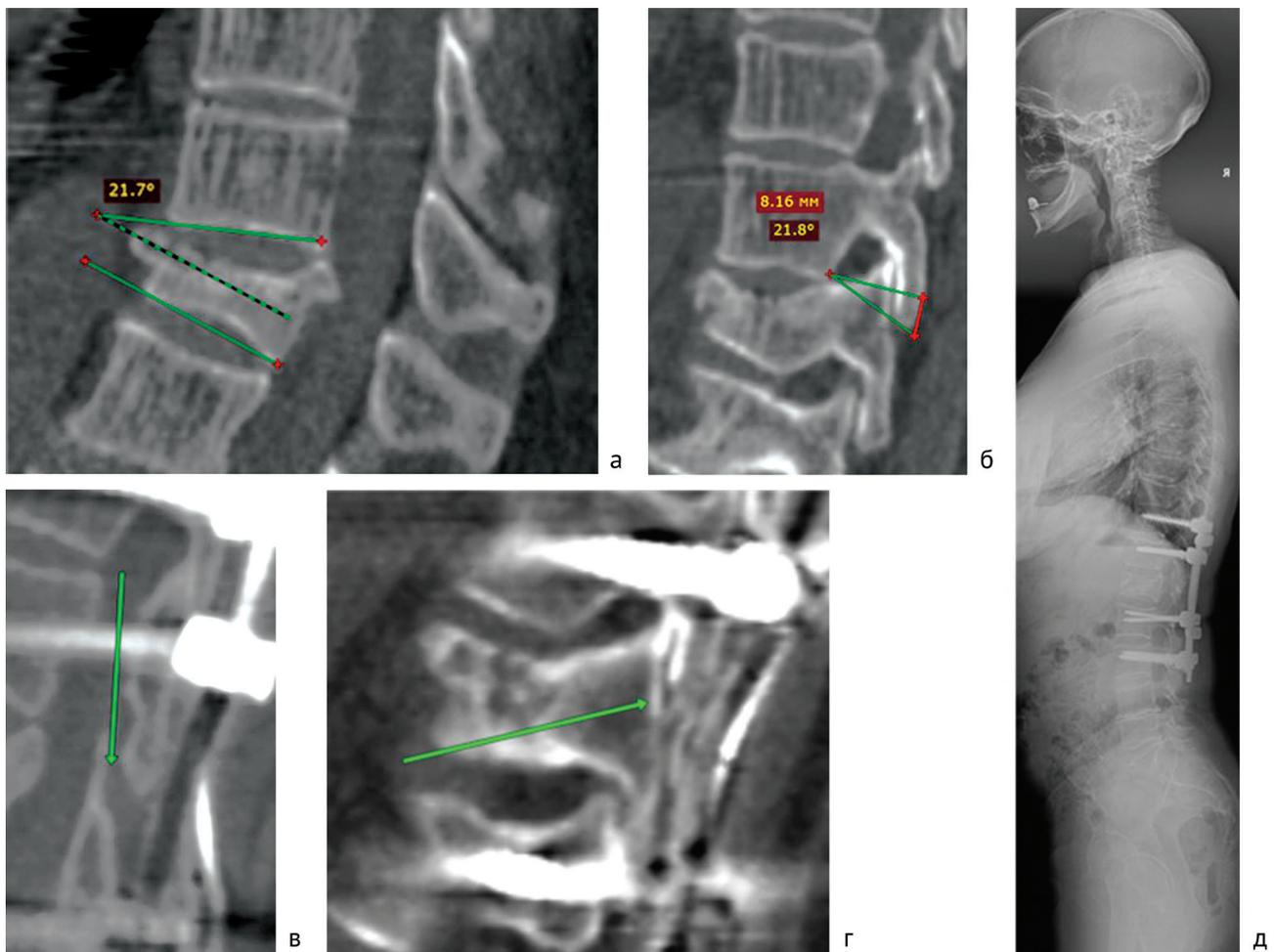


Рис. 1. Этапы выполнения способа коррекции локальной кифотической деформации: а — измерение угла кифотической деформации; б — вычисление угла резекции; в — зона резекции; г, д — смыкание дефекта, коррекция кифотической деформации

Критерии включения: впервые выявленные неосложненные переломы тел позвонков, возникшие на фоне остеопороза грудного отдела позвоночника (Th10–L2); полные и неполные взрывные патологические переломы (тип OF3 и OF4 по DGOU) [14]; Т-критерий по данным денситометрии от  $-2,5$  и ниже; отсутствие остеотропной терапии до операции; период послеоперационного наблюдения не менее 12 мес.; исходная величина кифотической деформации от  $20^\circ$  и выше.

Критерии исключения: осложненные повреждения позвоночника (с неврологическим дефицитом); наличие вторичного остеопороза.

Оценивали следующие критерии: величину коррекции кифоза (по методу Cobb), величину остаточной послеоперационной кифотической деформации. Не полной считали коррекцию, если её величина составляла  $> 5^\circ$ . Оценивали рецидивы деформации на сроке 12 мес. Деформацию считали рецидивирующей, если на всём протяжении послеоперационного наблюдения она возросла более чем на  $5^\circ$  (ошибка в точности рентгенологических измерений межсегментарных отношений —  $5^\circ$ ). Сагиттальный профиль оценивали до, после оперативного вмешательства и через 12 мес. после операции, учитывали параметр Barrey index C7/SFD ( $-0,9 \pm 1$ ). Сагиттальный баланс был разделен следующим образом: сбалансированный (C7/SFD близко к 0); компенсированный дисбаланс ( $0,5 < C7/SFD < 1$ ); декомпенсированный дисбаланс ( $C7/SFD > 1$ ) [15]. Субъективную оценку состояния пациента оценивали по болевой шкале VAS. Оценку качества жизни не проводили. Средние сроки с момента получения травмы до оперативного вмешательства составили  $15 \pm 7$  дней. Продолжительность проведенных операций и кровопотерю оценивали по данным медицинской документации. Всем пациентам после операции была рекомендована остеотропная терапия, однако оценка её эффективности в послеоперационном периоде в настоящем исследовании не проведена.

**Статистические методы.** Непрерывные данные возраста, койко-дней, смещений центров ротаций и балльных шкал ВАШ, Harris были проверены на соответствие нормальному распределению методом Колмогорова. Ввиду малого числа нормальных данных сравнение проводили непараметрическими методами.

Для описания непрерывных показателей в качестве основных статистик рассчитывали медианы [первый квартиль; третий квартиль] (МЕД [Q1; Q3]), а в качестве вспомогательных — среднее  $\pm$  стандартное отклонение (СРЕД  $\pm$  СО) и минимальное – максимальное значения. У категориальных и бинарных показателей определяли количество пациентов (частота) для каждой категории, для частот бинарных показателей величины и коррекции кифоза рассчитывали погрешность 95 % доверительного интервала (95 % ДИ). Сравнения непрерывных показателей между группами проводили с использованием U-критерием Манна – Уитни. Для оценки среднего различия между распределениями (effect size) рассчитывали медиану попарных разностей значений между группами (пМЕД) с построением 95 % ДИ и стандартизованную разницу средних (СРС). Категориальные показатели сравнивали с помощью точного двустороннего критерия Фишера. Проверку статистических гипотез проводили при критическом уровне значимости  $p = 0,05$ , т.е. различие считалось статистически значимым, если  $p < 0,05$ . Статистические расчёты проводили на языке R version 4.1.3 2022-03-10 (Vienna, Austria).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Величина исходной кифотической деформации в первой группе была ( $22,06 \pm 1,92$ ) $^\circ$  ( $20-27^\circ$ ), во второй — ( $27,17 \pm 5,36$ ) $^\circ$  ( $20-35^\circ$ ), в третьей — ( $25,94 \pm 5,24$ ) $^\circ$  ( $20-35^\circ$ ). Средняя величина Т-критерия по данным денситометрии во всех группах — ( $3,18 \pm 0,59$ ). Разницы по сагиттальному профилю (сбалансированный / компенсированный / декомпенсированный) до операции между группами выявлено не было: в группах 1 и 3  $p = 0,16$ , в группах 2 и 3  $p = 0,302$ . Внутри групп отмечено различие в динамике кифоза, в группе 1 (потеря коррекции)  $p = 0,011$  (табл. 1, рис. 2). Выявлена статистически значимая разница в величинах кифотической деформации и ее коррекции в указанные сроки послеоперационного наблюдения между группами 1 и 3 (табл. 1), при сравнении групп 2 и 3 различия не выявлено (табл. 1, рис. 3). Статистически значимой разницы в динамике сагиттального баланса в контрольный срок наблюдения между группами 1 и 3, 2 и 3 выявлено не было ( $p > 0,99$ ) (рис. 4). Не было выявлено различия между группами и в клинических исходах (VAS) в контрольный срок наблюдения ( $p > 0,05$ ) (рис. 5).

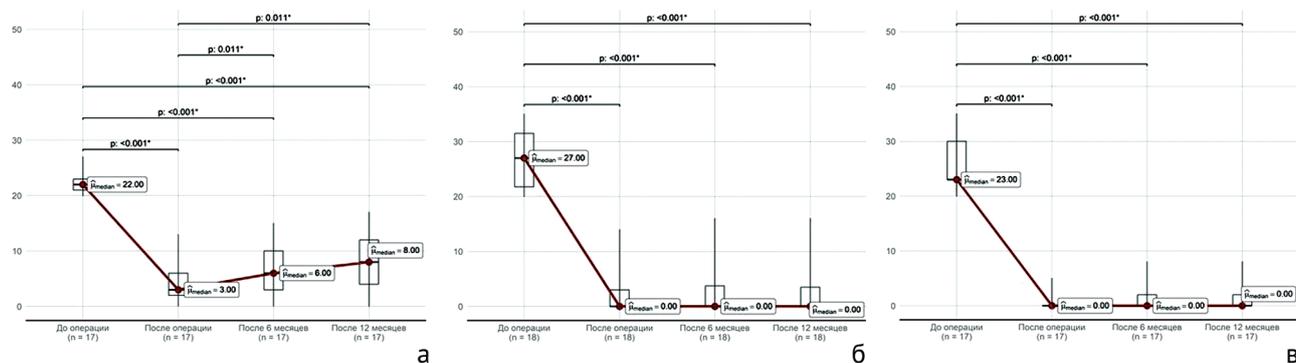


Рис. 2. Динамика величин кифоза внутри групп: а — группа 1; б — группа 2; в — группа 3

Таблица 1

Сравнение величин коррекции и динамика локального кифоза между группами

Название показателя	Группа 1 (n = 17)	Группа 2 (n = 18)	Группа 3 (n = 17)	Сравнение	
				Различие	p-уровень
Кифоз до операции, МЕД [Q1; Q3] СРЕД ± СО (МИН – МАКС)	22 [21; 23] 22,06 ± 1,92 (20 – 27)	27 [21,75; 31,5] 27,17 ± 5,36 (20 – 35)	23 [23; 30] 25,94 ± 5,24 (20 – 35)	пМЕД [95 % ДИ]: 2 [1; 8] СО [95 % ДИ]: -0,98 [-1,7; -0,27]* пМЕД [95 % ДИ]: -1 [-6; 3] СО [95 % ДИ]: 0,23 [-0,43; 0,9]**	0,012*, 0,584**
Кифоз после операции, МЕД [Q1; Q3] СРЕД ± СО (МИН – МАКС)	3 [2; 6] 4,24 ± 3,51 (0 – 13)	0 [0; 3] 2,5 ± 4,02 (0 – 14)	0 [0; 0] 0,47 ± 1,37 (0 – 5)	пМЕД [95 % ДИ]: -3 [-6; -2] СО [95 % ДИ]: 1,41 [0,66; 2,17]* пМЕД [95 % ДИ]: 0 [-2; 0] СО [95 % ДИ]: 0,67 [-0,01; 1,35]**	< 0,001*, 0,040**
Кифоз после 6 месяцев, МЕД [Q1; Q3] СРЕД ± СО (МИН – МАКС)	6 [3; 10] 7,06 ± 4,64 (0 – 15)	0 [0; 3,75] 3,11 ± 4,97 (0 – 16)	0 [0; 2] 1,24 ± 2,28 (0 – 8)	пМЕД [95 % ДИ]: -6 [-9; -3] СО [95 % ДИ]: 1,59 [0,82; 2,37]* пМЕД [95 % ДИ]: 0 [-2; 0] СО [95 % ДИ]: 0,48 [-0,19; 1,15]**	< 0,001*, 0,304**
Кифоз после 12 месяцев, МЕД [Q1; Q3] СРЕД ± СО (МИН – МАКС)	8 [4; 12] 7,71 ± 5,27 (0 – 17)	0 [0; 3,5] 3,11 ± 5,06 (0 – 16)	0 [0; 2] 1,29 ± 2,37 (0 – 8)	пМЕД [95 % ДИ]: -6 [-9; -3] СО [95 % ДИ]: 1,57 [0,8; 2,35]* пМЕД [95 % ДИ]: 0 [-2; 0] СО [95 % ДИ]: 0,46 [-0,22; 1,13]**	< 0,001*, 0,331**

Примечание: \* – сравнение групп 1 и 3 (гибридная фиксация и корригирующая вертебротомия); \*\* – сравнение групп 2 и 3 (циркулярная фиксация и корригирующая вертебротомия).

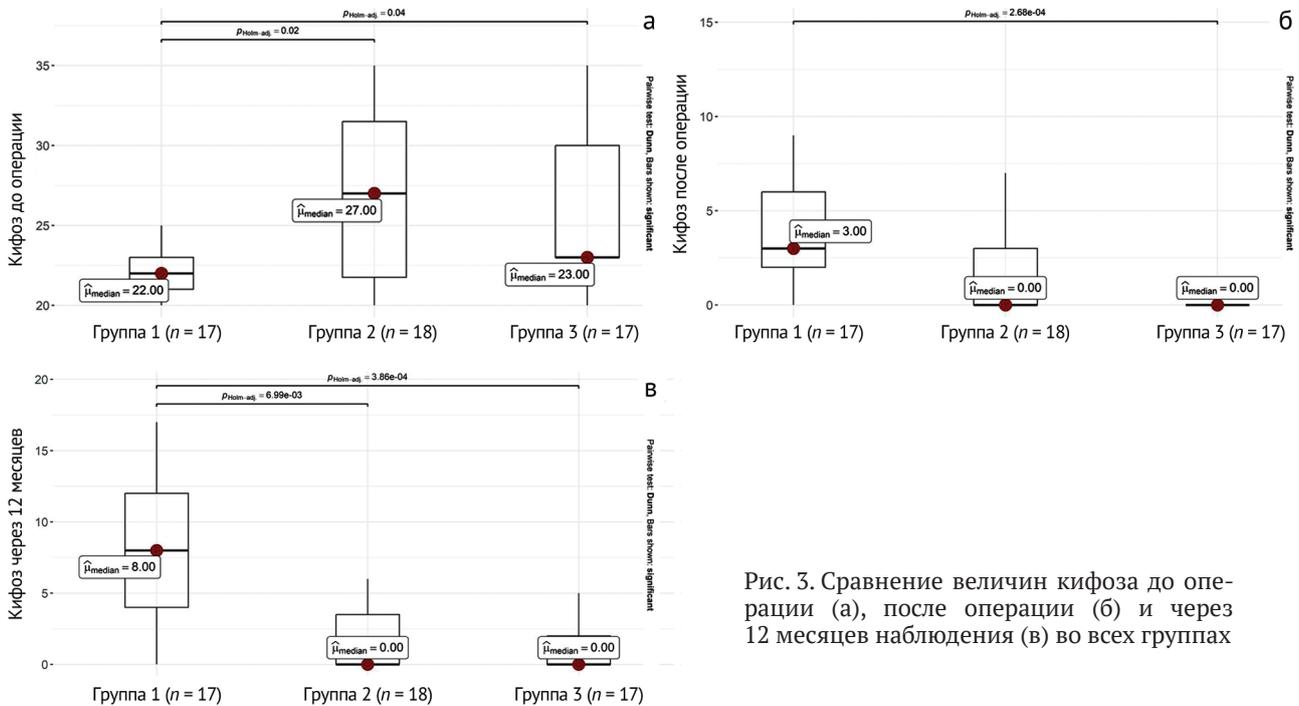


Рис. 3. Сравнение величин кифоза до операции (а), после операции (б) и через 12 месяцев наблюдения (в) во всех группах

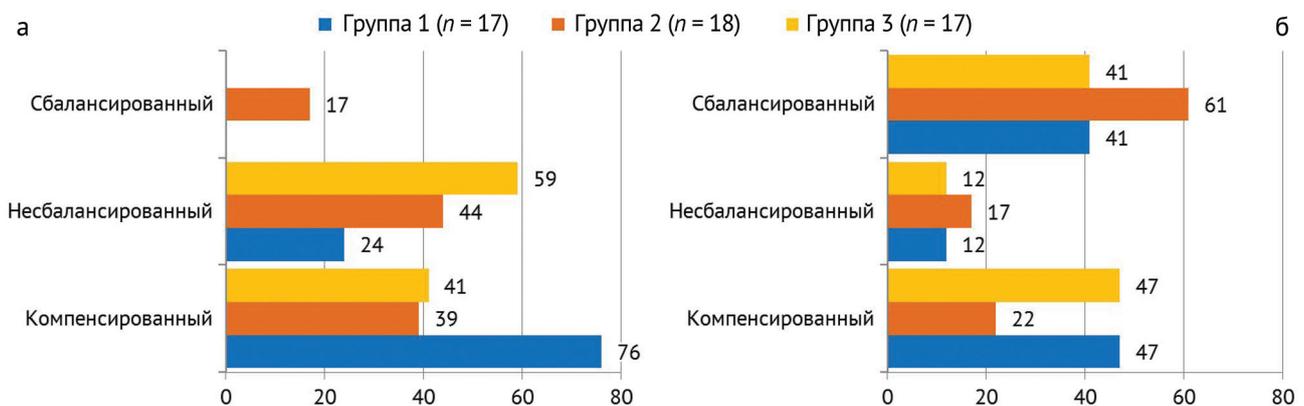


Рис. 4. Динамика сагиттального профиля до операции (а) и после операции (б) во всех группах

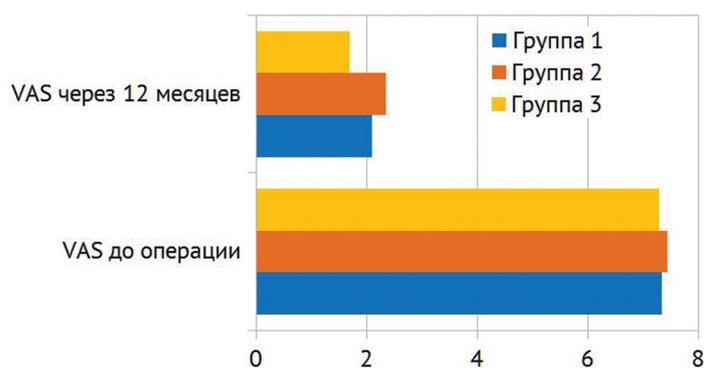


Рис. 5. Сравнение величины показателей VAS в группах

Осложнений в группах 1 и 3 не было. В группе 2 ранний послеоперационный период у 2 пациентов (11,1 %) осложнился брахиоплексопатией, у 1 пациента (5,5 %) выявлена госпитальная пневмония. Средняя кровопотеря в группе 1 составила 233,6 мл, в группе 2 — 531,3 мл, в группе 3 — 329,2 мл. Среднее время оперативного вмешательства в группе 1 составило 96,6 мин., в группе 2 — 262,3 мин.; в группе 3 — 153,5 мин.

### ОБСУЖДЕНИЕ

Классификация остеотомий позвоночника, предложенная F. Schwab et al [16], а также особенности и принципы применения хирургических способов остаются прежними к их использованию при повреждениях позвонков на фоне остеопороза. Существует способ вертебротомии Smith – Peterson [17, 18], заключающийся в резекции минимум трех остистых отростков, отделении желтой связки и сечении во фронтальной плоскости суставных поверхностей обеих пар суставных отростков. Метод предполагает использование дорсальных отделов тела позвонка (средняя колонна) в качестве точки вращения при коррекции деформации через заблокированный межпозвонковый диск. Результатом является удлинение передней и укорочение задней колонн позвоночника. При этом происходит разрыв передней продольной связки и расхождение тел позвонков с формированием некоторого пространства между ними. Манипуляция сопровождается высоким риском повреждения крупных сосудов. Также недостатком данного способа является неполное смыкание костного дефекта, что не обеспечивает консолидацию перелома и сращение и, как следствие, позвоночник остается в нестабильном положении. Данному способу присуща низкая величина коррекции деформации (около 10°) и высокая травматичность, что обуславливает длительный послеоперационный период и высокий риск инфицирования [19]. Наряду с этим, существует способ корригирующей вертебротомии Ponte [20, 21], его выполняют в грудном отделе позвоночника (11–13 уровней), остистые и суставные отростки удаляют полностью, производят широкую резекцию полудужек, желтую связку удаляют полностью, резецируют корни дужек. Недостатком данного способа является ограничение по его применению (только на грудном отделе позвоночника). Высокая травматичность при его выполнении, резекция большого объема костных структур, сопровождающаяся значительной кровопотерей, увеличивают продолжительность послеоперационного ухода и риск инфицирования. Позвоночник остается в нестабильном положении за счет резекции суставных отростков, выполняемой в переднезаднем направлении до полного иссечения.

В ряде исследований проведена оценка клинических и рентгенологических результатов, осложнений и исходов субтракционной остеотомии (PSO), включая авторские модификации [22, 23, 24]. В каждом из них отмечено удовлетворительное восстановление локального кифоза и сагиттального баланса. Тем не менее, авторы делают особый акцент на пациентов с неврологическим дефицитом, возникшим на фоне травмы, для которых важно проведение декомпрессии невралгических структур. Поэтому ввиду высокой травматичности выполнение данной оперативной методики у пациентов с неосложненной патологией является излишним [25, 26, 27].

При тяжелом кифозе некоторые исследователи также пытались исправить сагиттальный дисбаланс с помощью VCR. В двухцентровом ретроспективном исследовании, включавшем 17 пациентов, результаты показали значительное улучшение сегментарного кифоза и регресс болевого синдрома [28]. В пятилетнем исследовании, включавшем 109 пациентов, T. Pehlivanoglu et al. [29] предположили, что VCR в сочетании с имплантацией телескопического кейджа является безопасной и эффективной операцией, которая значительно улучшает клинические результаты за счет декомпрессии и реконструкции резецированного позвонка. Телескопический кейдж обеспечивает стабилизацию вентральной колонны, минимизируя нагрузку на заднюю конструкцию [30]. В ретроспективном исследовании S. Sehmisch et al. [31] применяли технику VCR на грудном отделе позвоночника у пациентов с остеопоротическими переломами и посттравматическими кифозами более 45°. Период наблюдения составил 36 месяцев. У всех пациентов выявлена коррекция кифотической деформации на  $(20 \pm 10)^\circ$  и снижение болевого синдрома с  $(8,6 \pm 2,0)$  по VAS до  $(5,0 \pm 1,4)$ . Средняя величина кифоза составила  $(25 \pm 14)^\circ$  (5–53°). Костный блок достигнут в те-

чение 6 мес. Анализ индекса инвалидности Освестри (ODI) перед операцией показал тяжелые нарушения у двух пациентов (41–60 %), у пяти — очень тяжелые функциональные нарушения (61–80 %) и у трех пациентов — полное функциональное нарушение (81–100 %). После операции шесть пациентов сообщили о тяжелых нарушениях (41–60 %), три — об очень тяжелых и один пациент — о полном функциональном нарушении.

В работе Z. Xu et al. [32] представлено ретроспективное исследование с участием 238 пациентов с застарелыми остеопоротическими переломами, 48 из которых имели тяжелую кифотическую деформацию. Послеоперационное наблюдение во всех группах проводили до 38 мес. По оценке VAS болевой синдром у всех пациентов снизился до 2 баллов ( $2,12 \pm 0,74$ ), индекс инвалидизации упал с 70 ( $70,18 \pm 2,24$ ) до 40 ( $40,09 \pm 2,24$ ). В зависимости от уровня кифоза и неврологического дефицита проводили операции Ponte, SPO, PSO, VCR. При использовании всех методик авторы достигли удовлетворительных результатов, что соответствует результатам работ других исследователей [33, 34, 35, 36]. Однако VCR требует более высокого уровня хирургических навыков и более длительного обучения хирургов [37]. K. Tomita et al. [38] сообщают, что укорочение задней колонны можно разделить на три интервала: безопасный включает укорочение позвоночника до 1/3 сегмента, характеризуется отсутствием деформации дурального мешка или спинного мозга; относительно безопасный включает укорочение позвоночника от 1/3 до 2/3 сегмента, характеризуется гофрированием дурального мешка без деформации спинного мозга; опасный вариант включает укорочение сегмента позвоночника более чем на 2/3 сегмента, что вызывает деформацию дурального мешка и спинного мозга с неврологическими нарушениями. Несмотря на высокую степень коррекции деформации, трехколонные вертебротомии сопровождаются длительной протяженностью хирургической сессии, большой кровопотерей и объемом резекции костной ткани, а также риском ятрогенных неврологических [39] и механических осложнений [40, 41].

Преимущества предложенного нами способа по сравнению с существующими вариантами остеотомий позвоночника заключаются в том, что способ не имеет ограничений по применению и может быть выполнен на любом отделе позвоночника. Способ малотравматичный, так как резецируют небольшой объем костных структур с минимальной кровопотерей, что обеспечивает сокращение продолжительности периода раннего послеоперационного наблюдения и снижает риск инфицирования, позвоночник остается в стабильном положении. Способ обеспечивает запланированную коррекцию локального кифоза в сагиттальной плоскости, минимальный объем резекции костной ткани, плотный контакт резецированных участков смежных позвонков в положении достигнутой коррекции с формированием заднего костного блока.

В проведенном нами исследовании в ходе сравнения нашего способа коррекции локальной кифотической деформации с циркулярной стабилизацией значимой разницы в величине коррекции деформации между группами статистически не выявлено. Отмечено значимое различие с группой гибридной стабилизации как в коррекции деформации, так и в величине кифоза после оперативного лечения и в указанные сроки послеоперационного наблюдения. Результаты оценивали и внутри групп. Примечательно, что средняя потеря коррекции в группе гибридной фиксации составила  $7,7^\circ$ , что совпадает с результатами авторов этого метода [42]. В группе исследования потеря коррекции выявлена у трех пациентов (13,6 %). В первом случае величина исходной деформации составила  $35^\circ$ , а величина остаточной деформации —  $11^\circ$ , что говорит об ограниченных корригирующих возможностях нашего способа. Однако стоит заметить, что кифозы такой величины при свежих взрывных переломах встречаются редко и в основном при формировании ригидных деформации на фоне остеонекрозов позвонков. У двух пациентов отмечен декомпенсированный дисбаланс как до, так и после оперативного вмешательства, что еще раз подтверждает необходимость коррекции сагиттального профиля [43–47].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Предлагаемый нами способ коррекции локальной кифотической деформации позвоночника в лечении взрывных остеопоротических переломов тел позвонков в сравнении с циркулярной и гибридной стабилизацией демонстрирует удовлетворительную коррекцию локального кифоза, с минимальной хирургической агрессией, что снижает риски осложнений и неблагоприятных исходов. Техника может сочетаться и с гибридной фиксацией, однако для этого требуется проведение дополнительных исследований.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Источник финансирования.** Финансирование проведения исследования осуществлялось в рамках выполнения НИР государственного задания «Разработка и совершенствование способов и конструкций для коррекции посттравматических деформаций при анкилозирующих заболеваниях позвоночника», регистрационный номер 121051100278-4.

**Этическая экспертиза.** По результатам заключения Локального Этического Комитета (выписка из протокола заседания 001/24 от 15 января 2024 г.) настоящая статья может быть опубликована в открытой печати и не содержит секретной информации.

**Информированное согласие.** Не требуется.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Abdelgawaad AS, Ezzati A, Govindasamy R, et al. Kyphoplasty for osteoporotic vertebral fractures with posterior wall injury. *Spine J.* 2018;18(7):1143-1148. doi: 10.1016/j.spinee.2017.11.001
2. Formica M, Zanirato A, Cavagnaro L, et al. What is the Current Evidence on Vertebral Body Osteonecrosis?: A Systematic Review of the Literature. *Asian Spine J.* 2018;12(3):586-599. doi: 10.4184/asj.2018.12.3.586
3. Katsuura Y, Osborn JM, Cason GW. The epidemiology of thoracolumbar trauma: A meta-analysis. *J Orthop.* 2016;13(4):383-388. doi: 10.1016/j.jor.2016.06.019
4. Matsuyama Y, Goto M, Yoshihara H, et al. Vertebral reconstruction with biodegradable calcium phosphate cement in the treatment of osteoporotic vertebral compression fracture using instrumentation. *J Spinal Disord Tech.* 2004;17(4):291-296. doi: 10.1097/01.bsd.0000097253.54459.a6
5. Korovessis P, Hadjipavlou A, Repantis T. Minimal invasive short posterior instrumentation plus balloon kyphoplasty with calcium phosphate for burst and severe compression lumbar fractures. *Spine (Phila Pa 1976).* 2008;33(6):658-667. doi: 10.1097/BRS.0b013e318166e0bb
6. Kanayama M, Ishida T, Hashimoto T, et al. Role of major spine surgery using Kaneda anterior instrumentation for osteoporotic vertebral collapse. *J Spinal Disord Tech.* 2010;23(1):53-56. doi: 10.1097/BSD.0b013e318193e3a5
7. Sudo H, Ito M, Kaneda K, et al. Anterior decompression and strut graft versus posterior decompression and pedicle screw fixation with vertebroplasty for osteoporotic thoracolumbar vertebral collapse with neurologic deficits. *Spine J.* 2013;13(12):1726-1732. doi: 10.1016/j.spinee.2013.05.041
8. Josten C, Heyde CE, Spiegl UJ. Complex Pathologies of the Spine: Trauma meets Degeneration. *Z Orthop Unfall.* 2016;154(5):440-448. (In German) doi: 10.1055/s-0042-108344
9. Spiegl UJ, Josten C, Devitt BM, Heyde CE. Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature. *Eur Spine J.* 2017;26(12):3187-3198. doi: 10.1007/s00586-017-5126-3
10. Schnake KJ, Scheyerer MJ, Spiegl UJA, et al. Minimally invasive stabilization of thoracolumbar osteoporotic fractures. *Unfallchirurg.* 2020;123(10):764-773. (In German) doi: 10.1007/s00113-020-00835-1
11. Рерих В.В., Синявин В.Д. Сравнительный анализ методов гибридной и циркулярной стабилизации на основании рентгенологических критериев при лечении взрывных переломов тел позвонков на фоне остеопороза. *Хирургия позвоночника.* 2023;20(3):26-33. doi: 10.14531/ss2023.3.26-33
12. Li J, Xu L, Liu Y, et al. Open Surgical Treatments of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Orthop Surg.* 2023;15(11):2743-2748. doi: 10.1111/os.13822
13. Jo DJ, Kim YS, Kim SM, et al. Clinical and radiological outcomes of modified posterior closing wedge osteotomy for the treatment of posttraumatic thoracolumbar kyphosis. *J Neurosurg Spine.* 2015;23(4):510-517. doi: 10.3171/2015.1.SPINE131011
14. Schnake KJ, Blattert TR, Hahn P, et al. Classification of Osteoporotic Thoracolumbar Spine Fractures: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J.* 2018;8(2 Suppl):46S-49S. doi: 10.1177/2192568217717972
15. Le Huec JC, Thompson W, Mohsinaly Y, et al. Sagittal balance of the spine. *Eur Spine J.* 2019;28(9):1889-1905. doi: 10.1007/s00586-019-06083-1
16. Schwab F, Blondel B, Chay E, et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery.* 2014;74(1):112-120; discussion 120. doi: 10.1227/NEU.0000000000001820
17. Smith-Petersen MN, Larson CB, Aufranc OE. Osteotomy of the spine for correction of flexion deformity in rheumatoid arthritis. *Clin Orthop Relat Res.* 1969;66:6-9.
18. Dorward IG, Lenke LG. Osteotomies in the posterior-only treatment of complex adult spinal deformity: a comparative review. *Neurosurg Focus.* 2010;28(3):E4. doi: 10.3171/2009.12.FOCUS09259
19. Zhang D, Zhang W, Zhou X, et al. Treatment of chronic thoracolumbar osteoporotic fractures combined with kyphosis with cement-injectable cannulated pedicle screw and multiple level Schwab grade I osteotomy. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2020;34(12):1533-1538. (In Chin.) doi: 10.7507/1002-1892.202006129
20. Ponte A. What is a true Ponte osteotomy? In: *Half-day Courses. 48<sup>th</sup> Annual Meeting & Course.* Lion, France; 2013:63-65.
21. Gill JB, Levin A, Burd T, Longley M. Corrective osteotomies in spine surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2008;90(11):2509-2520. doi: 10.2106/JBJS.H.00081
22. Plais N, Mengis C, Gallego Bustos JM, et al. Simplified Pedicle Subtraction Osteotomy for Osteoporotic Vertebral Fractures. *Int J Spine Surg.* 2021;15(5):1004-1013. doi: 10.14444/8129
23. Kim SK, Chung JY, Park YJ, et al. Modified Pedicle Subtraction Osteotomy for Osteoporotic Vertebral Compression Fractures. *Orthop Surg.* 2020;12(2):388-395. doi: 10.1111/os.12589
24. Takenaka S, Mukai Y, Hosono N, Fuji T. Major surgical treatment of osteoporotic vertebral fractures in the elderly: a comparison of anterior spinal fusion, anterior-posterior combined surgery and posterior closing wedge osteotomy. *Asian Spine J.* 2014;8(3):322-330. doi: 10.4184/asj.2014.8.3.322
25. Kobayashi K, Imagama S, Sato K, et al. Postoperative Complications Associated With Spine Surgery in Patients Older Than 90 Years: A Multicenter Retrospective Study. *Global Spine J.* 2018;8(8):887-891. doi: 10.1177/2192568218767430
26. Imagama S, Kawakami N, Tsuji T, et al. Perioperative complications and adverse events after lumbar spinal surgery: evaluation of 1012 operations at a single center. *J Orthop Sci.* 2011;16(5):510-515. doi: 10.1007/s00776-011-0123-6
27. Carreon LY, Puno RM, Dimar JR 2nd, et al. Perioperative complications of posterior lumbar decompression and arthrodesis in older adults. *J Bone Joint Surg Am.* 2003;85(11):2089-2092. doi: 10.2106/00004623-200311000-00004
28. Koepke LG, Weiser L, Stangenberg M, et al. Outcome after Posterior Vertebral Column Resection in Patients with Severe Osteoporotic Fractures-A Retrospective Analysis from Two Centers. *Medicina (Kaunas).* 2022;58(2):277. doi: 10.3390/medicina58020277
29. Pehlivanoglu T, Erdag Y, Oltulu I, et al. Unilateral Posterior Surgery for Severe Osteoporotic Vertebrae Fractures' Sequelae in Geriatric Population: Minimum 5-Year Results of 109 Patients. *Neurospine.* 2021;18(2):319-327. doi: 10.14245/ns.2040812.406

30. Wei H, Dong C, Zhu Y. Posterior Fixation Combined with Vertebroplasty or Vertebral Column Resection for the Treatment of Osteoporotic Vertebral Compression Fractures with Intravertebral Cleft Complicated by Neurological Deficits. *Biomed Res Int.* 2019;2019:4126818. doi: 10.1155/2019/4126818
31. Sehmisch S, Lehmann W, Dreimann M, et al. Posterior vertebral column resection for correction of kyphotic deformity due to osteoporotic fractures of the thoracic spine. *Oper Orthop Traumatol.* 2019;31(4):311-320. (In German) doi: 10.1007/s00064-019-0616-6
32. Xu Z, Hao D, Dong L, et al. Surgical options for symptomatic old osteoporotic vertebral compression fractures: a retrospective study of 238 cases. *BMC Surg.* 2021;21(1):22. doi: 10.1186/s12893-020-01013-1
33. Zhang Y, Zhao Q, Qin X, et al. SRS-Schwab grade IV osteotomy combined with satellite rod for thoracolumbar old osteoporotic fracture with severe kyphosis. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2019;33(3):259-264. (In Chin.) doi: 10.7507/1002-1892.201808022
34. Zhou J, Ma Y, Wang F, et al. Pedicle subtraction osteotomy assisted with anterior column reconstruction for treatment of chronic osteoporotic vertebral compression fracture. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2016 M;30(5):575-579. (In Chin.) doi: 10.7507/1002-1892.20160116
35. Chen JL, Xu Y, Wan L, Yao GX. Surgical choice of posterior osteotomy way for senile osteoporotic thoracolumbar fracture with kyphosis. *Zhongguo Gu Shang.* 2020;33(2):121-126. (In Chin.) doi: 10.12200/j.issn.1003-0034.2020.02.006
36. Li S, Li Z, Hua W, et al. Clinical outcome and surgical strategies for late post-traumatic kyphosis after failed thoracolumbar fracture operation: Case report and literature review. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(49):e8770. doi: 10.1097/MD.00000000000008770
37. Cho Y. Corpectomy and circumferential fusion for advanced thoracolumbar Kummell's disease. *Musculoskelet Surg.* 2017;101(3):269-274. doi: 10.1007/s12306-017-0480-1
38. Tomita K, Kawahara N, Murakami H, Demura S. Total en bloc spondylectomy for spinal tumors: improvement of the technique and its associated basic background. *J Orthop Sci.* 2006;11(1):3-12. doi: 10.1007/s00776-005-0964-y
39. Watanabe K, Katsumi K, Ohashi M, et al. Surgical outcomes of spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture in the thoracolumbar spine: Comprehensive evaluations of 5 typical surgical fusion techniques. *J Orthop Sci.* 2019;24(6):1020-1026. doi: 10.1016/j.jos.2019.07.018
40. Hyun SJ, Rhim SC. Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients: a long-term follow-up data. *J Korean Neurosurg Soc.* 2010;47(2):95-101. doi: 10.3340/jkns.2010.47.2.95
41. Barrey C, Perrin G, Michel F, et al. Pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine: indications, technical aspects, results and complications. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24 Suppl 1:21-30. doi: 10.1007/s00590-014-1470-8
42. Spiegl UJ, Ahrberg AB, Anemüller C, et al. Which anatomic structures are responsible for the reduction loss after hybrid stabilization of osteoporotic fractures of the thoracolumbar spine? *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):54. doi: 10.1186/s12891-020-3065-3
43. Рерих В.В., Борзых К.О., Самохин А.Г. Корреляции функциональной дееспособности и параметров сагиттального баланса у пациентов с посттравматическими деформациями позвоночника. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(6). URL: <https://s.science-education.ru/pdf/2017/6/27046.pdf>.
44. Hu Z, Man GCW, Kwok AKL, et al. Global sagittal alignment in elderly patients with osteoporosis and its relationship with severity of vertebral fracture and quality of life. *Arch Osteoporos.* 2018;13(1):95. doi: 10.1007/s11657-018-0512-y
45. Niu J, Feng T, Huang C, et al. Characteristics of Osteoporotic Low Lumbar Vertebral Fracture and Related Lumbosacral Sagittal Imbalance. *Orthopedics.* 2021;44(1):e7-e12. doi: 10.3928/01477447-20201028-05
46. Le Huec JC, Cogniet A, Demezou H, et al. Insufficient restoration of lumbar lordosis and FBI index following pedicle subtraction osteotomy is an indicator of likely mechanical complication. *Eur Spine J.* 2015;24 Suppl 1:S112-S120. doi: 10.1007/s00586-014-3659-2
47. Fechtenbaum J, Etcheto A, Kolta S, et al. Sagittal balance of the spine in patients with osteoporotic vertebral fractures. *Osteoporos Int.* 2016;27(2):559-567. doi: 10.1007/s00198-015-3283-y

Статья поступила 25.01.2024; одобрена после рецензирования 25.01.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 25.01.2024; approved after reviewing 25.01.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Владимир Дмитриевич Синявин — врач травматолог-ортопед, младший научный сотрудник, Dr.VladimirSinyavin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5237-6403>;

Виктор Викторович Рерих — доктор медицинских наук, начальник отделения, профессор кафедры, rvv\_nsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024>.

#### Information about the authors:

Vladimir D. Sinyavin — orthopaedic surgeon, junior researcher, Dr.VladimirSinyavin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-5237-6403>;

Victor V. Rerikh — Doctor of Medical Sciences, Head of the Department, Professor of the Department, rvv\_nsk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8545-0024>.

#### Вклад авторов

Владимир Дмитриевич Синявин — написание статьи, сбор и интерпретация полученных данных.

Виктор Викторович Рерих — редакция статьи, разработка концепции и дизайна исследования.

Научная статья

УДК 616.728.2/.8-002.77-089.843:616-089.193.4-06:616-022.1-035](048)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-552-560>



## Периимплантная инфекция у пациентов с ревматоидным артритом на примере серии случаев

Л.В. Любимова<sup>1</sup>✉, Н.Н. Пчелова<sup>1</sup>, Н.С. Николаев<sup>1,2</sup>, Е.В. Преображенская<sup>1</sup>, Е.А. Любимов<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия

<sup>2</sup> Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Людмила Валентиновна Любимова, [borisova-80@mail.ru](mailto:borisova-80@mail.ru)

### Аннотация

**Актуальность.** Ввиду схожести клинико-лабораторной картины перипротезной инфекции и активности воспалительного процесса у пациентов с системными заболеваниями их дифференциальная диагностика затруднена.

**Цель работы** — оценить диагностические данные и результаты санлирующего лечения периимплантной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом на примере серии клинических случаев.

**Материалы и методы.** Проведен ретроспективный анализ случаев хирургического лечения перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом за период 2014–2022 гг. Перипротезную инфекцию верифицировали на основании критериев ICM. Неблагоприятным исходом лечения считали наличие клинико-лабораторных признаков инфекции при поступлении на второй этап лечения и их возобновление после успешно завершенной санации.

**Результаты.** Среди 524 случаев перипротезной инфекции 35 (6,7 %) составили пациенты с ревматоидным артритом, 48,6 % из которых получали антибиотики на догоспитальном этапе. Культуронегативная инфекция составила 38,4 %. Перипротезная инфекция не подтверждена в пяти случаях (14,3 %). Отмечены высокие средние значения маркеров воспаления в крови (СОЭ, СРБ и Д-димер) до и после санации, статистически значимыми оказались показатели снижения СОЭ и содержания лейкоцитов в синовиальной жидкости. В 82,9 % случаев лечения перипротезной инфекции получены благоприятные результаты в среднесрочном периоде, где каждый пятый пациент вынужден жить со спейсером или с артродезом сустава.

**Обсуждение.** По данным других авторов, частота культуронегативной инфекции у пациентов с системными заболеваниями составляла 27–37 %. Систематический обзор литературы показал, что процент палочкоядерных нейтрофилов в синовиальной жидкости имеет чувствительность 95,2 % и специфичность 85,0 % с достаточным для верификации инфекции оптимальным порогом 78 %. Все выявленные нами неблагоприятные исходы получены в результате двух- или трехэтапного хирургического лечения. Другие авторы получили лучшие исходы в результате двухэтапной санации.

**Заключение.** Культуронегативная инфекция явилась лидером среди случаев перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом. Достигнуты благоприятные исходы хирургического лечения, в большинстве случаев двухэтапного. Маркеры воспаления СОЭ, СРБ и Д-димер на этапах диагностики и санации инфекции не достигали нормальных значений, что свидетельствует о неприменимости стандартных диагностических критериев перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом.

**Ключевые слова:** перипротезная инфекция, культуронегативная инфекция, ревизионное эндопротезирование, ревматоидный артрит

**Для цитирования:** Любимова Л.В., Пчелова Н.Н., Николаев Н.С., Преображенская Е.В., Любимов Е.А. Периимплантная инфекция у пациентов с ревматоидным артритом на примере серии случаев. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):552-560. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-552-560. EDN: NUGTCS.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-552-560>



## Periprosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: case series

L.V. Lyubimova<sup>1✉</sup>, N.N. Pchelova<sup>1</sup>, N.S. Nikolaev<sup>1,2</sup>, E.V. Preobrazhenskaya<sup>1</sup>, E.A. Lyubimov<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russian Federation

<sup>2</sup> Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary, Russian Federation

**Corresponding author:** Lyudmila V. Lyubimova, borisova-80@mail.ru

### Abstract

**Introduction** The differential diagnosis of periprosthetic joint infection (PJI) is challenging in patients with systemic diseases due to identical clinical and laboratory patterns and activity of the inflammatory process.

The **objective** was to evaluate the diagnostic data and results of debridement of PJI in patients with rheumatoid arthritis using a case series.

**Material and methods** A retrospective analysis of surgical treatment of PJI was produced in patients with rheumatoid arthritis between 2014 and 2022. PJI was verified based on ICM criteria. A poor outcome included the presence of clinical and laboratory signs of infection on admission to the second stage of treatment and recurrence after successful debridement.

**Results** Among the 524 cases of PJI, 35 (6.7 %) were patients with rheumatoid arthritis with 48.6 % receiving antibiotics prior to admission. Culture-negative infection was recorded in 38.4 %. PJI was not confirmed in five cases (14.3 %). High average values of inflammatory markers were registered in the blood (ESR, CRP and D-dimer) before and after debridement; decreased ESR and leukocyte count in the synovial fluid was statistically significant. Favorable outcomes were obtained in 82.9 % of cases at mid term with every fifth patient treated with a spacer or arthrodesis.

**Discussion** The incidence of culture-negative infection in patients with systemic diseases was reported as much as 27–37 %. A systematic review of the literature showed that the percentage of band neutrophils in synovial fluid has a sensitivity of 95.2 % and a specificity of 85.0 %, with an optimal threshold of 78 % sufficient to verify infection. The poor outcomes we identified resulted from two- or three-stage surgical treatment. Other authors reported better outcomes with two-stage debridement.

**Conclusion** Culture-negative infection was common in cases of PJI observed in patients with rheumatoid arthritis. Favorable outcomes were seen mostly with two-stage surgical treatment. Inflammatory markers ESR, CRP and D-dimer did not reach normal values during diagnosis and treatment of infection indicating the inapplicability of standard diagnostic criteria for PJI in patients with rheumatoid arthritis.

**Keywords:** periprosthetic joint infection; culture-negative infection; revision joint replacement; rheumatoid arthritis

**For citation:** Lyubimova LV, Pchelova NN, Nikolaev NS, Preobrazhenskaya EV, Lyubimov EA. Periprosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: case series. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):552-560. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-552-560

## ВВЕДЕНИЕ

Эндопротезирование является современным и эффективным методом лечения выраженной патологии суставов различной локализации, позволяющим пациентам вернуться к привычному для них образу жизни. Известно, что до 24 % всех пациентов с ревматоидным артритом (РА) в течение 16–20 лет после верификации диагноза вынуждены прибегать к первичному эндопротезированию суставов [1]. Частота встречаемости РА среди пациентов, перенесших эндопротезирование, составляет 2–7 % [2–4]. При этом пациенты с РА подвержены более высокому риску развития инфекционных осложнений, которые могут иметь атипичные признаки, затрудняя диагностику и лечение перипротезной инфекции (ППИ) [5]. Исследования показали, что РА является независимым фактором риска послеоперационной инфекции протезированных суставов [6–8]. Частота заболеваемости ППИ среди пациентов с РА (3,1–4,2 %) в 1,8–4 раза выше ее аналогичного показателя у пациентов с патологией другой этиологии [6, 8]. Иммунодепрессанты, часто используемые при лечении РА, могут увеличивать риск ППИ в связи со снижением иммунного ответа [9].

Другой не менее важной проблемой пациентов с системными заболеваниями является дифференциальная диагностика обострения РА и инфекционного процесса в протезированном суставе. Стандартные диагностические тесты и биомаркеры (СОЭ, СРБ, лейкоциты синовиальной жидкости, лейкоцитарная эстераза или альфа-дефензин) могут иметь высокие значения в обоих случаях, следовательно, могут вводить в заблуждение. В 2019 г. опубликован систематический обзор исследований биомаркеров воспаления в диагностике ППИ у пациентов с артритами, в котором авторы показали, что, несмотря на высокую чувствительность многих сывороточных и синовиальных тестов, они имеют низкую специфичность [10]. Полученные результаты формируют представление о том, что часть пациентов с системными артритами после эндопротезирования имеют обострение основного процесса, но не ППИ. Такие данные свидетельствуют о недостаточной информативности дифференциально-диагностических признаков ППИ у пациентов с РА. Описанные в литературе случаи ППИ у пациентов с воспалительными артритами в своем большинстве ограничены малочисленной выборкой. В систематический обзор литературы, выполненный S.Z. Mirza et al., включено всего 90 случаев артритов после эндопротезирования, в том числе подтвержденная ППИ имела место всего в 26 случаях [10].

Малочисленность исследований по диагностике ППИ у пациентов с системными заболеваниями и отсутствие четких дифференциальных диагностических критериев отличия фазы обострения РА и инфекции в протезированном суставе вызвали интерес к анализу случаев ППИ у данной группы пациентов в условиях федерального травматолого-ортопедического центра.

**Цель работы** — оценить диагностические данные и результаты санлирующего лечения периимплантной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом на примере серии клинических случаев.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование основано на сплошном ретроспективном анализе случаев оперативного лечения пациентов по поводу ППИ за период 2014–2022 гг. по данным медицинской информационной системы (МИС) Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Центр, Чебоксары).

Критерии включения пациентов в исследование: наличие РА в анамнезе, хирургическое лечение ППИ в объеме одно-, двух- или трехэтапного ревизионного эндопротезирования.

От всех лиц, включенных в исследование, получено информированное согласие на использование обезличенных данных электронной медицинской карты.

Всем пациентам проводили антибиотикотерапию внутривенно в течение двух недель после операции, затем перорально в течение 10 недель при одноэтапном реэндопротезировании и четырех недель на каждом этапе при двухэтапном или трехэтапном лечении.

Первичные клинические критерии оценки включали: анамнез, половозрастные характеристики, сведения о приеме антибактериальных препаратов на догоспитальном этапе, данные о локализации инфицированного сустава, клинических формах и сроках от верификации диагноза РА до даты первичного эндопротезирования сустава.

Лабораторные критерии включали: результаты микробиологического исследования пунктатов синовиальной жидкости (с подсчетом лейкоцитарного состава), тканевых образцов и смывов с металлических конструкций (после ультразвуковой обработки).

К мономикробной ППИ относили наличие одного патогена в исследуемых образцах, к полимикробной ППИ — выделение двух и более возбудителей; культуронегативной ППИ считали случаи с отсутствием роста возбудителя во всех образцах биоматериала.

В гематологических исследованиях оценивали скорость оседания эритроцитов (СОЭ) в крови, уровень С-реактивного белка (СРБ) в сыворотке и Д-димера в плазме. Данные исследования проводили на этапе диагностики ППИ и перед вторым этапом санлирующего лечения.

Все случаи ППИ оценены с позиций критериев диагностики ППИ, принятых на Втором консенсусном совещании ICM (*англ.*: International Consensus Meeting on Prosthetic Joint Infection) 2018 г. и включающих основные и второстепенные критерии [11] (табл. 1).

Таблица 1

Критерии диагностики ППИ второго консенсусного совещания по перипротезной инфекции (Филадельфия, США, ICM)

Основные критерии (минимум один из следующих)				Решение
Два положительных результата роста одного и того же микроорганизма при использовании стандартных методов культивирования				Есть инфекция
Свищ или видимое нагноение тканей вокруг протеза				
Малые критерии	Пороговые значения		Баллы	Решение
	острая	хроническая		
Сывороточный СРБ, мг/л или Д-димер, мкг/л	100	10	2	6 и более — есть инфекция; от 4 до 5 — результат неопределенный; 3 и менее — нет инфекции
	неизвестно	860		
СОЭ сыворотки крови, мм/час	неважно	30	1	
Уровень количества синовиальных лейкоцитов, клеток/мкл	10000	3000	3	
Уровень полиморфно-ядерных нейтрофилов, %	90	70	2	
Позитивная культура в одном образце			2	
Гистологически: воспаление перипротезной ткани (> 5 нейтрофилов в каждом из 5-ти полей зрения при 400-кратном увеличении)			3	
Визуализация гнойного содержимого во время операции			3	

В исследовании использована классификация перипротезной инфекции по W. Zimmerli [12] с дополнениями С. Li et al. [13].

Неблагоприятным исходом лечения считали наличие клинико-лабораторных признаков инфекции на момент поступления на второй этап лечения, а также появление признаков инфекции после завершенной успешной санации. При этом к рецидивам ППИ относили выделение того же возбудителя, что и при первом эпизоде ППИ, к реинфекции — выявление иного возбудителя.

*Статистическая обработка данных.* Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц, визуализацию структуры данных и их анализ проводили с помощью программы MS Office Excel, 2007 (Microsoft, США) и программы Graf Pad. Для описания количественных показателей выполняли проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова – Смирнова. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднеквадратичное отклонение; при распределении, отличающемся от нормального, — медиану и верхний и нижний квартили Me (Q1–Q3); в обоих случаях применяли 95 % ДИ. Значимость различий при нормальном распределении оценивали по t-критерию Стьюдента, а при отсутствии нормального распределения — по непараметрическому критерию Манна – Уитни (m–u). Категориальные данные (пол, тип ППИ, исход) описывали условными кодами не измеряемых категорий, не подлежащих упорядочиванию.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

По данным МИС первичный объем выборки включал 524 случая ППИ, среди которых 35 случаев (6,7 %) составили пациенты с РА, отобранные в исследование. В данной группе преобладали женщины в возрасте 60 лет, отмечено равное соотношение числа пациентов работоспособного, пожилого и старческого возраста. К моменту первичного эндопротезирования пациенты имели позднюю стадию РА (рентгенологически подтвержденный артрит III–IV стадии) с преобладанием серопозитивной формы заболевания (табл. 2).

В большинстве случаев хроническая ППИ носила гематогенный характер с преобладанием инфекции в коленных суставах. По данным анамнеза, в догоспитальном периоде принимали антибактериальные препараты около 50 % пациентов. Пациенты получали различную базисную терапию по поводу РА: 10 человек (28,6 %) — комбинацию цитостатиков с гормональными препаратами, 5 (14,3 %) — только гормональные препараты, 9 (25,7 %) — цитостатики, по 2 человека (по 5,7 %) — генно-инженерные препараты и сульфасалазин, 7 человек (20 %) — только нестероидные противовоспалительные препараты. Средний срок наблюдения после проведенного ревизионного эндопротезирования составил 4,5 года.

Общие характеристики группы исследования

Характеристики		Показатели		
Средний возраст, годы		60,2 ± 10,3		
Средний срок от верификации диагноза РА к моменту первичного эндопротезирования, годы		21,6 ± 9,9		
Средний срок наблюдения после санации, мес.		53,2 ± 31,7		
		абс.	%	
Пол	Женщины	30	86	
	Мужчины	5	14	
Возраст, годы	Молодой возраст (18–44)	3	8,5	
	Средний возраст (45–59)	15	42,9	
	Пожилой возраст (60–74)	15	42,9	
	Старческий возраст (75–89)	2	5,7	
Клинические формы РА	Серопозитивный	24	68,6	
	Серонегативный	7	20,0	
	Ювенильный	4	11,4	
Локализация ППИ	Коленный сустав	26	74,3	
	Тазобедренный сустав	8	22,8	
	Проксимальный пястно-фаланговый сустав	1	2,9	
Получали антибиотикотерапию на догоспитальном этапе, чел.		17	48,6	
Классификация перипротезной инфекции по W. Zimmerli [12] с дополнениями С. Li et al. [13]	Послеоперационная (< 90 сут. после операции)	острая	5	14,3
		хроническая	0	0
	Гематогенная (> 90 суток после операции)	острая	0	0
		хроническая	30	85,7

Согласно критериям диагностики ICM (2018), диагноз ППИ подтвержден в 85,7 % случаев ( $n = 30$ ): свищевой ход, сообщающийся с полостью эндопротеза — в 13 случаях (37,2 %), положительный культуральный рост минимум в двух исследуемых биологических образцах — в 6 случаях (17,1 %), наличие 6 и > баллов (есть инфекция) по малым критериям ППИ — в 11 случаях (31,4 %). В остальных 5 случаях (14,3 %) данные за диагноз ППИ были неубедительными или не соответствовали критериям диагностики инфекционного процесса.

Ведущая роль этиологии ППИ принадлежала культуронегативной инфекции, на втором месте — коагулазонегативные стафилококки (CoNS), одновременно преваляровавшие в структуре мономикробной инфекции; на третьем — золотистый стафилококк (рис. 1).

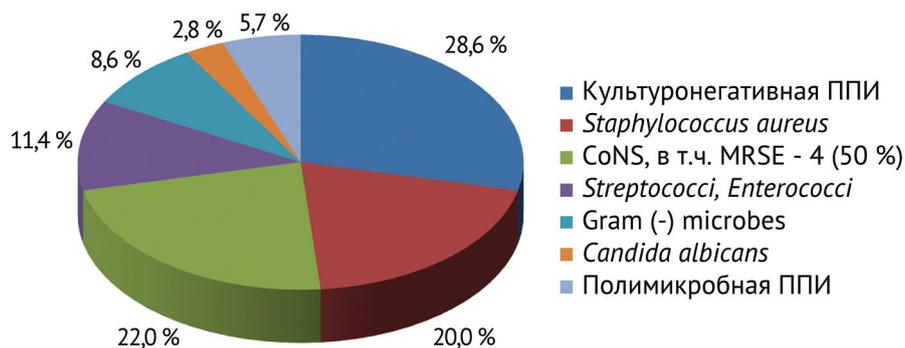


Рис. 1. Микробиологическая структура ППИ по результатам исследования пунктата синовиальной жидкости у пациентов с РА

В структуре грамотрицательных возбудителей отмечены *Proteus mirabilis*, *Escherichia coli*, *Burkholderia serapia*. Микробные ассоциации представлены сочетаниями MRSE с *Enterococcus faecalis* и *Enterococcus faecalis* с *Corynebacterium spp.*

Среди исследуемых биологических материалов максимальное число положительных посевов ( $n = 25$ , 71,4 %) получено в пунктате синовиальной жидкости, взятом до операции. Среди интраоперационных тканевых биоптатов положительная культура получена в 20 случаях (57,1 %), в аспирате с удаленных имплантов — в 17 случаях (48,6 %). Перед вторым этапом лечения в исследуемых биологических материалах в одном случае выявлен рост MRSE.

Все случаи ППИ пролечены хирургическим методом путем санации в сочетании с антибактериальной терапией. Одноэтапная санация с заменой вкладыша и головки эндопротеза выполнена у 4 пациентов (11,4 %); в других случаях проведена двух- и трехэтапная санация ( $n = 31$ , 88,6 %): артикулирующий спейсер установлен у 26 (83,9 %), статический — у 5 пациентов (16,1 %).

Среди маркеров воспаления в крови СОЭ, СРБ и Д-димер показывали высокие средние значения как до санации, так и после нее, у всех пациентов, санированных в два этапа (табл. 3).

Таблица 3

## Результаты лабораторных исследований пациентов с РА

Показатели	До санации, $n = 35$	Перед вторым этапом санации, $n = 28^*$	$P < 0,05$
<b>Кровь</b>			
СОЭ, мм/час	45,5 (34,4–56,6)	26,0 (16,0–36,0)	<b>0,0047**</b>
СРБ, мг/мл	34,6 (22,3–46,9)	8,2 (4,0–10,4)**	0,4422
Д-Димер, нг/мл	1670 (1067,9–2272,1)	1749,5 (1161,7–2337,3)	0,9325
<b>Синовиальная жидкость</b>			
<i>Первая проба</i>			
Лейкоциты, кл/мкл	9000,0 (1905,0–18495,0)**	320,0 (82,0–825,0)**	0,0017*
Нейтрофилы, %	88,0 (81,4–94,6)	63,0 (1,5–94,5)	0,0705
<i>Вторая проба</i>			
Лейкоциты, кл/мкл	4687,0 (1450,0–9100,0)**	180,0 (45,0–450,0)**	0,0038***
Нейтрофилы, %	87,0 (75,0–93,0)**	45,0 (22,0–80,0)**	0,1760
<i>Третья проба</i>			
Лейкоциты, кл/мкл	1355,0 (85,0–8150,0)**	130,0 (35,0–225,0)**	0,2637
Нейтрофилы, %	76,0 (62,0–90,0)**	–	–

Примечание: \* — исключены пациенты, пролеченные одноэтапным методом ( $n = 4$ ), и пациенты с установленным спейсером ( $n = 3$ ) без последующей санации; \*\* — Me (Q1–Q3); \*\*\* — m-и

В динамике после санации отмечено снижение уровня всех воспалительных маркеров, однако только изменения СОЭ в крови и содержание лейкоцитов в синовиальной жидкости были статистически значимыми.

В большинстве случаев (82,9 %) лечения ППИ у пациентов с РА на среднем сроке наблюдения после санации  $53,2 \pm 31,7$  месяца получены благоприятные результаты (табл. 4).

Таблица 4

## Исходы лечения ППИ

Неблагоприятные, $n = 6$ (17,1 %)	Благоприятные, $n = 29$ (82,9 %)
Рецидив ППИ*, $n = 2$ (33,3 %)	Реэндопротезирование**, $n = 23$ (79,4 %)
3-этапное лечение*, $n = 4$ (66,7 %)	Артродез**, $n = 3$ (10,3 %)
	Жизнь со спейсером**, $n = 3$ (10,3 %)

Примечание: \* — из числа неблагоприятных исходов; \*\* — из числа благоприятных исходов.

Среди неблагоприятных исходов в одном случае после первично обусловленной стафилококковой ППИ развилась реинфекция, вызванная микробной ассоциацией (*Acinetobacter baumannii*, *Enterococcus faecalis*, *Streptococcus mitis*). Во втором случае произошел рецидив ППИ, вызванный той же стрептококковой инфекцией. В остальных четырех случаях пациенты оперированы методом трехэтапной санации (ввиду сохраняющихся высоких цифр маркеров воспаления после второго этапа санации и неудовлетворительного состояния костной ткани, по мнению оперирующего хирурга), в том числе у одного пациента вновь выделен MRSE. Конечным результатом трехэтапной санации у данных пациентов в качестве завершающего этапа лечения явились артродез ( $n = 1$ ) и реэндопротез ( $n = 2$ ) (четвертый этап), один пациент продолжает жизнь со спейсером.

Среди благоприятных исходов каждый пятый пациент вынужден жить со спейсером или с обездвиженным в результате артродеза суставом; кроме того, в 16,1 % случаев на первом этапе санации использованы статические спейсеры, также ограничивающие подвижность в суставе.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Изучение особенностей течения перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом интересно тем, что клиника обострения системных заболеваний может имитировать перипротезную инфекцию (поскольку имеет идентичные симптомы в виде боли в суставах, отека околосуставных тканей, лихорадки, повышения уровня СОЭ и СРБ в крови, лейкоцитов в синовиальной жидкости).

Доля пациентов с ревматоидным артритом среди всех случаев перипротезной инфекции, по данным разных авторов, составляет от 4,5 до 13,3 % [14–16], что согласуется с нашими данными (6,7 %).

В работах P.H. Hsieh et al. [14] и E.F. Verbari et al. [17] в качестве ведущего возбудителя в развитии перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом определен золотистый стафилококк, однако мы не смогли подтвердить эти данные. В нашем исследовании лидировала культуронегативная инфекция. В структуре культуропозитивной инфекции ведущую роль играли коагулазонегативные стафилококки, являющиеся условно-патогенными возбудителями и способные вызвать инфекцию (и формировать биопленки) на фоне снижения иммунного статуса организма у пациентов с ревматоидным артритом. Ряд исследований зарубежных авторов подтверждает смену ведущей роли золотистого стафилококка на коагулазонегативные штаммы в этиологии ППИ. В исследовании, опубликованном F.S. Fröschel et al., коагулазонегативные стафилококки обнаружены в 44,61 %; золотистый стафилококк — в 14,31 % случаев [18], по данным D.B.G. Tai et al. — в 37 и 24 % соответственно [19].

Среди редко встречающихся и трудноизлечимых возбудителей (ДТТ) в одном случае выделена *Candida albicans*, и это единственный случай, наблюдаемый в нашей практике.

В большинстве случаев хроническая ППИ в нашем исследовании носила гематогенный характер, что, вероятно, обусловлено наличием очагов хронической инфекции и сниженным иммунитетом у пациентов с РА. Являясь сапрофитом, колонизирующим кожу и слизистые оболочки, *Candida albicans* спровоцировала развитие ППИ у пациента с ревматоидным артритом на фоне приема иммунодепрессантов и антибиотиков [20]. Таким образом, при подозрении на перипротезную инфекцию у пациентов с ревматоидным артритом следует проводить бактериологическое исследование с расширением спектра выявляемых возбудителей, в том числе грибов и кислотоустойчивых бацилл, особенно, если другие традиционные патогены не идентифицированы с помощью рутинных культуральных исследований.

По частоте выделения культуронегативной перипротезной инфекции (28,6 %) мы получили результаты, схожие с исследованиями P. Sculco et al., — 27 % [15], тогда как в работе J.C. Schrama et al. этот показатель еще выше — 37 % [21]. Отсутствие роста патогенов в исследуемых биологических материалах авторы связывают с приемом антибактериальных препаратов на догоспитальном этапе, что подтверждаем и мы, поскольку почти половина исследуемых нами пациентов получала антибиотики до верификации диагноза перипротезной инфекции. Влияние приема антибактериальных препаратов на результаты бактериологического исследования показано нами в других исследованиях [22]. Эта группа пациентов, на наш взгляд, является наиболее проблематичной для верификации диагноза перипротезной инфекции. При отсутствии свищевого хода, сообщающегося с полостью сустава, есть опасность ложно диагностировать инфекционный процесс, ориентируясь на показатели маркеров воспаления, которые могут иметь высокие значения на фоне системного воспаления.

В нашем исследовании 14,3 % случаев лечения ППИ у пациентов с ревматоидным артритом не соответствовали критериям ICM (2018), вместе с тем, эти пациенты хирургически пролечены по поводу перипротезной инфекции. В других научных работах данная цифра еще выше: так, анализ 36 случаев перипротезной инфекции у пациентов с артритами на фоне системных воспалительных заболеваний, проведенный P. Sculco et al., выявил отсутствие роста микробиологической культуры у 10 пациентов, из которых в 50 % ( $n = 5$ ) инфекция не соответствовала критериям MSIS [15, 23]. Зарубежные исследователи в сомнительных случаях предлагают использовать тест-полоски на лейкоцитарную эстеразу, которые в отношении перипротезной инфекции (в том числе у пациентов с ревматоидным артритом) обладают чувствительностью 80,6 % и специфичностью 100 % [24–26].

В Центре данный метод исследования не используют, поскольку мы более информативным считаем дифференциальный подсчет клеточного состава синовиальной жидкости. В систематическом обзоре литературы о биомаркерах синовиальной жидкости для диагностики перипротезной инфекции у пациентов с воспалительными артритами подтверждается, что процент палочкоядерных нейтрофилов имеет самую высокую чувствительность (95,2 %) и специфичность (85,0 %) с достаточным для верификации инфекции оптимальным порогом 78 % [10]. Мы считаем, что в качестве прогностических признаков эффективности санации перед вторым этапом ревизионного эндопротезирования целесообразно ориентироваться на содержание в синовиальной жидкости лейкоцитов (не более 2000 кл/мкл) и палочкоядерных нейтрофилов (не более 70 %).

Наше исследование показало, что благоприятный исход лечения перипротезной инфекции в виде эрадикации инфекции на фоне ревматоидного артрита достигается в большинстве случаев, однако пятая часть пациентов этой группы, которым установлены статические спейсеры или выполнен артродез, в последующем имеет ограничения движения в оперированных суставах, что существенно снижает качество жизни. Применение данных методов лечения обусловлено наличием больших костных дефектов и хрупкой структуры кости на фоне остеопороза, связанного с длительным приемом кортикостероидов.

Все выявленные нами неблагоприятные исходы получены в результате двух- или трехэтапного хирургического лечения. Напротив, E.F. Verbari et al. в своем исследовании получили лучшие исходы в результате двухэтапной санации, выявив пятилетний безрецидивный период в 79 % случаев (95 % ДИ, 66–93 %) [17]. Двухэтапная санация, по данным авторов, выполнена только в 19 % случаев инфицирования протезированных суставов, в нашем же случае этот показатель составил 88,6 % случаев.

Ограничением нашего исследования является отсутствие разделения пациентов с острой и хронической перипротезной инфекцией при оценке лабораторных данных ввиду малой выборки. Исследование носило ретроспективный характер, что не позволило нам использовать гистологический метод исследования тканей для диагностики инфекции. С целью оценки данных группы больных ревматоидным артритом с предположительной перипротезной инфекцией в случае неприменимости международных диагностических критериев необходимо провести расширенное проспективное исследование на большой выборке.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностика перипротезной инфекции у пациентов с ревматоидным артритом и другими системными заболеваниями остается нерешенной проблемой. В 82,9 % случаев нами достигнуты благоприятные исходы хирургического лечения, в большинстве случаев двухэтапного. Культуронегативная инфекция заняла лидирующие позиции (38,4 %) среди выявленных случаев перипротезной инфекции. Лабораторные маркеры воспаления в крови (СОЭ, СРБ и Д-димер) на этапах диагностики и санации инфекции не достигали нормальных значений, что свидетельствует о неприменимости стандартных диагностических критериев у пациентов с ревматоидным артритом.

Учитывая первично-воспалительный фон, свойственный пациентам с ревматоидным артритом вследствие сниженной реактивности организма, и выявленные случаи несоответствия диагностических показателей международным критериям перипротезной инфекции, целесообразно провести проспективное исследование на большей когорте пациентов с использованием дополнительно гистологического анализа интраоперационных тканей.

**Конфликт интересов.** Не заявлен.

**Источник финансирования.** Не заявлен.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kapetanovic MC, Lindqvist E, Saxne T, Eberhardt K. Orthopaedic surgery in patients with rheumatoid arthritis over 20 years: prevalence and predictive factors of large joint replacement. *Ann Rheum Dis.* 2008;67(10):1412-1416. doi: 10.1136/ard.2007.086710
2. Berbari EF, Hanssen AD, Duffy MC, Steckelberg JM, Ilstrup DM, Harmsen WS, Osmon DR. Risk factors for prosthetic joint infection: case-control study. *Clin Infect Dis.* 1998;27(5):1247-1254. doi: 10.1086/514991
3. Jämsen E, Virta LJ, Hakala M, et al. The decline in joint replacement surgery in rheumatoid arthritis is associated with a concomitant increase in the intensity of anti-rheumatic therapy: a nationwide register-based study from 1995 through 2010. *Acta Orthop.* 2013;84(4):331-337. doi: 10.3109/17453674.2013.810519
4. Хлабошина В.Н., Амирджанова В.Н. Генно-инженерные биологические препараты при эндопротезировании суставов у больных ревматоидным артритом. *Современная ревматология.* 2014;8(4):72-75. doi: 10.14412/1996-7012-2014-4-72-75
5. Gabriel SE, Michaud K. Epidemiological studies in incidence, prevalence, mortality, and comorbidity of the rheumatic diseases. *Arthritis Res Ther.* 2009;11(3):229. doi: 10.1186/ar2669
6. Bongartz T, Halligan CS, Osmon DR, et al. Incidence and risk factors of prosthetic joint infection after total hip or knee replacement in patients with rheumatoid arthritis. *Arthritis Rheum.* 2008;59(12):1713-1720. doi: 10.1002/art.24060
7. Berbari EF, Hanssen AD, Duffy MC, et al. Risk factors for prosthetic joint infection: case-control study. *Clin Infect Dis.* 1998;27(5):1247-1254. doi: 10.1086/514991
8. Jämsen E, Huhtala H, Puolakka T, Moilanen T. Risk factors for infection after knee arthroplasty. A register-based analysis of 43,149 cases. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91(1):38-47. doi: 10.2106/JBJS.G.01686
9. Doran MF, Crowson CS, Pond GR, et al. Frequency of infection in patients with rheumatoid arthritis compared with controls: a population-based study. *Arthritis Rheum.* 2002;46(9):2287-2293. doi: 10.1002/art.10524
10. Mirza SZ, Richardson SS, Kahlenberg CA, et al. Diagnosing Prosthetic Joint Infections in Patients With Inflammatory Arthritis: A Systematic Literature Review. *J Arthroplasty.* 2019;34(5):1032-1036.e2. doi: 10.1016/j.arth.2019.01.051
11. 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
12. Zimmerli W. Clinical presentation and treatment of orthopaedic implant-associated infection. *J Intern Med.* 2014;276(2):111-119. doi: 10.1111/joim.12233
13. Li C, Renz N, Trampuz A. Management of Periprosthetic Joint Infection. *Hip Pelvis.* 2018;30(3):138-146. doi: 10.5371/hp.2018.30.3.138
14. Hsieh PH, Huang KC, Shih HN. Prosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: an outcome analysis compared with controls. *PLoS One.* 2013;8(8):e71666. doi: 10.1371/journal.pone.0071666
15. Sculco P, Kapadia M, Moezinia CJ, et al. Clinical and Histological Features of Prosthetic Joint Infections May Differ in Patients With Inflammatory Arthritis and Osteoarthritis. *HSSJ.* 2023;19(2):146-153. doi: 10.1177/15563316231153395

16. Singh N, Nair R, Goto M, et al. Risk of Recurrent Staphylococcus aureus Prosthetic Joint Infection in Rheumatoid Arthritis Patients-A Nationwide Cohort Study. *Open Forum Infect Dis.* 2019;6(11):ofz451. doi: 10.1093/ofid/ofz451
17. Berbari EF, Osmon DR, Duffy MC, et al. Outcome of prosthetic joint infection in patients with rheumatoid arthritis: the impact of medical and surgical therapy in 200 episodes. *Clin Infect Dis.* 2006;42(2):216-223. doi: 10.1086/498507
18. Fröschen FS, Randau TM, Franz A, et al. Microbiological Profiles of Patients with Periprosthetic Joint Infection of the Hip or Knee. *Diagnosics (Basel).* 2022;12(7):1654. doi: 10.3390/diagnostics12071654
19. 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
20. Малюченко Л.И., Николаев Н.С., Любимова Л.В. и др. Случай лечения грибковой перипротезной инфекции с применением имплантата с углеродным покрытием. Вестник медицинского института «РЕАВИЗ». *Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2022;12(6):119-126. doi: 10.20340/vmi-rvz.2022.6.CASE.1
21. Schrama JC, Lutro O, Langvatn H, et al. Bacterial findings in infected hip joint replacements in patients with rheumatoid arthritis and osteoarthritis: a study of 318 revisions for infection reported to the norwegian arthroplasty register. *ISRN Orthop.* 2012;2012:437675. doi: 10.5402/2012/437675
22. Любимова Л.В., Божкова С.А., Пчелова Н.Н. и др. Роль культуroneгативной инфекции в структуре инфекционных осложнений после эндопротезирования коленных суставов. *Гений ортопедии.* 2023;29(4):402-409. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-402-409
23. Parvizi J, Zmistowski B, Berbari EF, et al. New definition for periprosthetic joint infection: from the Workgroup of the Musculoskeletal Infection Society. *Clin Orthop Relat Res.* 2011;469(11):2992-2994. doi: 10.1007/s11999-011-2102-9
24. Yeganeh MH, Kheir MM, Shahi A, Parvizi J. Rheumatoid Arthritis, Disease Modifying Agents, and Periprosthetic Joint Infection: What Does a Joint Surgeon Need to Know? *J Arthroplasty.* 2018;33(4):1258-1264. doi: 10.1016/j.arth.2017.11.031
25. Parvizi J, Jacovides C, Antoci V, Ghanem E. Diagnosis of periprosthetic joint infection: the utility of a simple yet unappreciated enzyme. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(24):2242-2248. doi: 10.2106/JBJS.J.01413
26. Tischler EH, Cavanaugh PK, Parvizi J. Leukocyte esterase strip test: matched for musculoskeletal infection society criteria. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(22):1917-1920. doi: 10.2106/JBJS.M.01591

Статья поступила 01.03.2024; одобрена после рецензирования 21.03.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 01.03.2024; approved after reviewing 21.03.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Людмила Валентиновна Любимова — врач-клинический фармаколог, borisova-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>;

Надежда Николаевна Пчелова — врач-бактериолог, nadyapchelova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9507-9118>;

Николай Станиславович Николаев — доктор медицинских наук, профессор РАН, главный врач, заведующий кафедрой, nikolaevns@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>;

Елена Васильевна Преображенская — начальник научно-образовательного отдела, alenka\_22@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>;

Евгений Александрович Любимов — врач анестезиолог-реаниматолог, e\_lyubimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>.

#### Information about the authors:

Lyudmila V. Lyubimova — clinical pharmacologist, borisova-80@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5750-4459>;

Nadezhda N. Pchelova — bacteriologist, nadyapchelova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9507-9118>;

Nikolai S. Nikolaev — Doctor of Medical Sciences, Professor RAS, Chief Physician, Head of the Department, nikolaevns@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1560-470X>;

Elena V. Preobrazhenskaya — Head of the department, alenka\_22@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3556-145X>;

Evgeniy A. Lyubimov — anesthesiologist-resuscitator, e\_lyubimov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5262-0197>.

## Научная статья

УДК 616.718.4-018.3-001-089.22-092.9:616.71-003.93:612.086

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-561-571>

## Оценка влияния спиц для остеосинтеза на структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща (экспериментально-морфологическое исследование)

А.А. Коробейников, Т.А. Ступина✉, О.В. Дюрягина, М.А. Степанов, Н.И. Антонов

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

Автор, ответственный за переписку: Татьяна Анатольевна Ступина, [StupinaSTA@mail.ru](mailto:StupinaSTA@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Преждевременная остановка роста костей является наиболее частым осложнением переломов на уровне зон роста.

**Цель работы** — оценить структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща при его прямом повреждении металлическими и биodeградируемыми спицами в эксперименте.

**Материалы и методы.** Исследован метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости 18 ягнят обоего пола. Возраст животных на начало исследования составлял  $(43,92 \pm 0,8)$  дня, к 60 и 120 суткам  $(102,63 \pm 0,82)$  и  $(161,1 \pm 0,9)$  дня соответственно. Животным осуществляли трансфизарное введение спицевых фиксаторов: серия 1 — спица Киршнера, серия 2 — спица Titan, серия 3 — пины из поли-L-молочной кислоты. Сроки эксперимента — 60 и 120 сут. Проведены клинические и рентгенологические исследования. Гистоморфометрия выполнена с помощью микроскопа AxioScore.A1 и программного обеспечения Zenblue (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия).

**Результаты.** Реактивные изменения пластинки роста на границе со спицей проявлялись пролиферацией хондроцитов в зоне пролиферирующего хряща и в резервной зоне, минимально выраженные изменения отмечены в серии 2, максимально выраженные — в серии 1. К концу эксперимента на границе со спицей в серии 1 регистрировали проникновение сосудов в метаэпифизарный хрящ, в серии 3 — увеличение доли волокнистого компонента, что свидетельствует об образовании в дальнейшем «костных мостиков» и «фиброзных мостиков» соответственно. В неповрежденных участках пластинки роста во всех сериях сохранялось зональное строение. К концу эксперимента отмечены повышенные значения толщины метаэпифизарного хряща (в 1,2 раза выше контроля), различия между сериями на уровне тенденции, в сериях 2 и 3 соотношение зон метаэпифизарного хряща сопоставимо с контролем, в серии 1 на 4 % увеличена доля зоны пролиферирующего хряща.

**Обсуждение.** Основной проблемой при травмах зоны роста является образование костной ткани или фиброза, которые ограничивают рост. В настоящее время дискуссионным является вопрос о выборе тактики лечения повреждений зоны роста в зависимости от величины «костных мостиков». Актуальными в перспективе являются сравнительные исследования регенерации дефектов метаэпифизарного хряща после применения фиксаторов, изготовленных из разных материалов.

**Заключение.** Гистоморфометрические характеристики зоны роста достоверно показали, что проведение спиц независимо от их материала не сопровождалось угнетением костеобразовательной функции дистального метаэпифизарного хряща бедренной кости.

**Ключевые слова:** пластинка роста, металлические и биodeградируемые фиксаторы, гистология, морфометрия

**Для цитирования:** Коробейников А.А., Ступина Т.А., Дюрягина О.В., Степанов М.А. Антонов Н.И. Оценка влияния спиц для остеосинтеза на структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща (экспериментально-морфологическое исследование). *Гений ортопедии*. 2024;30(4):561-571. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-561-571. EDN: HJSDHU.



## Evaluation of the effect of osteosynthesis wires on the structural reorganization of metaepiphyseal cartilage (an experimental and morphological study)

A.A. Korobeinikov, T.A. Stupina✉, O.V. Dyuryagina, M.A. Stepanov, N.I. Antonov

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

**Corresponding author:** Tatyana A. Stupina, [StupinaSTA@mail.ru](mailto:StupinaSTA@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** Premature arrest of bone growth is the most common complication of bone fractures at the growth plate level.

The **purpose** of the work was to evaluate the structural reorganization of metaepiphyseal cartilage following its direct injury with metal and biodegradable wires in an experiment.

**Materials and methods** The metaepiphyseal cartilage of the distal femur of 18 lambs of both sexes was studied. The age of the animals at the beginning of the study was  $(43.92 \pm 0.8)$  days, by 60 and 120 days  $(102.63 \pm 0.82)$  and  $(161.1 \pm 0.9)$  days, respectively. The animals underwent transphyseal insertion of wires/pins: series 1 — Kirschner wires, series 2 — titanium wires, series 3 — poly-L-lactic acid pins. The duration of the experiment was 60 and 120 days. Clinical and radiographic studies were carried out. Histomorphometry was performed using an AxioScope.A1 microscope and Zenblue software (CarlZeissMicroImaging GmbH, Germany).

**Results** Reactive changes in the growth plate at the interface with the wire were manifested by proliferation of chondrocytes in the zone of proliferating cartilage and in the reserve zone; the minimally expressed changes were noted in series 2, the most pronounced were in series 1. By the end of the experiment, at the interface with the wire in series 1, blood vessels penetrated into the metaepiphyseal cartilage; in series 3 the amount of the fibrous component was increased, which indicates further formation of “bone bridges” and “fibrous bridges,” respectively. In undamaged areas of the growth plate in all series, the zonal structure was preserved. By the end of the experiment, increased values of the thickness of the metaepiphyseal cartilage were noted (1.2 times higher than the control), differences between series were a tendency; in series 2 and 3 the ratio of metaepiphyseal cartilage zones was comparable to the control; in series 1 the proportion of the proliferating cartilage zone was increased by 4 %.

**Discussion** The main problem with growth plate injuries is the formation of bone tissue or fibrosis, which affects the growing process. Currently, the question of choosing a treatment tactic for growth plate injury depending on the size of the “bone bridges” is debatable. Relevant are future comparative studies of the regeneration of metaepiphyseal cartilage defects after the use of fixators made from different materials.

**Conclusion** Histomorphometric characteristics of the growth zone reliably showed that the insertion of wires, regardless of their material, was not accompanied by inhibition of the bone-forming function of the distal metaepiphyseal cartilage of the femur.

**Keywords:** growth plate, metal and biodegradable fixators, histology, morphometry

**For citation:** Korobeinikov AA, Stupina TA, Dyuryagina OV, Stepanov MA, Antonov NI. Evaluation of the effect of osteosynthesis wires on the structural reorganization of metaepiphyseal cartilage (an experimental and morphological study). *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):561-571. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-561-571

## ВВЕДЕНИЕ

Зона роста костей (физис, эпифизарная пластинка, пластинка роста, метаэпифизарный хрящ) представляет собой высокоспециализированную хрящевую ткань, расположенную между эпифизом и метафизом на проксимальном и дистальном концах длинных трубчатых костей. За счет протекающих в эпифизарной пластинке процессов энхондрального окостенения происходит продольный рост костей [1, 2]. Метаэпифизарный хрящ имеет зональное строение. Разные авторы выделяют от трех (резервная, пролиферативная, гипертрофическая) до шести зон, все классификации основаны на пролиферативной и биосинтетической активности хондроцитов, степени их дифференцировки. Эпифизарная пластинка является монополярной, так как образование кости осуществляется в одном направлении [1, 3].

Лечение повреждений (механических, инфекционных, ятрогенных, злокачественных) зоны роста представляет сложную задачу, поскольку аваскулярная природа метаэпифизарного хряща ограничивает его репаративные способности [2, 4, 5, 6].

Механические травмы зоны роста широко распространены и составляют от 15 до 30 % всех костных травм у детей, чаще встречаются у мальчиков, пик травм регистрируют в возрасте 11–14 лет [7, 8]. Основным осложнением лечения повреждений эпифизарной пластинки является преждевременное закрытие зон роста, образование костных перемычек («костных мостиков»), в результате чего происходит деформация конечности, и появляется разница в длине конечностей [7, 8, 9]. Деформации нижней конечности составляют 43,7 % всех ортопедических нарушений у детей, из них 21,4 % приходится на изменения в области коленного сустава [10].

Для лечения травмы зоны роста используют как консервативные, так и оперативные методы [7, 11, 12, 13]. При оперативном методе лечения фиксацию переломов, проходящих через зону роста, производят либо металлическими, либо биодеградируемыми костными фиксаторами [14, 15, 16, 17].

Одним из актуальных направлений детской травматологии является оценка состояния зоны роста при применении различных хирургических методик коррекции патологических состояний, связанных с нарушением ее функции. В доступной литературе отсутствуют сравнительные экспериментально-гистологические исследования влияния биодеградируемых и биодеградируемых спиц на структуру метаэпифизарного хряща.

**Цель работы** — оценить структурную реорганизацию метаэпифизарного хряща при прямом повреждении металлическими и биодеградируемыми спицами в эксперименте.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследовали метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости 18 ягнят обоего пола после трансфизарного введения спицевых фиксаторов. Сроки эксперимента составили 60 и 120 суток после операции.

Возраст животных на начало исследования составлял  $(43,92 \pm 0,8)$  дня, к 60 и 120 суткам  $(102,63 \pm 0,82)$  и  $(161,1 \pm 0,9)$  дня соответственно. Масса тела ягнят в день операции составляла  $(14,0 \pm 3)$  кг, на 60 и 120 сутки — соответственно  $(21,92 \pm 0,85)$  и  $(28,92 \pm 2,4)$  кг.

Критерии исключения: болезни опорно-двигательной системы.

Животные распределены на 3 серии. В серии 1 ( $n = 6$ ) животным трансфизарно вводили спицу из нержавеющей стали,  $d = 1,5$  мм (ФГУП «ЦИТО», Россия), в серии 2 ( $n = 6$ ) — гвоздь интрамедуллярный гибкий прямой из титана,  $d = 1,5$  мм (ООО «Ротор мед», Россия), в серии 3 ( $n = 6$ ) — биодеградируемый пин из поли-L-молочной кислоты,  $d = 1,5$  мм (Inion OTPS™, Финляндия).

Каждому животному осуществляли трансфизарное введение одного спицевого фиксатора через дистальную пластинку роста бедренной кости правой тазовой конечности. В сериях 1 и 2 введение спиц осуществляли транскутанно при помощи дрели для остеосинтеза. Спицу вводили дорсо-вентрально в латерально-медиальном направлении под углом к продольной оси кости  $30\text{--}35^\circ$  через метафиз, физис и эпифиз кости, не проникая в полость коленного сустава. После рентгенологического подтверждения правильного введения фиксатора его наружную часть скусывали кусачками на уровне корковой пластинки и прятали под кожу. При необходимости на кожу в месте введения накладывали 1–2 узловых шва Vicryl тм Plus 3–0 (Ethicon, Johnson&Johnson International, США).

Животным серии 3 выполняли разрез кожи в проекции прохождения спицы. Далее антеградно спицей Киршнера формировали канал для введения пина, при этом направление хода спицы выбирали с таким расчетом, чтобы угол пересечения с пластинкой роста составлял  $30\text{--}35^\circ$  во фронтальной плоскости. Спицу проводили до субхондрального слоя кости. Биодеградируемый пин диаметром 1,5 мм уста-

навливали в многоцветный контактный аппликатор, с помощью которого вводили в сформированный канал на всю глубину последнего. Избыточный конец пина скусывали кусачками, кожу ушивали узловыми швами Vicryl тм Plus 3–0 (Ethicon, Johnson&Johnson International, США).

Для профилактики развития воспалительных процессов всем животным назначали обезболивающее противовоспалительное средство (в/м кетопрофен 50 мг, 0,5 мл) и антимикробное средство (в/м цефтриаксон 1,0, 7–10 мг/кг). Операционную рану обрабатывали раствором перекиси водорода 3 % и фурацилина 1:5000, первые 10 дней после операции ежедневно, далее — 2 раза в нед. Швы снимали через 10–14 дней.

Во всех экспериментальных сериях спицы и пины не извлекали на протяжении всего периода наблюдения. Эвтаназию животных выполняли после премедикации раствором димедрола 1 % (0,02 мг/кг) и рометара 2 % (1 мг/кг) с последующим введением летальной дозы барбитуратов.

Содержание животных, проведение операций, манипуляций и процедур проводили в соответствии с нормативными документами: ГОСТ Р 33044-2014. Принципы надлежащей лабораторной практики, ПС СанПиН 3.3686-21 «Санитарно-эпидемиологические требования по профилактике инфекционных болезней», 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».

Для гистоморфометрического исследования фрагменты дистального суставного конца бедренной кости фиксировали в 10 % растворе нейтрального формалина, затем промывали в проточной воде и декальцинировали в смеси равных объемов раствора соляной и муравьиной кислот, обезжировали в этиловом спирте, заливали в парафин. Для получения объективной информации о качественных и количественных характеристиках изучаемого объекта использовали гистологические срезы адекватной ориентации и толщины [18]. Гистологические препараты (продольные срезы вдоль оси бедренной кости) толщиной 5,00 мкм изготавливали на микротоме HM 450 Thermo Scientific (США), окрашивали гематоксилином и эозином, трехцветным методом по Массону. Светооптическое исследование и оцифровку производили с помощью микроскопа AxioScore.A1, оснащенного цифровой камерой AxioCam (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия).

При гистологической характеристике метаэпифизарного хряща учитывали его зональность, выделение зон в направлении от эпифиза к диафизу: зона покоящегося хряща (резервная или пограничная зона); зона пролиферирующего хряща; зона пузырчатого (гипертрофированного) хряща; зона обызвествленного хряща [1].

При гистоморфометрии использовали программное обеспечение Zenblue (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). Определяли толщину метаэпифизарного хряща (hmet.car., мкм), как расстояние между его верхней и нижней границами с интервалом около 20 мкм, от каждого случая проведено 20 измерений, процентное соотношение его зон. В качестве контроля морфометрировали метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости контралатеральной конечности. Ширину зоны дефекта определяли путем 30 измерений от каждого случая.

Анализ данных проводили методами описательной статистики. Проверку выборок на нормальность распределения значений проводили с помощью критерия Колмогорова. Мера центральной тенденции представлена в виде среднего арифметического и ошибки среднего арифметического ( $M \pm m$ ), для выборок, где гипотеза о нормальности была отклонена, данные представлены в виде медианы и квартилей ( $Me (p_{25}-p_{75})$ ). Гипотезы о различиях сравниваемых групп проверяли при нормальном распределении с помощью критерия Стьюдента, при асимметричном распределении — с помощью критерия Вилкоксона, значимыми считали различия при  $p < 0,05$  (программа AtteStat, версия 9.3.1).

## РЕЗУЛЬТАТЫ

У ягнят всех экспериментальных серий опорная функция оперированной тазовой конечности была выражена уже на следующий день после оперативного вмешательства и сохранялась до окончания эксперимента. При осмотре и пальпации никаких изменений в области дистального метафиза бедра обнаружено не было. Функция коленного сустава (полное сгибание и разгибание) была полностью сохранена у всех экспериментальных животных на всех этапах наблюдения. Ограничений подвижности в коленных суставах выявлено не было.

На этапах исследования у животных всех серий в области имплантации костная ткань имела равномерную структуру. Контур эпифизарной пластинки просматривался хорошо. Видимых участков замыкания пластинки роста в прилегающих к спицам зонах не отмечалось (рис. 1).

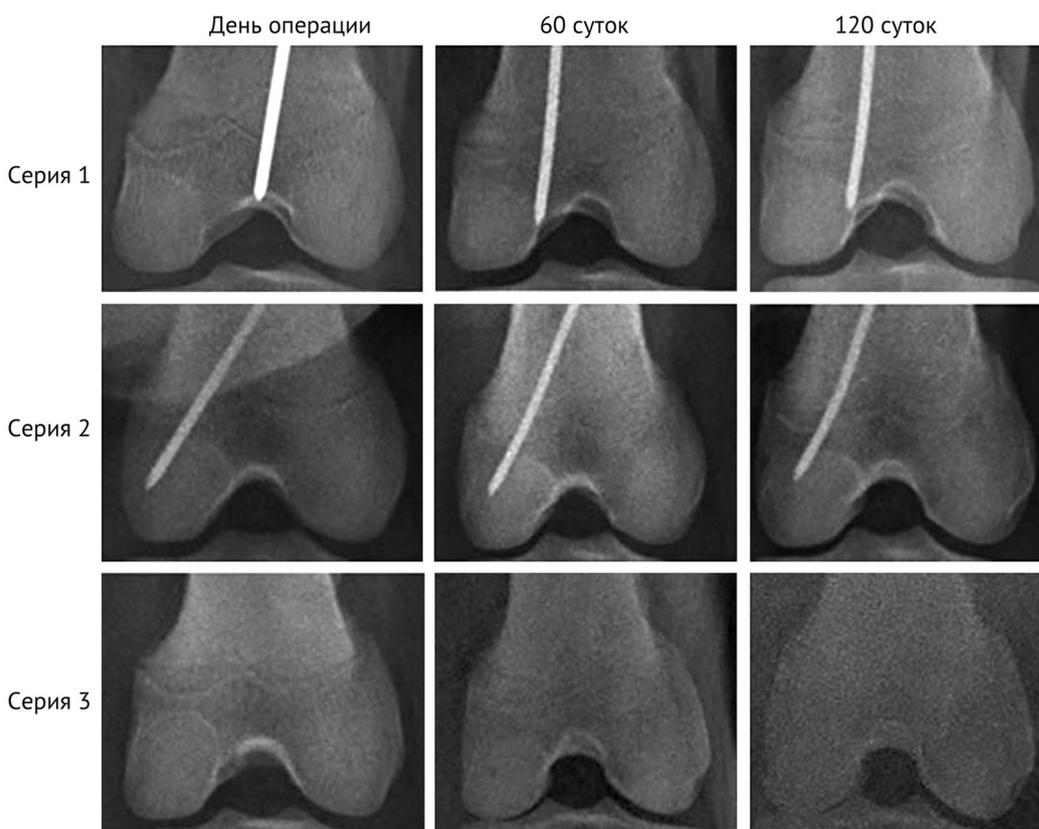


Рис. 1. Рентгенологическая картина положения спиц в метафизах бедренной кости на этапах эксперимента

В контроле метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости на протяжении всего эксперимента сохранял зональное строение. Четко определялись его зоны: пограничная (резервная) зона, граничащая с эпифизом; зона пролиферирующего хряща, пролиферирующие хондроциты расположены колонками; зона пузырьчатого хряща, представленная гипертрофированными хондроцитами; зона обызвествленного хряща, прилежащая к эндохондральной кости диафиза (рис. 2).

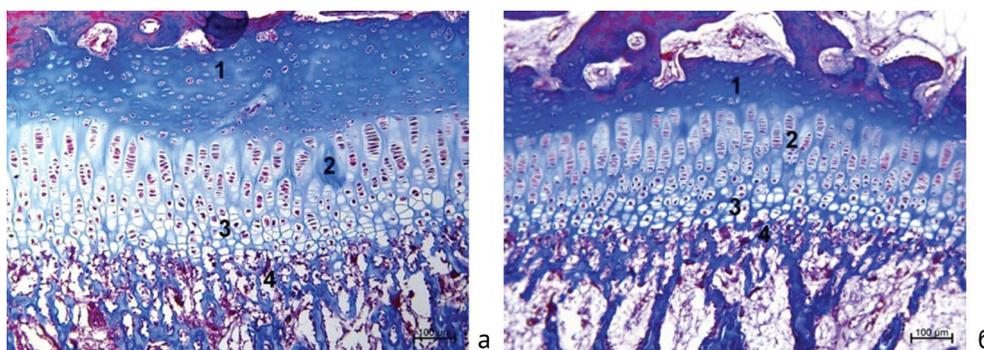


Рис. 2. Метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости контралатеральной конечности (контроль): а — возраст 3,5 мес.; б — возраст 5,5 мес.; 1 — резервная зона; 2 — зона пролиферирующего хряща; 3 — зона пузырьчатого хряща; 4 — зона обызвествленного хряща. Парафиновый срез, окраска трехцветным методом по Массону. Увеличение  $\times 100$

Толщина метаэпифизарного хряща с ростом ягнят (от 3,5 до 5,5 мес.) снижалась в среднем на 18 % (табл. 1). Снижение данного параметра обусловлено выраженным снижением толщины резервной зоны (рис. 2, рис. 5).

В экспериментальных сериях на протяжении всего исследования реактивные изменения метаэпифизарного хряща на границе со спицей проявлялись пролиферацией хондроцитов (рис. 3, 4) как в зоне пролиферирующего хряща, так и в резервной зоне, интенсивнее выраженной в серии 1. К концу эксперимента на границе со спицей во всех сериях отмечены функционально активные хондроциты в виде колонок. В серии 1 во всех наблюдениях регистрировали проникновение сосудов со стороны пограничной зоны в зону пролиферирующего хряща (рис. 4, г). В серии 3 в зоне дефекта отмечено увеличение доли волокнистого компонента (рис. 4, е).

Таблица 1

Толщина метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости на этапах эксперимента Ме (Q1; Q3)

Параметр / Серия		$h_{met.car.}$ , мкм
Контроль	60 сут.	607,59 (574,25; 644,41)
	120 сут.	493,08 (446,92; 546,37) $p^{60-120} = 0,001$
Серия 1	60 сут.	797,58 (765,21; 838,95) $p^{к-c1} = 0,0001$
	120 сут.	592,32 (457,59; 649,36) $p^{к-c1} = 0,0188$
Серия 2	60 сут.	732,32 (636,66; 773,02) $p^{к-c2} = 0,003; p^{c1-c2} = 0,004$
	120 сут.	621,11 (518,31; 780,71) $p^{к-c2} = 0,0001; p^{c1-c2} = 0,0541$
Серия 3	60 сут.	680,89 (626,01; 708,92) $p^{к-c3} = 0,0111; p^{c3-c1} = 0,0001; p^{c3-c2} = 0,0578$
	120 сут.	589,01 (522,13; 632,07) $p^{к-c3} = 0,009; p^{c3-c1} = 0,0598; p^{c3-c2} = 0,0532$

Примечание: применяли критерий Вилкоксона, различия статистически значимы при  $p < 0,05$ ,  $p^{60-12}$  — сравнение контроля на сроках эксперимента,  $p^{к-c1}$  — сравнение контроля и серии 1,  $p^{к-c2}$  — сравнение контроля и серии 2,  $p^{c1-c2}$  — сравнение серии 1 и серии 2,  $p^{к-c3}$  — сравнение контроля и серии 3,  $p^{c3-c1}$  — сравнение серии 3 и серии 1,  $p^{c3-c2}$  — сравнение серии 3 и серии 2.

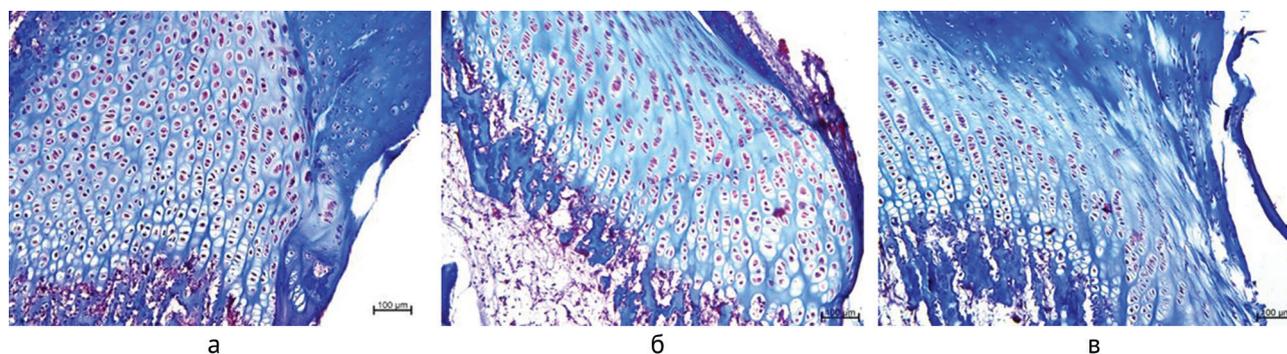


Рис. 3. Реактивные изменения метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости на границе со спицей: а — серия 1; б — серия 2; в — серия 3. Срок эксперимента — 60 суток. Фрагменты парафиновых срезов. Увеличение  $\times 100$ . Окраска трехцветным методом по Массону

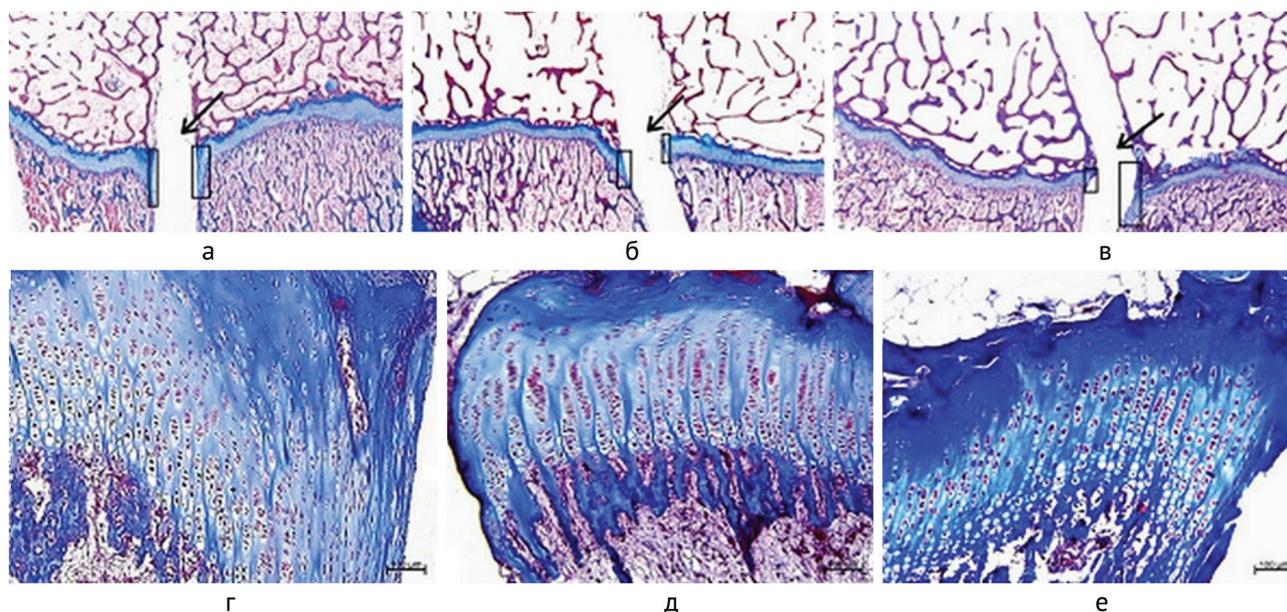


Рис. 4. Реактивные изменения метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости на границе со спицей: а, г — серия 1; б, д — серия 2; в, е — серия 3. Срок эксперимента 120 суток. Зона дефекта (расположение спицы) обозначена стрелкой. Протяженность зоны пролиферации хондроцитов на границе со спицей обозначена рамкой. Гистотопограммы (а, б, в). Фрагменты парафиновых срезов. Увеличение  $\times 100$  (г, д, е). Окраска трехцветным методом по Массону

Через 60 и 120 сут. эксперимента ширина зоны дефекта (спицевого канала) метаэпифизарного хряща ( $M \pm m$ ) составила в серии 1 —  $(1404,74 \pm 32,58)$  мкм и  $(1491,77 \pm 15,37)$  мкм соответственно, серии 2 —  $(1448,41 \pm 22,21)$  мкм и  $(1459,35 \pm 13,81)$  мкм соответственно, серии 3 —  $(1618,08 \pm 36,42)$  мкм и  $(1639,01 \pm 18,47)$  мкм соответственно, различия между сроками эксперимента не были статистически значимы ( $p > 0,05$ ), различия между сериями 1 и 2 статистически незначимы ( $p = 0,655$ ), различия серии 1 с серией 3 — на уровне тенденции ( $p = 0,0546$ ), серии 2 с серией 3 — статистически значимы ( $p = 0,0373$ ).

В неповрежденных участках метаэпифизарного хряща на протяжении всего эксперимента сохранялось зональное строение, отмечено повышение пролиферативной и биосинтетической активности хрящевых клеток в зоне пролиферирующего хряща и в пограничной зоне. В пограничной зоне и эпифизе присутствовали новообразованные участки хряща, представленные изогенными группами и отдельно расположенными хондроцитами со сформированным межтерриториальным матриксом (рис. 5).

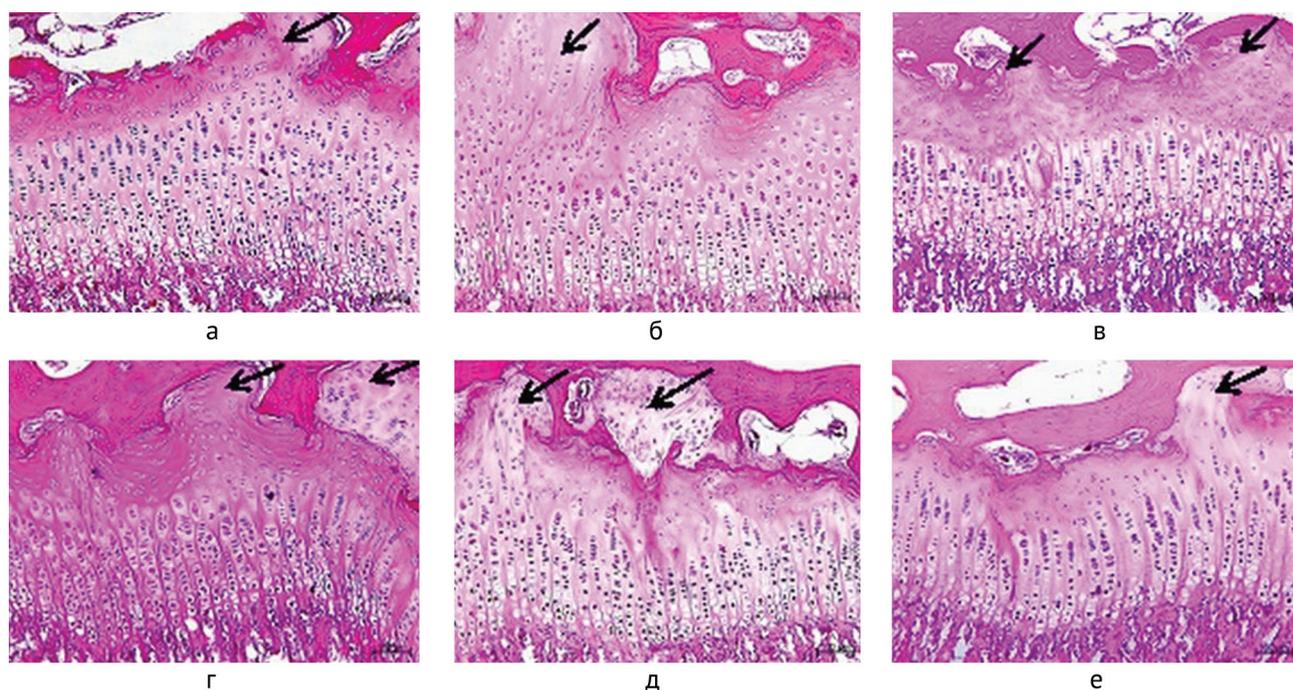


Рис. 5. Метаэпифизарный хрящ дистального отдела бедренной кости: а, г — серия 1; б, д — серия 2; в, е — серия 3. Сроки эксперимента — 60 суток (а, б, в), 120 суток (г, д, е). Новообразованные участки хряща (стрелка). Парафиновый срез, окраска гематоксилином и эозином. Увеличение  $\times 100$ .

Гистоморфометрически выявлено наиболее выраженное увеличение толщины метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости в срок эксперимента 60 сут. в серии 1 относительно контроля, различия с серией 2 и 3 — статистически значимы (табл. 1). К концу эксперимента во всех сериях сохранялись статистически значимые высокие значения данного параметра относительно контроля, различия между сериями — на уровне тенденции (табл. 1).

В контроле в процессе роста ягнят процентное соотношение зон метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости в возрасте 3,5 и 5,5 месяцев — 35:29:21:15 и 24:37:24:16 (резервная зона: зона пролиферирующего хряща: зона гипертрофированных хондроцитов: зона обызвествленного хряща) соответственно, наблюдалось выраженное (более 5 %) снижение доли резервной зоны и увеличение доли зоны пролиферирующих хондроцитов.

В экспериментальных сериях в срок 60 сут. по сравнению с контролем более выражено изменение доли резервной зоны и зоны пролиферирующего хряща. Так, доля резервной зоны в сериях 2 и 3 снижена на 13 и 9 % соответственно, в серии 1 увеличена на 3 %. Доля зоны пролиферирующего хряща во всех сериях увеличена: в сериях 1 и 3 на 5 %, в серии 2 на 15 %. Через 120 сут. эксперимента в сериях 2 и 3 соотношение зон метаэпифизарного хряща сопоставимо с контролем, в серии 1 на 4 % увеличена доля зоны пролиферирующего хряща (рис. 6).

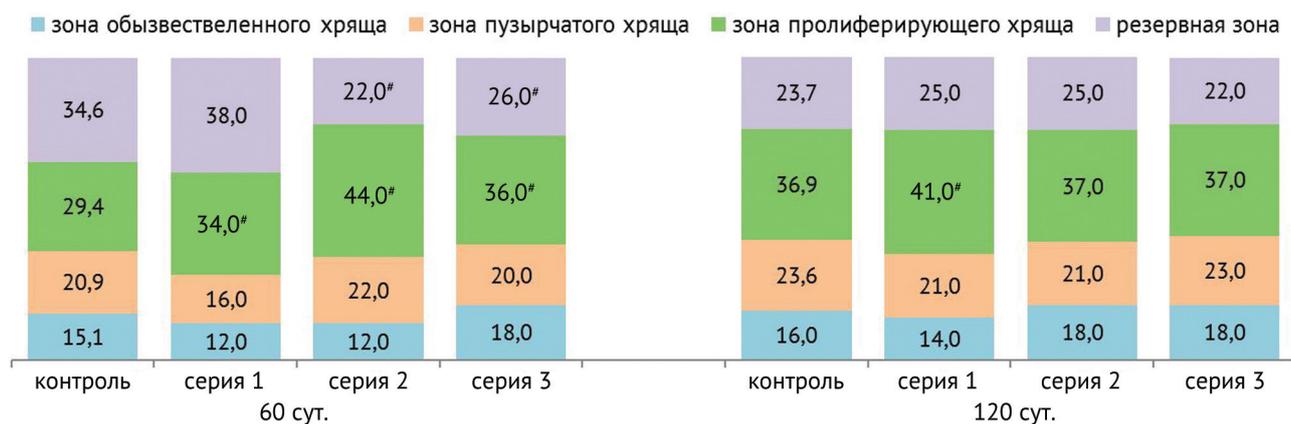


Рис. 6. Диаграмма, отражающая процентное соотношение зон метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости на этапах эксперимента; # — статистически значимые различия с контролем при  $p < 0,05$

### ОБСУЖДЕНИЕ

Основная функция метаэпифизарной пластинки — рост костей в длину за счет сбалансированной пролиферации и элиминации хондроцитов [19, 20].

Данная функция обеспечивается особенностями строения метаэпифизарной пластинки. Пограничная или резервная зона контактирует с эпифизом и характеризуется преобладанием межклеточного вещества по отношению к клеткам. Хрящевые клетки этой зоны в нормальных условиях не пролиферируют. Предполагается, что клетки этой зоны являются своеобразными стволовыми клетками, поддерживающими стабильное количество клеток в пролиферативной зоне. В зоне пролиферирующего хряща клетки активно делятся. Рост метаэпифизарного хряща происходит за счет увеличения количества хондроцитов и объема межклеточного вещества этой зоны. В зоне гипертрофированного хряща хондроциты утрачивают возможность деления, но сохраняют высокую метаболическую активность, вследствие чего значительно увеличиваются в размерах. В зоне обызвествленного хряща происходит гибель хондроцитов, кальцификация матрикса, который служит каркасом окостенения для остеобластов [1, 19].

В связи с тем, что эпифизарная пластинка является активной динамичной зоной растущей кости, она чувствительна к воздействию различных экзогенных и эндогенных факторов.

В основе развития посттравматического дефицита роста у детей лежат два механизма: образование «костных мостиков» после васкуляризации и инвазии остеобластов; ишемический некроз эпифизарного хряща вследствие травматизации [15].

В проведенном нами исследовании ни в одной из экспериментальных серий при прямом повреждении зоны роста дистального отдела бедренной кости спицей не обнаружено признаков ишемического некроза. К концу эксперимента значения ширины зоны дефекта метаэпифизарного хряща в сериях 1 и 2 сопоставимы, различия между сериями статистически не значимы ( $p > 0,05$ ), в серии 3 значения существенно выше, что обусловлено условиями введения спицы.

Во всех сериях в участках метаэпифизарного хряща на границе со спицей выявлены реактивные изменения в виде пролиферации хондроцитов пограничной (резервной) зоны и зоны пролиферирующего хряща. Минимально выраженные реактивные изменения хондроцитов отмечены в серии 2, максимально выраженные — в серии 1. В этой же серии к концу эксперимента на границе со спицей регистрировали проникновение сосудов в метаэпифизарный хрящ, что прогностически неблагоприятно для восстановления зоны роста. Сосуды в метаэпифизарном хряще со стороны кости являются источником остеобластов, формирующих «костные мостики». В серии 3 к концу эксперимента в прилежащих к спице участках метаэпифизарного хряща отмечено увеличение доли волокнистого компонента, что может свидетельствовать об образовании в дальнейшем так называемого «фиброзного мостика».

Полученные гистоморфометрические характеристики неповрежденных участков зоны роста указывали на то, что проведение спиц, независимо от их материала, не сопровождалось угнетением костеобразовательной функции дистального метаэпифизарного хряща бедренной кости. Это подтверждается сохранением в срок эксперимента 120 сут. статистически значимых повышенных значений толщины метаэпифизарного хряща (в 1,2 раза выше контроля), различия между сериями — на уровне тенденции. Увеличение данного параметра происходило за счет повышения пролиферативной и биосинтетической активности хрящевых клеток в зоне пролиферирующего хряща и в пограничной зоне.

Работы ряда авторов показали, что пропорции зон в метаэпифизарном хряще для каждого вида млекопитающих (крыса, кролик, свинья, теленок) различны [1, 21, 22]. Данных о соотношении зон метаэпифизарного хряща у ягнят в разные возрастные периоды в доступной литературе не обнаружены.

В проведенном нами исследовании у ягнят в процессе роста (в возрасте 3,5 и 5,5 месяцев) впервые определено соотношение зон метаэпифизарного хряща дистального отдела бедренной кости. Зарегистрированы наиболее существенные изменения толщины резервной зоны (уменьшение) и зоны пролиферирующего хряща (увеличение).

A. Celarek et al. в эксперименте на овцах установили, что в возрасте 3,5 мес. при механическом воздействии наиболее уязвимой является зона пролиферирующего хряща, в которой были выявлены микроскопические трещины [23].

Известно, что основными факторами нормального роста метаэпифизарного хряща являются сосудистая поддержка и ненарушенная функция зоны пролиферирующего хряща [2, 15, 24].

Основной проблемой при травмах зоны роста является образование костной ткани («костный мостик») и/или фиброза («фиброзный мостик»), которые ограничивают рост и могут привести к угловым деформациям или несоответствию длины конечностей [25, 26, 27].

Эффективность хирургического удаления «костных мостиков» из эпифизарной пластинки дискуссионна, а данные мировой литературы противоречивы. Так, H.A. Peterson сообщает, что функция оперированной зоны роста относительно аналогичной зоны здоровой конечности может варьировать от 0 до 200 % [28]. То есть функция метаэпифизарного хряща может быть полностью подавлена или значительно увеличена.

Хирургические методы лечения повреждений пластинки роста представляют безусловный интерес, но требуют дополнительных детальных исследований и анализа [11]. Вплоть до настоящего времени дискуссионным является вопрос о выборе тактики лечения повреждений зоны роста в зависимости от величины «костных мостиков». По данным одних авторов, хирургический метод лечения применяют, когда «костный мостик» занимает более 33 % пластинки роста, по мнению других, — когда «костный мостик» более 50 % [26, 29, 30, 31].

С этой точки зрения, актуальными в перспективе являются сравнительные экспериментально-морфологические исследования регенерации дефектов метаэпифизарного хряща после применения спиц, изготовленных из разных материалов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выявленные структурные изменения метаэпифизарного хряща в экспериментальных сериях характерны для репаративной фазы. На границе со спицами наблюдали активную пролиферативную и биосинтетическую активность хондроцитов, интенсивнее выраженную в серии 1.

Гистоморфометрические характеристики неповрежденных участков зоны роста показали, что проведение спиц, независимо от их материала, не сопровождалось угнетением костеобразовательной функции дистального метаэпифизарного хряща бедренной кости. В экспериментальных сериях по сравнению с контролем более выражено изменение доли резервной зоны и зоны пролиферирующего хряща. К концу эксперимента в сериях 2 и 3 соотношение зон метаэпифизарного хряща сопоставимо с контролем, в серии 1 на 4 % увеличена доля зоны пролиферирующего хряща.

**Конфликт интересов.** Не заявлен.

**Финансирование.** Работа поддержана программой МЗ РФ в рамках государственного задания ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» для выполнения НИР на 2024–2026 гг.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Заварухин В.И., Моренко Е.С., Свиридов М.К., Говоров А.В. Эмбриональное развитие и строение зоны роста. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2015;3(2):61–65. doi: 10.17816/PTORS3261-65
2. Wang X, Li Z, Wang C, et al. Enlightenment of Growth Plate Regeneration Based on Cartilage Repair Theory: A Review. *Front Bioeng Biotechnol*. 2021;9:654087. doi: 10.3389/fbioe.2021.654087
3. Kazemi M, Williams JL. Properties of Cartilage-Subchondral Bone Junctions: A Narrative Review with Specific Focus on the Growth Plate. *Cartilage*. 2021;13(2\_suppl):16S–33S. doi: 10.1177/1947603520924776
4. Takeuchi A, Yamamoto N, Hayashi K, et al. Growth of epiphysis after epiphyseal-preservation surgery for childhood osteosarcoma around the knee joint. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):185. doi: 10.1186/s12891-018-2109-4

5. Qi L, Jiang Y, Wang Y, et al. The use of the pediatric physeal slide-traction plate in the treatment of neer-horwitz grade IV proximal humeral fractures in children: A case report and literature review. *Front Surg*. 2022;9:960541. doi: 10.3389/fsurg.2022.960541
6. Tiffany AS, Harley BAC. Growing Pains: The Need for Engineered Platforms to Study Growth Plate Biology. *Adv Healthc Mater*. 2022;11(19):e2200471. doi: 10.1002/adhm.202200471
7. Dover C, Kiely N. Growth plate injuries and management. *Orthopaedics and Trauma*. 2015;29(4): 261-267. doi: 10.1016/j.mporth.2015.04.002
8. Sananta P, Lesmana A, Alwy Sugiarto M. Growth plate injury in children: Review of literature on PubMed. *J Public Health Res*. 2022;11(3):22799036221104155. doi: 10.1177/22799036221104155
9. Levine RH, Thomas A, Nezwek TA, et al. Salter-Harris Fracture. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publ.; 2024. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK430688/>. Accessed May 17, 2024.
10. Бровин Д.А., Трофимова Т.Н., Кенис В.М., Брайлов С.А. Диффузионно-тензорная магнитно-резонансная томография зоны роста кости: обоснование методики и оценка ее воспроизводимости. *Лучевая диагностика и терапия*. 2022;13(3):67-76, doi: 10.22328/2079-5343-2022-13-3-67-76
11. Соколовский О.А., Сердюченко С.Н., Бродко Г.А., Деменцов А.Б. Хирургия зоны роста: история и перспективы. *Медицинские новости*. 2011;(7):31-35.
12. Коробейников А.А., Аранович А.М., Попков Д.А. Метод Илизарова при лечении детей с околосуставными переломами. *Гений ортопедии*. 2021;27(4):418-423. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-4-418-423
13. Miyamura S, Tanaka H, Oka K, et al. Physeal bar resection using a patient-specific guide with intramedullary endoscopic assistance for partial physeal arrest of the distal radius. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018;138(8):1179-1188. doi: 10.1007/s00402-018-2985-y
14. Ласкомб П., Журно П., Попков Д.А. Резорбируемые импланты в детской ортопедии и травматологии. *Гений ортопедии*. 2023;29(6):629-634. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-6-629-634
15. Hajdu S, Schwendenwein E, Kaltenecker G, et al. The effect of drilling and screw fixation of the growth plate--an experimental study in rabbits. *J Orthop Res*. 2011;29(12):1834-1839. doi: 10.1002/jor.21463
16. Sheikh Z, Najeeb S, Khurshid Z, et al. Biodegradable Materials for Bone Repair and Tissue Engineering Applications. *Materials* (Basel). 2015;8(9):5744-5794. doi: 10.3390/ma8095273
17. Fan XL, Wang J, Zhang DH, et al. Antegrade intramedullary fixation for adolescent fifth metacarpal neck fracture and its impact on epiphyseal growth. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):546. doi: 10.1186/s12891-021-04436-w
18. Щудло М.М., Варсегова Т.Н., Ступина Т.А. и др. Проблема эффекта Холмса в количественной телепатологии (методические аспекты). *Известия Челябинского научного центра*. 2003;(1):120-124.
19. Ağirdil Y. The growth plate: a physiologic overview. *EFORT Open Rev*. 2020;5(8):498-507. doi: 10.1302/2058-5241.5.190088
20. Fernández-Iglesias Á, Fuente R, Gil-Peña H, et al. The Formation of the Epiphyseal Bone Plate Occurs via Combined Endochondral and Intramembranous-Like Ossification. *Int J Mol Sci*. 2021;22(2):900. doi: 10.3390/ijms22020900
21. Villemure I, Stokes IA. Growth plate mechanics and mechanobiology. A survey of present understanding. *J Biomech*. 2009;42(12):1793-803. doi: 10.1016/j.jbiomech.2009.05.021
22. D'Andrea CR, Alfraihat A, Singh A, et al. Part 2. Review and meta-analysis of studies on modulation of longitudinal bone growth and growth plate activity: A micro-scale perspective. *J Orthop Res*. 2021;39(5):919-928. doi: 10.1002/jor.24992
23. Celarek A, Fischerauer SF, Weinberg AM, Tschegg EK. Fracture patterns of the growth plate and surrounding bone in the ovine knee joint at different ages. *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014;29:286-294. doi: 10.1016/j.jmbbm.2013.09.010
24. Chung R, Xian CJ. Recent research on the growth plate: Mechanisms for growth plate injury repair and potential cell-based therapies for regeneration. *J Mol Endocrinol*. 2014;53(1):T45-T61. doi: 10.1530/JME-14-0062
25. Shaw N, Erickson C, Bryant SJ, et al. Regenerative Medicine Approaches for the Treatment of Pediatric Physeal Injuries. *Tissue Eng Part B Rev*. 2018;24(2):85-97. doi: 10.1089/ten.TEB.2017.0274.
26. Yu Y, Fischenich KM, Schoonraad SA, et al. A 3D printed mimetic composite for the treatment of growth plate injuries in a rabbit model. *NPJ Regen Med*. 2022;7(1):60. doi: 10.1038/s41536-022-00256-1
27. Guo R, Zhuang H, Chen X, et al. Tissue engineering in growth plate cartilage regeneration: Mechanisms to therapeutic strategies. *J Tissue Eng*. 2023; 14:20417314231187956. doi: 10.1177/20417314231187956
28. Peterson HA. Partial growth plate arrest and its treatment. *J Pediatr Orthop*. 1984;4(2):246-258. doi: 10.1097/01241398-198403000-00015
29. Khoshhal KI, Kiefer GN. Physeal bridge resection. *J Am Acad Orthop Surg*. 2005;13(1):47-58. doi: 10.5435/00124635-200501000-00007
30. Moreta J, Abril JC, Miranda C. Arthroscopy- assisted resection-interposition of post-traumatic central physeal bridges. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2013;57(5):333-339. (In Span.) doi: 10.1016/j.recot.2013.07.004
31. Ladenhauf HN, Jones KJ, Potter HG, et al. Understanding the undulating pattern of the distal femoral growth plate: Implications for surgical procedures involving the pediatric knee: A descriptive MRI study. *Knee*. 2020;27(2):315-323. doi: 10.1016/j.knee.2020.02.003

Статья поступила 19.04.2024; одобрена после рецензирования 15.05.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 19.04.2024; approved after reviewing 15.05.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Анатолий Анатольевич Коробейников — кандидат медицинских наук, заведующий лабораторией, koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>;

Татьяна Анатольевна Ступина — доктор биологических наук, ведущий научный сотрудник, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>;

Ольга Владимировна Дюрягина — кандидат ветеринарных наук, заведующая лабораторией, diuriagina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

Михаил Александрович Степанов — кандидат ветеринарных наук, ветеринарный врач, m-stepanov@mail.ru;

Николай Иванович Антонов — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, aniv-niko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>.

**Information about the authors:**

Anatoly A. Korobeinikov — Candidate of Medical Sciences, Head of Laboratory, koroban@list.ru, <https://orcid.org/0009-0005-0326-8285>;

Tatyana A. Stupina — Doctor of Biological Sciences, Leading Researcher, StupinaSTA@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-3434-0372>;

Olga V. Dyuryagina — Candidate of Veterinary Sciences, Head of Laboratory, diuriagina@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>;

Mikhail A. Stepanov — Candidate of Veterinary Sciences, veterinarian, m-stepanov@mail.ru;

Nikolai I. Antonov — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, aniv-niko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>

**Вклад авторов**

Все авторы принимали участие в разработке концепции статьи и в написании рукописи. Окончательная версия рукописи была одобрена всеми авторами. Авторы несут полную ответственность за представление окончательной версии рукописи в печать.

Научная статья

УДК 617.586-007.5-053.1:616.748.54-018.38-089.85-003.93-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-572-580>



## Особенности регенерации пяточного сухожилия после его поперечной тенотомии с сохранением перитенона и его структур в эксперименте

М.В. Власов, Н.Ю. Широкова, И.В. Мусихина✉

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

Автор, ответственный за переписку: Ирина Владимировна Мусихина, [i\\_musihina@mail.ru](mailto:i_musihina@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Техника лечения врожденной косолапости по методу Ponseti является методом выбора, однако возможности репарации ахиллова сухожилия после поперечной тенотомии у пациентов детского возраста практически не изучены.

**Цель работы** — выявить особенности процессов репарации пяточного сухожилия при его поперечном пересечении с сохранением перитенона и его структур (сосудов, нервов) в эксперименте на растущих кроликах.

**Материалы и методы.** В экспериментальное исследование в качестве биомодели включены 20 кроликов породы Шиншилла обоего пола в возрасте 1,0–1,5 мес. с массой  $(1476,0 \pm 114,3)$  г. Кроликов выводили из эксперимента по пять особей путем воздушной эмболии под местной анестезией на 15, 30, 60 и 90 сут. после операции.

**Результаты.** К исходу 90 сут. зона дефекта сухожилия представлена, с одной стороны, небольшими участками плотной волокнистой рубцовой изменённой ткани с малым количеством клеточных элементов фибробластов, а с другой, — среди пластов соединительной ткани обнаружены волокна сухожилия обычной архитектоники с взаимно параллельным волнистым расположением. Толщина коллагеновых волокон I порядка увеличивалась до  $(8,9 \pm 1,32)$  мкм, при сравнении с показателем нормы —  $(9,2 \pm 1,88)$  мкм — статистически значимой разницы не отмечено ( $p = 0,38$ ). Толщина коллагеновых волокон II порядка к этому сроку увеличивалась до  $(28,1 \pm 1,28)$  мкм, по отношению к нормативному показателю —  $(28,3 \pm 2,23)$  мкм — статистически значимой разницы не определено ( $p = 0,64$ ).

**Обсуждение.** По данным литературы, с возрастом способность тенобласта синтезировать структурные белки и регуляторные биомолекулы после травмы снижаются, это приводит к фиброзному восстановлению сухожилия и формированию постоянного рубца. Выполненное нами исследование на растущих кроликах показало, что уже к 60 сут. эксперимента происходит восстановление органотипической структуры сухожилия в зоне его пересечения, а к исходу 90 сут. зона дефекта пяточного сухожилия представлена сухожильноподобной тканью.

**Заключение.** Процессы репарации ахиллова сухожилия после его рассечения с сохранением перитенона и его сосудов и нервов протекают в оптимальных условиях, при которых в короткие сроки (уже через 3 мес. после вмешательства) образуется сухожильная ткань, максимально напоминающая первоначальную.

**Ключевые слова:** врожденная косолапость, метод Ponseti, регенерация пяточного сухожилия, микроморфометрия, эксперимент, кролики

**Для цитирования:** Власов М.В., Широкова Н.Ю., Мусихина И.В. Особенности регенерации пяточного сухожилия после его поперечной тенотомии с сохранением перитенона и его структур в эксперименте. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):572-580. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-572-580. EDN: IFUDSG.

## Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-572-580>



## Achilles tendon regeneration after experimental transverse tenotomy with preserved peritenon and the structures

M.V. Vlasov, N.Yu. Shirokova, I.V. Musikhina✉

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

**Corresponding author:** Irina V. Musikhina, [i\\_musihina@mail.ru](mailto:i_musihina@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** The Ponseti method is the first choice for congenital clubfoot with the possibilities of transverse tenotomy being underexplored in repair of the Achilles tendon in pediatric patients.

The **objective** was to identify specific features of the Achilles tendon repair after experimental transverse intersection and preserved peritenon, vessels and nerves of growing rabbits.

**Material and methods** The experimental study included 20 Chinchilla rabbits of both sexes aged 1.0–1.5 months used as a biomodel with a weight of  $1476.0 \pm 114.3$  g. Rabbits were sacrificed in groups of five by air embolism under local anesthesia at 15, 30, 60 and 90 days of surgery.

**Results** The tendon defect zone was represented by small areas of dense fibrous scar tissue with some cellular fibroblasts, and tendon fibers of unremarkable architectonics arranged in a mutually parallel waves could be seen in the layers of connective tissue at 90 days. The thickness of the first-order collagen fibers increased to  $8.9 \pm 1.32$   $\mu\text{m}$  and comparison with the normal value of  $9.2 \pm 1.88$   $\mu\text{m}$  showed no statistically significant difference ( $p = 0.38$ ). The thickness of the second-order collagen fibers increased to  $28.1 \pm 1.28$   $\mu\text{m}$  during the time, and comparison with the standard measurements of  $28.3 \pm 2.23$   $\mu\text{m}$  demonstrated no statistically significant difference ( $p = 0.64$ ).

**Discussion** According to the literature, the ability of the tenoblast to synthesize structural proteins and regulatory biomolecules after injury decreases with age and leads to fibrous restoration of the tendon and formation of a permanent scar. Our study on growing rabbits showed that the organotypic structure of the experimental tendon restored at the intersection site at 60 days with the Achilles tendon defect being represented by the tendon-like tissue at 90 days.

**Conclusion** The Achilles tendon was shown to regenerate in optimal conditions after the dissection and preservation of the peritenon, vessels and nerves with tendon tissue being formed within a short time (3 months after the intervention) being identical to the original.

**Keywords:** congenital clubfoot, Ponseti method, Achilles tendon regeneration, micromorphometry, experiment, rabbit

**For citation:** Vlasov MV, Shirokova NYu, Musikhina IV. Achilles tendon regeneration after experimental transverse tenotomy with preserved peritenon and the structures. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):572-580. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-572-580

## ВВЕДЕНИЕ

Лечение врожденной косолапости имеет долгую историю: от консервативной техники J.H. Kite (1972) [1] и разнообразных оперативных вмешательств до техники I. Ponseti [2–6]. Методика устранения деформации по Ponseti является «золотым стандартом» при лечении врожденной косолапости и сводится к одновременному устранению основных компонентов деформации стопы, наложению гипсовых повязок, тенотомии укороченного ахиллова сухожилия и длительного ношения корригирующих отводящих шин [7–14]. При этом в 70–85 % случаев коррекция эквинуса стопы достигается за счет чрескожной поперечной тенотомии ахиллова сухожилия [15–19].

Несмотря на то, что в литературе достаточно широко отражены вопросы регенерации сухожильных структур [20–22], научный интерес к данной проблеме не утрачен до настоящего времени. Так, регенерация сухожилий может происходить за счет внутренних ресурсов путем пролиферации и миграции теноцитов из эпитенона и эндотенона в место повреждения или внешних путем проникновения клеток из окружающего влагиалища сухожилия и синовиума [23–24]. В настоящее время считается, что регенерация сухожилия включает как внутренние, так и внешние механизмы, причем последние преобладают на ранних этапах, а внутренние — в более поздние сроки [25]. Оба источника регенерации важны в синтезе внеклеточного матрикса (ECM) и в создании внутренней неоваскулярной сети [26]. По данным некоторых авторов, ультраструктурные характеристики остаются измененными даже через 12 мес. после травмы [27]. Регенерат сухожилия имеет рубцовоподобный характер и никогда полностью не восстанавливает биомеханические свойства, которые у него были до повреждения [28]. Так, по данным C. Frank, D. McDonald, N. Shrive [29], ремоделирование сухожильной ткани может продолжаться в течение нескольких лет, при этом сухожилия, как правило, демонстрируют значительное снижение структурных и механических свойств сразу после травмы с последующим медленным, но неполным восстановлением до первоначальных параметров.

Таким образом, хотя ахиллопластика входит в стандарт лечения детей с врожденной косолапостью по методике Ponseti, практически отсутствуют данные о репаративных процессах пяточного сухожилия после его пересечения с сохранением перитенона у растущих организмов. При оперативном вмешательстве практикующий детский ортопед стремится получить результат, при котором любая структура (костная, сухожильная ткань), подвергшаяся хирургическому воздействию, была бы в итоге максимально приближенной к нормальной анатомии детского организма. В связи с этим, изучение изменений, происходящих в ахилловом сухожилии после его пересечения при лечении врожденной косолапости, имеет большое практическое значение. От того, насколько качественно происходит восстановление пяточного сухожилия и в какие временные сроки, напрямую зависит эффективность процесса реабилитации этой группы пациентов: длительность иммобилизации, безопасность механической нагрузки, активность занятия ЛФК. Для изучения изменений, происходящих в сухожилии при выполнении поперечной ахиллотомии без повреждения перитенона и структур в нем расположенных (сосуды, нервы), нами выполнена экспериментальная работа на растущих животных.

**Цель работы** — выявить особенности процессов репарации пяточного сухожилия при его поперечном пересечении с сохранением перитенона и его структур (сосудов, нервов) в эксперименте на растущих кроликах.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Особенности репарации ахиллова сухожилия после его поперечной тенотомии без пересечения соединительнотканного влагиалища — перитенона изучены в эксперименте у растущих животных. В экспериментальное исследование в качестве биомодели включены 20 кроликов породы Шиншилла обоего пола в возрасте 1–1,5 месяцев с массой ( $1476,0 \pm 114,3$ ) г. Содержание конвенциональных животных осуществляли в стандартных условиях вивария университетской клиники согласно правилам «Европейской конвенции о защите позвоночных животных, используемых для экспериментов или в иных научных целях» (Страсбург, 18.05.2014). Экспериментальная часть работы выполнена с учетом требований, изложенных в приказе Минздравсоцразвития РФ № 708н от 23.08.2010 «Об утверждении правил лабораторной практики».

Кроликов выводили из эксперимента по пять особей путем воздушной эмболии под местной анестезией на 15, 30, 60 и 90-е сут. после тенотомии ахиллова сухожилия. Сроки изучения репаративной регенерации сухожильной ткани выбраны на основе литературных данных [30]. Во всех сериях эксперимента препарат ахиллова сухожилия интактной конечности кролика исследован для определения параметров возрастной нормы. Гистологическому исследованию подвергли зону регенерата ахиллова сухожилия, также осуществляли подсчет коллагеновых волокон I и II порядка.

В эксперименте воспроизведена ситуация, когда при выполнении подкожного поперечного пересечения ахиллова сухожилия не повреждается перитенон и структуры в нем расположенные (сосуды,

нервы). Под общей анестезией скальпелем по задней поверхности голени с отступом 1 см от места прикрепления ахиллова сухожилия к бугру пяточной кости продольно на протяжении 0,3–0,5 см пересекали кожу, подкожную клетчатку. После производили продольное рассечение сухожильного влагалища — перитенона с пересечением всех его слоев (паратенон и эпитенон) на длину кожного разреза. Субперитеноноально выделяли пяточное сухожилие, которое пересекали скальпелем № 11 в поперечном направлении без нанесения дополнительного повреждения соединительнотканному влагалищу — перитенону. Затем лапе животного придавали положение тыльной флексии с расхождением концов пересеченного сухожилия на 0,5–0,7 см внутри соединительнотканного влагалища. Кожную рану не ушивали. Осуществляли фиксацию оперированной конечности кролика гипсовой лонгетной повязкой от верхней трети бедра со стопой в течение 2 нед. После снятия гипсовой повязки нагрузку оперированной конечности кролика искусственно не ограничивали.

Полученные образцы тканей фиксировали в 10 % растворе забуференного нейтрального формалина с последующей их декальцинацией в среде Biodec-R (Bio-Optica). Гистологическую проводку препаратов проводили по общепринятой методике на аппарате Excelsior ES (Thermo Scientific). При помощи станции для заливки образцов тканей в парафин HistoStar (Thermo Scientific) изготавливали парафиновые блоки. На микротоме Microm HM 325 (Thermo Scientific) с парафиновых блоков изготавливали гистологические срезы толщиной 4–6 мкм, которые окрашивали гематоксилином и эозином и заключали в монтирующую среду. Микроскопию и фотофиксацию гистологических препаратов проводили при помощи морфометрического комплекса Leica DMR.

Статистическую обработку результатов исследования проводили с использованием пакета прикладных программ Statistika 12.0. Статистическая проверка нормальности распределения выполнена с помощью критерия W Шапиро – Уилка. Учитывая, что часть выборок не отвечала нормальному закону распределения и имела малый объем, то для дальнейшей работы с выборками использован непараметрический метод — W-критерий Вилкоксона.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

Результаты межгруппового сравнения толщины коллагеновых волокон I и II порядка в норме и в зоне регенерата в разные сроки вывода животных представлены в таблице 1.

Таблица 1

Сравнительный анализ толщины коллагеновых волокон I и II порядка в норме и в зоне регенерата

Сроки вывода из эксперимента		Толщина коллагеновых волокон, мкм	
		I порядка	II порядка
Норма (n = 5)	M ± SD	9,2 ± 1,88	28,3 ± 2,23
14 сут. (n = 5)	M ± SD	4,8 ± 1,81	16,4 ± 2,27
	p-level	<b>p* = 0,005</b>	<b>p* = 0,0003</b>
30 сут. (n = 5)	M ± SD	6,9 ± 1,42	20,5 ± 2,49
	p-level	<b>p* = 0,002, p** = 0,04</b>	<b>p* = 0,0003, p** = 0,01</b>
60 сут. (n = 5)	M ± SD	8,5 ± 1,43	25,2 ± 2,54
	p-level	<b>p* = 0,13, p** = 0,02</b>	<b>p* = 0,07, p** = 0,01</b>
90 сут. (n = 5)	M ± SD	8,9 ± 1,32	28,1 ± 1,28
	p-level	<b>p* = 0,38, p** = 0,14</b>	<b>p* = 0,64, p** = 0,07</b>

Примечание: M — среднее, SD — среднеквадратичное стандартное отклонение, указывающее на разброс данных по интервалу значения признака относительно среднего; p-level (p\*) — уровень достоверности (знаково-ранговый критерий Вилкоксона) различий по отношению к показателям нормы; p\*\* — уровень достоверности различий по отношению к показателям предыдущих суток.

Через 15 сут. после хирургического вмешательства область травматического повреждения была представлена бесклеточными участками и лизированными коллагеновыми волокнами. На этом фоне значительную площадь препарата занимали тонкие коллагеновые волокна, формирующие войлокоподобную сеть, перемежающуюся с небольшими очагами некроза. Вместе с тем, жировая ткань имела небольшую площадь. Большое количество клеток фибробластического ряда, отличающихся по форме и размерам, располагалось вдоль пучков коллагеновых волокон или формировало пролифераты.

В ряде участков зоны дефекта определяли молодую, частью созревающую грануляционную ткань с преобладанием в клеточном составе гистиоцитов и фибробластов с большим содержанием тонкостенных сосудов. В участках сухожилия, непосредственно прилегающих к зоне повреждения, на небольшом протяжении сохранялась аксиальная направленность коллагеновых волокон, однако наличие «вставочных» пучков приводило к нарушению ориентации большинства волокон, в результате чего истонченные и фрагментированные пучки коллагеновых волокон приобретали извилистые контуры. В данной зоне определяли очаги деструкции или обширной пролиферации клеток (рис. 1).

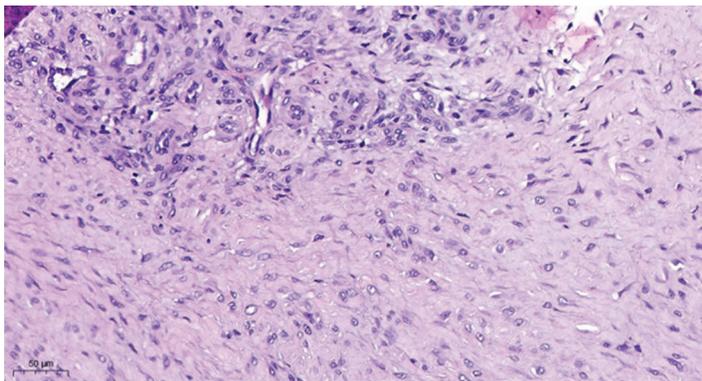


Рис. 1. Продольный срез пяточного сухожилия кролика в зоне дефекта. Срок опыта: 15 суток. Участок грануляционной ткани, замещающий рубцовую ткань с большим количеством фибробластов. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 200$

Кроме того, в этой зоне определяли участки деструкции сухожилия с потерей розовой окраски с фокусами замещения как плотной волокнистой оформленной соединительной тканью, так и небольшими участками рыхлой неоформленной богатоклеточной тканью с большим количеством гистиоцитарных элементов.

На этом сроке эксперимента в зоне дефекта сформирован более тонкий регенерат с упорядоченной структурой, не содержащий избыточных коллагеновых структур. В рубцовой ткани определяли преобладание клеток фиброцитарного ряда, располагавшихся между параллельно расположенными пучками коллагеновых волокон. Данное строение рубцовой ткани было максимально приближено к исходной сухожильной ткани, что подтверждено наличием пучков коллагеновых волокон I и II порядка, плотно прилегающих друг к другу, между которыми располагались участки рыхлой соединительной ткани с небольшим количеством кровеносных сосудов.

К 15 сут. толщина коллагеновых волокон I порядка достигала ( $4,80 \pm 1,81$ ) мкм, что статистически значимо меньше по отношению к показателю нормы — ( $9,20 \pm 1,88$ ) мкм,  $p = 0,005$ . Толщина коллагеновых волокон II порядка к этому сроку была равна ( $16,40 \pm 2,27$ ) мкм и по сравнению с показателем нормы — ( $28,30 \pm 2,23$ ) мкм — определена статистически значимая разница,  $p = 0,001$ .

На 30 сут. от начала эксперимента в перифокальной зоне сухожилия определены достаточно протяжённые участки взаимно параллельно ориентированных пучков сухожильных волокон с хорошо различимыми ядрами теноцитов, разделенных эндотендинием. В этот срок эксперимента отмечено увеличение толщины пучков коллагеновых волокон, которые приобрели волнистую конфигурацию, свойственную структурной организации сухожилия в норме. Однако сохранялась часть коллагеновых конструкций с меньшей степенью структурированности и отсутствием волнистости. Представительство жировой ткани по сравнению с предыдущим сроком исследования по занимаемой площади было более распространённым и имело вид очаговых разрастаний. Однако на некотором протяжении в зоне дефекта отмечено разрастание плотной волокнистой соединительной ткани рубцового характера с небольшим содержанием сосудов капиллярного типа, клеточных элементов фибробласто-гистиоцитарного ряда. Отсутствовали однонаправленность и упорядоченность расположения коллагеновых волокон в структуре регенерата с нахождением участков невысокой плотности фибробластов, различающихся формой и размерами ядра (рис. 2).

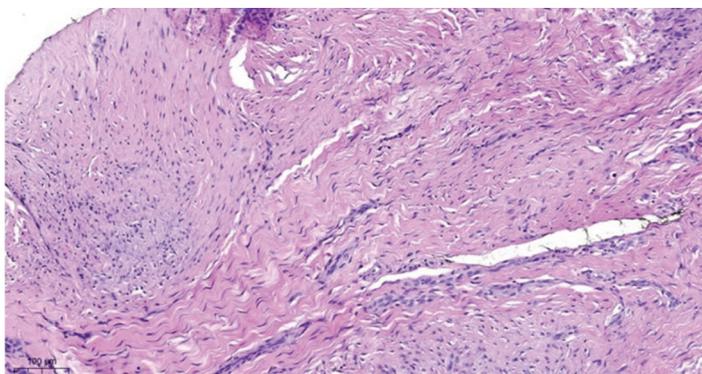


Рис. 2. Продольный срез пяточного сухожилия кролика в зоне дефекта. Срок опыта: 30 суток. Участки параллельно ориентированных пучков сухожильных волокон с волнистой конфигурацией. Разрастание рубцовой ткани. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 100$

К 30 сут. толщина коллагеновых волокон I порядка увеличилась до ( $6,90 \pm 1,42$ ) мкм, по сравнению со значением 15 сут. — ( $4,80 \pm 1,81$ ) мкм — разница статистически значима,  $p = 0,04$ . При сравнении с показателем нормы — ( $9,20 \pm 1,88$ ) мкм — сохранялась выраженная разница,  $p = 0,002$ . Толщина колла-

геновых волокон II порядка к 30 сут. статистически значимо увеличивалась до  $(20,50 \pm 2,49)$  мкм по отношению к показателю предыдущих суток —  $(16,40 \pm 2,27)$  мкм,  $p = 0,01$ . Однако значение толщины коллагеновых волокон II порядка было статистически значимо меньше по отношению к нормативному показателю,  $p = 0,001$ .

На сроке 60 сут. в зоне травматического повреждения выявлены обширные пласты сохранной сухожильной ткани с плотными пучками коллагеновых волокон. На небольшой площади срезов обнаружены небольшие участки богатоклеточной соединительной ткани, местами рубцового характера (рис. 3). Образованная рубцовая ткань характеризовалась типичным расположением коллагеновых волокон, частью с разнонаправленными областями с уплотнённой упаковкой, частью — с рыхлой упаковкой пучков, местами с признаками дистрофических изменений. В рубцовой ткани отмечено уменьшение количества кровеносных капилляров и обнаружены сосуды с расширенным пустым просветом.

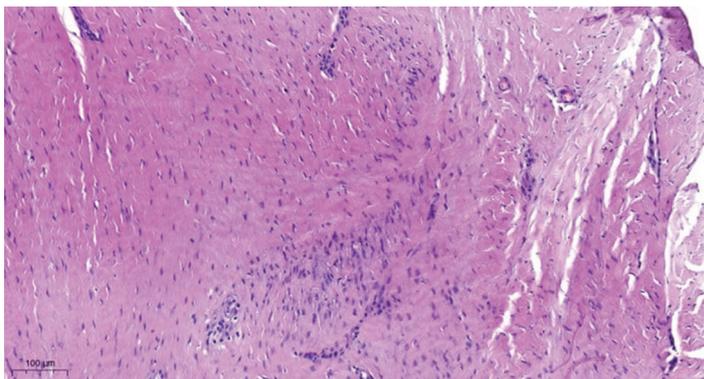


Рис. 3. Тангенциальный срез пяточного сухожилия кролика в зоне дефекта. Срок опыта: 60 сутки. Участки параллельно ориентированных пучков сухожильных волокон с небольшими включениями рубцовой ткани. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 100$

В гистопрепарате на фоне участков плотной волокнистой ткани встречались мелкие очаги рыхлой волокнистой ткани и незначительное количество жировой ткани, которая имела вид небольших очаговых скоплений групп липоцитов. Таким образом, спустя 60 сут. в зоне заживления на большей площади среза сформирована сухожильноподобная ткань с более плотным расположением волокон тёмно-эозинофильного цвета с включением непротяжённых участков жировой и рубцовой ткани. Пучки коллагеновых волокон имели однонаправленность и упорядоченность их расположения, а толщина волокон соответствовала показателям здорового сухожилия.

К 60 сут. толщина коллагеновых волокон I порядка увеличивалась до  $(8,50 \pm 1,43)$  мкм по отношению к значению 30 сут. —  $(6,90 \pm 1,42)$  мкм, определена статистически достоверная разница ( $p = 0,02$ ). К этому сроку происходило статистически значимое увеличение толщины коллагеновых волокон II порядка до  $(25,20 \pm 2,54)$  мкм по отношению к предыдущему показателю ( $p = 0,07$ ). Толщина коллагеновых волокон I и II порядка стала не отличимой от показателей их нормы ( $p = 0,13$  и  $p = 0,07$  соответственно).

К исходу 90 сут. в перифокальной зоне сухожилия определены протяжённые поля сухожильной ткани с волнообразными светло-эозинофильными волокнами обычного строения с несколько утолщённым перитенонием, а также небольшие участки рыхлой волокнистой соединительной ткани с сетью сосудов и небольших очагов жировой ткани (рис. 4).

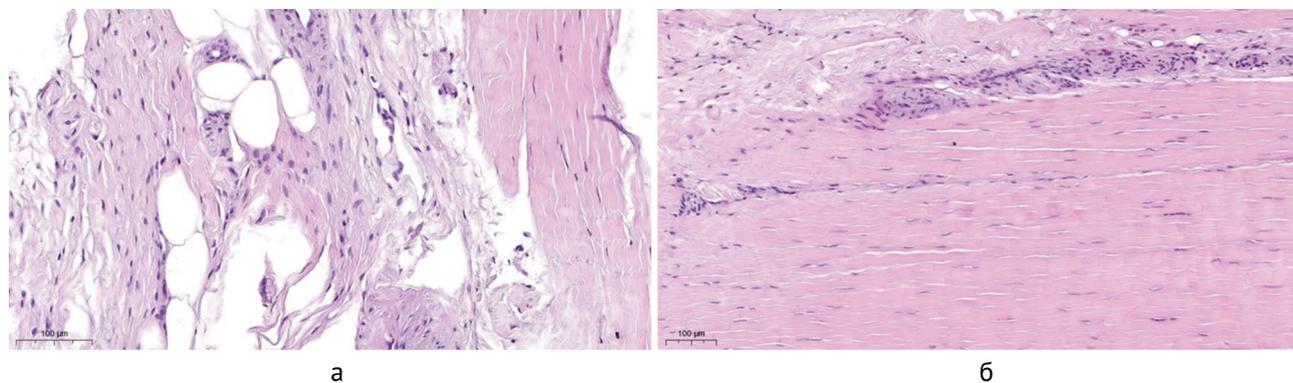


Рис. 4. Продольный срез пяточного сухожилия кролика в зоне дефекта. Срок опыта 90 сутки: а — фрагмент сухожильноподобного регенерата с участками более рыхлой соединительной ткани с элементами жировой ткани; б — фрагмент сухожильноподобного регенерата с участками сосудистой пролиферации. Окраска гематоксилином и эозином, увеличение  $\times 200$

В зоне дефекта к этому сроку среди пластов соединительной ткани обнаружены волокна сухожилия обычной архитектоники с взаимно параллельным волнистым расположением. Однако в участках, сопряжённых с зоной дефекта, по периферии выявлены фокусы более рыхлой соединительной ткани с небольшим количеством мелкокалиберных сосудов.

К 90 сут. толщина коллагеновых волокон I порядка увеличивалась до  $(8,9 \pm 1,32)$  мкм по сравнению с показателем 60 сут. ( $p = 0,14$ ), однако без наблюдаемой статистической значимости, при сравнении с показателем нормы —  $(9,2 \pm 1,88)$  мкм — также статистически значимой разницы не отмечено ( $p = 0,38$ ). Толщина коллагеновых волокон II порядка к этому сроку увеличивалась до  $(28,1 \pm 1,28)$  мкм и по отношению к предыдущему —  $(25,2 \pm 2,54)$  мкм и нормативному показателю —  $(28,3 \pm 2,23)$  мкм — статистически значимой разницы не определялось ( $p = 0,07$  и  $p = 0,64$  соответственно).

#### ОБСУЖДЕНИЕ

По данным литературы, в процессе старения сухожилия подвергаются многочисленным биохимическим, клеточным и механическим изменениям, которые вызывают общее снижение способности сухожилия восстанавливаться после травмы. Так, отмечается снижение объемной плотности тенобластов, а также уменьшение количества тенобластов на единицу поверхности площади сухожилия [31, 32]. В целом, с возрастом способность тенобласта синтезировать структурные белки и регуляторные биомолекулы после травмы снижается.

Поскольку синтез коллагена и коллагенолитическая активность уменьшаются с возрастом, происходит снижение в обновлении коллагеновых волокон [33, 34]. Это уменьшение приводит к увеличению диаметра коллагеновых волокон и выраженной изменчивости в толщине. При отсутствии эффективного количества теногенных клеток-предшественников у взрослых, которые опосредованно влияют на выработку клеток, пролиферирующие фибробласты приводят к фиброзному восстановлению сухожилия и формированию постоянного рубца [35, 36].

Выполненное нами экспериментальное исследование на растущих кроликах показало, что к исходу 15 сут. после тенотомии с сохранением перитенониальной оболочки в зоне дефекта был сформирован более тонкий регенерат, с упорядоченной структурой и не содержащий избыточных коллагеновых структур. В рубцовой ткани определяли преобладание клеток фиброцитарного ряда, располагавшихся между параллельно расположенными пучками коллагеновых волокон. Данное строение рубцовой ткани максимально приближено к исходной сухожильной ткани, что подтверждалось наличием пучков коллагеновых волокон I и II порядка, плотно прилегающих друг к другу, между которыми располагались участки рыхлой соединительной ткани с небольшим количеством кровеносных сосудов. К 30 и 60 сут. эксперимента происходило восстановление органотипической структуры сухожилия в зоне его пересечения. Так, уже через 60 сут. область повреждения заполнена сухожильноподобной тканью с более плотным расположением волокон тёмно-эозинофильного цвета с включением непротяжённых участков жировой и рубцовой ткани. При этом пучки коллагеновых волокон имели однонаправленность и упорядоченность их расположения, а толщина волокон соответствовала показателям здорового сухожилия. К исходу 90 сут. зона дефекта представлена небольшими участками плотной волокнистой рубцово изменённой ткани с небольшим количеством клеточных элементов фибробластов. Среди пластов соединительной ткани обнаружены волокна сухожилия обычной архитектоники с взаимно параллельным расположением пучков коллагеновых волокон, толщина которых была максимально приближена к нормативным показателям.

Исходя из вышеописанного, можно предположить, что при пересечении пяточного сухожилия неповрежденное соединительнотканное влагалище (перитенон) препятствует расхождению концов пересеченного сухожилия на значительное расстояние. При этом неповрежденное соединительнотканное влагалище (перитенон) фактически поддерживает сухожилие в состоянии функционального натяжения. В этом случае репаративные процессы в зоне дефекта, происходящие в условиях сохранившегося функционального натяжения поврежденного сухожилия, протекают в кратчайшие сроки. Кроме того, неповрежденное сухожильное влагалище (перитенон) с сохраненными сосудами и нервами оказывает благоприятное влияние на репаративные процессы в зоне тенотомии ахиллова сухожилия. Все это приводит к тому, что к исходу 90 сут. зона дефекта пяточного сухожилия на большем протяжении представлена сухожильноподобной тканью, в которой обнаружены волокна сухожилия обычной архитектоники с взаимно параллельным расположением пучков коллагеновых волокон, а их толщина максимально приближена к нормативным показателям.

Основываясь на результатах экспериментальной работы, можно полагать, что пациент с врожденной косолапостью после тенотомии ахиллова сухожилия, выполненной максимально щадяще (без повреждения перитенона и его структур), уже через 3 мес. будет иметь пяточное сухожилие, полностью восстановившее свою целостность и морфологическую структуру.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Экспериментальное исследование показало, что через 3 мес. после пересечения ахиллова сухожилия в изучаемой зоне формируется сухожильноподобная ткань с коллагеновыми волокнами адекватной толщины, с включением мелких островков волокнистой рубцовой изменённой ткани с небольшим количеством клеточных элементов — фибробластов. То есть, при рассечении ахиллова сухожилия с сохранением перитенона и его сосудов и нервов образуется сухожильная ткань, максимально напоминающая первоначальную. Таким образом, при лечении пациентов по методу Ponseti выполнение ахиллотомии с сохранением соединительнотканного влагалища (перитенона) и его сосудов и нервов является неременным условием получения положительного результата выполненного оперативного вмешательства.

**Конфликт интересов.** Не заявлен.

**Источник финансирования.** Не заявлен.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- Kite JH. Nonoperative treatment of congenital clubfoot. *Clin Orthop Relat Res.* 1972;84:29-38. doi: 10.1097/00003086-197205000-00007
- Dobbs MB, Gurnett CA. Update on clubfoot: etiology and treatment. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(5):1146-1153. doi: 10.1007/s11999-009-0734-9
- Rijal R, Shrestha BP, Singh GK, et al. Comparison of Ponseti and Kite's method of treatment for idiopathic clubfoot. *Indian J Orthop.* 2010;44(2):202-207. doi: 10.4103/0019-5413.61941
- Kaseke F, Mudawarima T. Comparison of Ponseti and Kite's method of treatment for congenital Talipes Equino using the Pirani scoring system. *Cent Afr J Med.* 2013;59(1-4):14-18.
- Garcia LC, de Jesus LR, Trindade MO, et al. Evaluation of kite and ponseti methods in the treatment of idiopathic congenital clubfoot. *Acta Orthop Bras.* 2018;26(6):366-369. doi: 10.1590/1413-785220182606183925
- Bina S, Pacey V, Barnes EH, et al. Interventions for congenital talipes equinovarus (clubfoot). *Cochrane Database Syst Rev.* 2020;5(5):CD008602. doi: 10.1002/14651858.CD008602.pub4
- Кожевников О.В., Косов И.С., Грибова И.В. и др. Новая технология коррекции тяжелых форм косолапости у детей. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2009;(1):58-64.
- Кенис В.М., Степанова Ю.А. Анализ причин неоптимального консервативного лечения врожденной косолапости у детей. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(3):80-85. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-80-85
- Morcuende JA. Congenital idiopathic clubfoot: prevention of late deformity and disability by conservative treatment with the Ponseti technique. *Pediatr Ann.* 2006;35(2):128-136. doi: 10.3928/0090-4481-20060201-13
- Pirani S, Naddumba E, Mathias R, et al. Towards effective Ponseti clubfoot care: the Uganda Sustainable Clubfoot Care Project. *Clin Orthop Relat Res.* 2009;467(5):1154-1163. doi: 10.1007/s11999-009-0759-0
- Owen RM, Penny JN, Mayo A, et al. A collaborative public health approach to clubfoot intervention in 10 low-income and middle-income countries: 2-year outcomes and lessons learnt. *J Pediatr Orthop B.* 2012;21(4):361-365. doi: 10.1097/BPB.0b013e3283504006
- Radler C. The Treatment of Recurrent Congenital Clubfoot. *Foot Ankle Clin.* 2021;26(4):619-637. doi: 10.1016/j.fcl.2021.07.001
- Rieger MA, Dobbs MB. Clubfoot. *Clin Podiatr Med Surg.* 2022;39(1):1-14. doi: 10.1016/j.cpm.2021.08.006
- Jain AK, Kohli N, Bansal N, et al. Evaluation of Results of Ponseti Technique in Idiopathic Clubfoot using Clinical Evaluation and Radiological Assessment. *Int J Appl Basic Med Res.* 2022;12(1):43-46. doi: 10.4103/ijabmr.ijabmr\_281\_21
- Бландинский В.Ф., Вавилов М.А., Торно Т.Э., Донской А.В. Лечение атипичной врожденной косолапости методом Понсети. *Травматология и ортопедия России.* 2010;16(1):75-79. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-1-75-79
- Morcuende JA, Abbasi D, Dolan LA, Ponseti IV. Results of an accelerated Ponseti protocol for clubfoot. *J Pediatr Orthop.* 2005;25(5):623-6. doi: 10.1097/01.bpo.0000162015.44865.5e
- Terrazas-Lafargue G, Morcuende JA. Effect of cast removal timing in the correction of idiopathic clubfoot by the Ponseti method. *Iowa Orthop J.* 2007;27:24-27.
- Cohen E, Katz T, Rozen U, et al. The Influence of Achilles Tenotomy and Compliance with Foot Abduction Orthosis on the Relapse Rate of Ponseti Treatment for Idiopathic Clubfoot: A Regional Study. *J Foot Ankle Surg.* 2020;59(4):784-787. doi: 10.1053/j.jfas.2019.12.007
- Rademan J. Ruptured pseudoaneurysm of the posterior tibial artery after percutaneous Achilles tenotomy. *BMJ Case Rep.* 2022;15(3):e232847. doi: 10.1136/bcr-2019-232847
- Демичев Н.П., Путилин А.А. Криоконсервирование и аллотрансплантация сухожильной ткани. *Ортопедия, травматология и протезирование.* 1990;(4):22-27.
- Conway AM, Dorner RW, Zuckner J. Regeneration of resected calcaneal tendon of the rabbit. *Anat Rec.* 1967;158(1):43-49. doi: 10.1002/ar.1091580106
- Enwemeka CS, Spielholz NI, Nelson AJ. The effect of early functional activities on experimentally tenotomized Achilles tendons in rats. *Am J Phys Med Rehabil.* 1988;67(6):264-269.
- Gelberman RH, Manske PR, Vande Berg JS, et al. Flexor tendon repair in vitro: a comparative histologic study of the rabbit, chicken, dog, and monkey. *J Orthop Res.* 1984;2(1):39-48. doi: 10.1002/jor.1100020107
- Manske PR, Lesker PA. Biochemical evidence of flexor tendon participation in the repair process--an in vitro study. *J Hand Surg Br.* 1984;9(2):117-120.
- Voleti PB, Buckley MR, Soslowsky LJ. Tendon healing: repair and regeneration. *Annu Rev Biomed Eng.* 2012;14:47-71. doi: 10.1146/annurev-bioeng-071811-150122

26. James R, Kesturu G, Balian G, Chhabra AB. Tendon: biology, biomechanics, repair, growth factors, and evolving treatment options. *J Hand Surg Am.* 2008;33(1):102-112. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.09.007
27. Miyashita H, Ochi M, Ikuta Y. Histological and biomechanical observations of the rabbit patellar tendon after removal of its central one-third. *Arch Orthop Trauma Surg.* 1997;116(8):454-462. doi: 10.1007/BF00387577
28. Leadbetter W.B. Cell-matrix response in tendon injury. *Clin Sports Med.* 1992;11(3):533-578.
29. Frank C, McDonald D, Shrive N. Collagen fibril diameters in the rabbit medial collateral ligament scar: a longer term assessment. *Connect Tissue Res.* 1997;36(3):261-269. doi: 10.3109/03008209709160226
30. Лаврищева Г.И., Оноприенко Г.А. *Морфологические и клинические аспекты репаративной регенерации опорных органов и тканей.* М.: Медицина; 1996:208.
31. Nagy IZ, Von Hahn HP, Verzár F. Age-related alterations in the cell nuclei and the DNA content of rat tail tendon. *Gerontologia.* 1969;15(4):258-264. doi: 10.1159/000211694
32. Moore MJ, De Beaux A. A quantitative ultrastructural study of rat tendon from birth to maturity. *J Anat.* 1987;153:163-169.
33. Neuberger A., Slack H.G. The metabolism of collagen from liver, bone, skin and tendon in the normal rat. *Biochem J.* 1953;53(1):47-52. doi: 10.1042/bj0530047
34. Kannus P., Jozsa L. Histopathological changes preceding spontaneous rupture of a tendon. A controlled study of 891 patients. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(10):1507-1525.
35. Godwin J.W., Pinto A.R., Rosenthal N.A. Macrophages are required for adult salamander limb regeneration. *Proc Natl Acad Sci U S A.* 2013;110(23):9415-9420. doi: 10.1073/pnas.1300290110
36. Godwin J, Kuraitis D, Rosenthal N. Extracellular matrix considerations for scar-free repair and regeneration: insights from regenerative diversity among vertebrates. *Int J Biochem Cell Biol.* 2014;56:47-55. doi: 10.1016/j.biocel.2014.10.011

Статья поступила 01.03.2024; одобрена после рецензирования 22.05.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 01.03.2024; approved after reviewing 22.05.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### **Информация об авторах:**

Максим Валерьевич Власов — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, Footdoc@mail.ru;  
Наталья Юрьевна Широкова — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, nush 63@mail.ru;  
Ирина Владимировна Мусихина — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, i\_musihina@mail.ru.

#### **Information about the authors:**

Maxim V. Vlasov — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, Footdoc@mail.ru;  
Natal'ya Yu. Shirokova — Doctor of Biological Sciences, Senior Researcher, nush 63@mail.ru;  
Irina V. Musikhina — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, surgeon, i\_musihina@mail.ru

## Клиническое наблюдение

УДК 616.717.44-001.5:616.747.12/.16-001:616.74-018.38-089.84

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-581-587>

## Фиксация сухожилий вращательной манжеты при полном лизисе большого бугорка плечевой кости

А.А. Маковский✉, Л.С. Шнайдер, Е.С. Поправка

Московский Клинический Научный Центр имени А.С. Логинова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Алексей Андреевич Маковский, [Maikovskiya@yandex.ru](mailto:Maikovskiya@yandex.ru)

### Аннотация

**Введение.** Вопросы тактики ведения пациентов с переломом большого бугорка плечевой кости в настоящий момент остаются открытыми, и хирургическое лечение активно обсуждается в литературе. Переломы без смещения не требуют оперативного лечения, но в случаях асептического лизиса большого бугорка плечевой кости при значимом ограничении функции верхней конечности пациенту может быть показано эндопротезирование плечевого сустава, так как рефиксация сухожилий вращательной манжеты плеча затруднительна ввиду отсутствия анатомического места крепления сухожилий. Решение данной проблемы потенциально позволит улучшить качество жизни пациентов с лизисом большого бугорка плечевой кости.

**Цель работы** — оценить результат лечения пациентки с лизисом большого бугорка плечевой кости после открытой рефиксации сухожилий вращательной манжеты плеча с медиализацией границы суставной поверхности плечевой кости.

**Материалы и методы.** Пациентка 46 лет обратилась на консультацию по поводу ограничения движений и выраженного болевого синдрома в области левого плечевого сустава после вывиха плечевой кости с переломом большого бугорка.

**Результаты.** Пациентке произведен открытый шов сухожилий вращательной манжеты плеча с медиализацией границы суставной поверхности плечевой кости. Через год на контрольном приеме у пациентки отсутствуют жалобы на боли и ограничение движений в левом плечевом суставе.

**Обсуждение.** На сегодняшний день тактика ведения пациентов с лизисом большого бугорка остается открытым вопросом. Эффективность и результаты органосохраняющей хирургии широко не изучены и требуют научной оценки на большем количестве пациентов.

**Заключение.** При помощи хирургической рефиксации сухожилий вращательной манжеты плеча с медиализацией хрящевой поверхности достигнуты отличные функциональные результаты у пациентки с лизисом большого бугорка.

**Ключевые слова:** перелом плечевой кости, повреждение вращательной манжеты плеча, шов сухожилий вращательной манжеты плеча

**Для цитирования:** Маковский А.А., Шнайдер Л.С., Поправка Е.С. Фиксация сухожилий вращательной манжеты при полном лизисе большого бугорка плечевой кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):581-587. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-581-587. EDN: OEMXFS.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-581-587>



## Fixation of the rotator cuff tendons for the greater tuberosity fracture of the humerus

A.A. Makovskiy✉, L.S. Shnayder, E.S. Popravka

Moscow Clinical Scientific Center of A.S. Loginov, Moscow, Russian Federation

**Corresponding author:** Alexey A. Makovskiy, [Makovskiya@yandex.ru](mailto:Makovskiya@yandex.ru)

### Abstract

**Introduction** Strategical approaches to managing patients with a greater tuberosity fracture of the humerus are controversial and there are discussions about surgical treatment options. Nondisplaced fractures require no surgical management. Shoulder replacement can be indicated for the surgical treatment of proximal humeral fractures with limited function of the upper limb and difficulties in refixation of the rotator cuff tendons due to the peculiar anatomical location of the tendon fixation. Solution to this problem can improve the quality of life of patients with greater tuberosity fracture of the humerus.

The **objective** was to evaluate the treatment outcome of a patient with a greater tuberosity fracture of the humerus repaired with open refixation of the rotator cuff tendons and medialization of the border of the articular surface of the humerus.

**Material and methods** A 46-year-old patient presented with limited movements and severe pain in the left shoulder after humerus dislocation and a greater tuberosity fracture.

**Results** The condition was repaired with an open repair of the rotator cuff tendons and medialization of the border of the articular surface of the humerus. The patient reported neither pain nor limited movements in the left shoulder at the one-year follow-up.

**Discussion** Treatment options for patients with a greater tuberosity injury remains controversial. The effectiveness and results of organ-saving surgery have not been explored and require scientific evaluation using a larger cohort of patients.

**Conclusion** Excellent functional results were achieved in a patient with injury to the greater tuberosity using surgical refixation of the rotator cuff tendons and medialization of the cartilaginous surface.

**Keywords:** humerus fracture, rotator cuff tear, rotator cuff repair

**For citation:** Makovskiy AA, Shnayder LS, Popravka ES. Fixation of the rotator cuff tendons for the greater tuberosity fracture of the humerus. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):581-587. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-581-587

## ВВЕДЕНИЕ

Переломы проксимального отдела плечевой кости — очень распространенная травма, среди них отдельно выделяют перелом большого бугорка, который составляет примерно 16,5 % от всех переломов проксимального отдела [1, 2]. До 30 % всех переломов большого бугорка возникают вследствие вывиха плечевой кости [3]. Вывих плеча может сопровождаться определенным характерным комплексом повреждений: переломом суставной впадины лопатки, импрессионным переломом головки плечевой кости, повреждениями капсулы, связок и хрящевой губы сустава, повреждением вращательной манжеты плеча, а также переломами проксимального отдела плечевой кости [3]. После вправления зачастую наступает удовлетворительная репозиция, так как к этому бугорку крепятся сухожилия вращательной манжеты плеча. По данным литературы, тактика ведения пациентов с переломами большого бугорка плечевой кости сводится к тому, что пострадавших с переломами без смещения следует лечить консервативно при помощи иммобилизации, реабилитации и физиотерапии, а смещение больше чем на 3–5 мм требует оперативного вмешательства, суть которого состоит в репозиции и фиксации большого бугорка плечевой кости, в том числе с применением артроскопических методик [4–10].

При случившемся лизисе фрагмента кости возникает вопрос, куда именно фиксировать сухожилия [11–13]. Кость в месте разрушения подвержена остеопорозным изменениям и не имеет кортикальной пластины для фиксации якорных приспособлений, а фиксация к суставной поверхности не обладает должными биологическими возможностями для сращения [11, 12]. Поэтому таким пациентам для восстановления функции и уменьшения болевого синдрома предлагается реверсивное эндопротезирование плечевого сустава [14, 15].

В силу сохранности плечевого сустава, а именно хрящевой поверхности лопатки и плечевой кости, возникает желание отложить эндопротезирование на максимально возможный срок и попытаться восстановить функции плечевого сустава, особенно у молодых пациентов. Поэтому решение этой проблемы поможет улучшить результаты лечения пациентов с лизисом большого бугорка после перелома без использования реверсивного эндопротезирования.

**Цель работы** — оценить результат лечения пациентки с лизисом большого бугорка плечевой кости после открытой рефиксации сухожилий вращательной манжеты плеча с медиализацией границы суставной поверхности плечевой кости.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Пациентка 46 лет обратилась в консультативно-диагностическое отделение МКНЦ им. Логина в сентябре 2022 г. В анамнезе — травма при падении с мотоцикла в июне 2022 г., когда пострадавшая была госпитализирована в круглосуточный экстренный стационар г. Москвы с закрытым переломом плато правой большеберцовой кости со смещением отломков и переломовывихом левой плечевой кости. В стационаре произведено устранение вывиха плеча и хирургическое лечение перелома плато большеберцовой кости.

Пациентке осуществляли иммобилизацию левой верхней конечности при помощи косыночной повязки в течение 6 нед. После пациентка была направлена в реабилитационный центр, где в течение 4 недель проходила курс реабилитации. По результатам реабилитационного лечения улучшения функции верхней конечности пациентка не отметила, болевой синдром нарастал, с чем пациентка и была направлена на консультацию в МКНЦ имени А.С. Логина.

**Жалобы на момент обращения** — на выраженные боли в течение дня и ночью, существенное ограничение движений в левом плечевом суставе.

**Местный статус.** Область плечевого сустава без признаков воспаления, деформация и дефигурация отсутствуют. Движения ограничены: отведение 20°, приведение 25°, внутренняя ротация 40°, наружная ротация 0°. Движения также ограничены выраженным болевым синдромом. Пассивное отведение 120°. Нейроциркуляторных нарушений в верхней конечности нет.

**Результаты рентгенологических методов обследования.** На рентгенограммах определяется отсутствие анатомических контуров большого бугорка плечевой кости, разрежение костной ткани в его проекции, а также нетипичное положение костного фрагмента, предположительно, фрагмента большого бугорка (рис. 1). Заключение: несросшийся перелом большого бугорка плечевой кости со смещением отломков. При проведении МРТ плечевого сустава диагностирован лизис большого бугорка плечевой кости, отсутствие анатомического места крепления сухожилий вращательной манжеты плеча, дислокация костных остатков большого бугорка кзади и кверху, асептический некроз остатков большого бугорка (рис. 1).

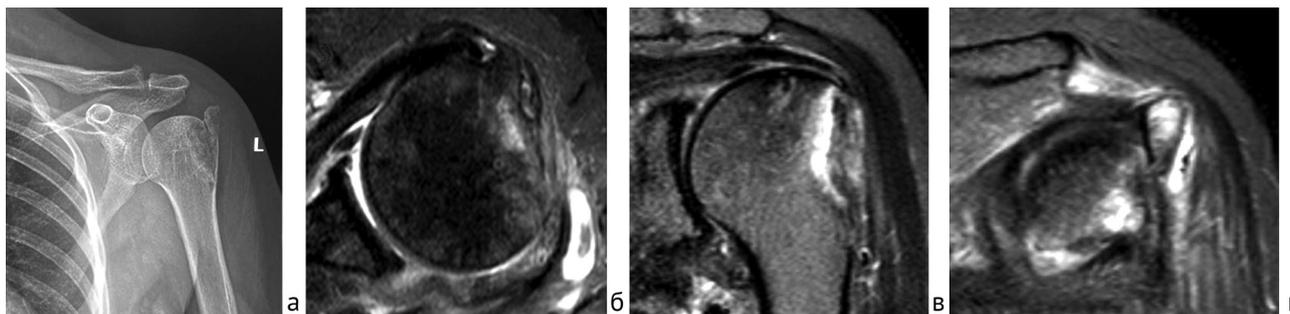


Рис. 1.: а — рентгенограмма плечевого сустава, передне-задняя проекция, 3 мес. после травматического вывиха плеча; б — МРТ плечевого сустава в режиме T2 с подавлением сигнала от жировой ткани, аксиальная проекция, визуализируется отсутствие большого бугорка плечевой кости; в — МРТ плечевого сустава в режиме T2 с подавлением сигнала от жировой ткани, корональная проекция, визуализируется отсутствие большого бугорка и свободно лежащее сухожилие надостной мышцы; г — МРТ плечевого сустава в режиме T2 с подавлением сигнала от жировой ткани, корональная проекция, визуализируется остаток большого бугорка с дислокацией в субакромиальное пространство с признаками аваскулярного некроза

Хирургическое вмешательство осуществляли в положении пляжного кресла. Пациентку размещали на самом краю операционного стола со свисанием плечевого сустава для возможности манипулирования конечностью во время вмешательства. Прямой разрез осуществляли по стандартной методике по типу антеролатерального трансдельтовидного доступа с заходом на акромиальный отросток лопатки на 1 см. Дельтовидную мышцу отсекали от акромиального отростка лопатки при помощи электроножа, вдоль волокон мышцы разводили тупым способом. При ревизии субдельтовидного, субакромиального пространства и сустава обнаружено отсутствие большого бугорка плечевой кости, а также костный фрагмент — остаток большого бугорка, который располагался в субакромиальном пространстве, был подвижен и ограничивал движения в плечевом суставе только в положении крайнего отведения (рис. 2).

Из рубцов выделены сухожилия вращательной манжеты плеча и костный отломок — остаток большого бугорка плечевой кости. После произведена мобилизация сухожилий при помощи леватора тупым способом; при помощи тракции капсулярным зажимом осуществлена проверка мобильности сухожилий (рис. 2).

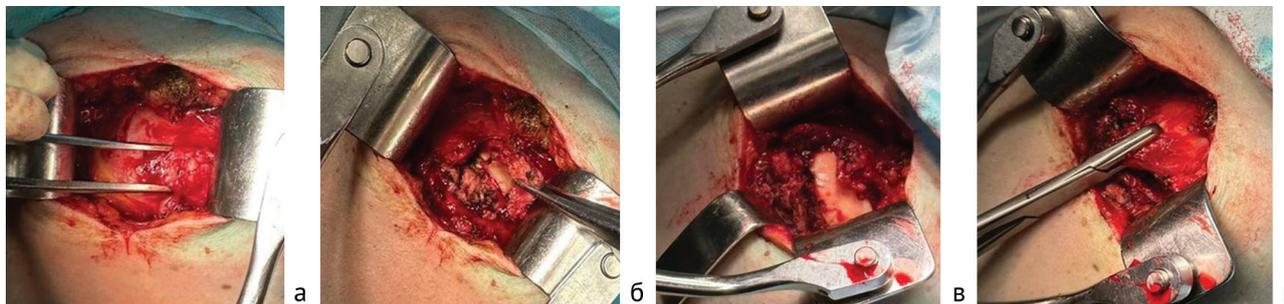


Рис. 2. Вид операционной раны: а — на сухожилия вращательной манжеты плеча после осуществления доступа к проксимальному отделу плечевой кости браншами пинцета зафиксирован остаток большого бугорка плечевой кости; б — между браншами пинцета костный фрагмент большого бугорка плечевой кости; в — в ране определяется хрящевая поверхность плечевой кости, отсутствие большого бугорка плечевой кости; г — после высвобождения сухожилий вращательной манжеты плеча из рубцов; проверка мобильности сухожилий при помощи тракции

После удаления рубцов и высвобождения сухожилий вращательной манжеты плеча произведена разметка электроножом на суставной поверхности в виде полосы примерно 1 см вдоль всей линии хряща [10]. Хрящ удален при помощи острого распатора, а субхондральная кость зачищена до появления ячеистости (рис. 3).

После сформированы три канала в плечевой кости аналогично тому, как формируются каналы в большом бугорке плечевой кости при трансоссальной фиксации сухожилий вращательной манжеты плеча. В каналы проведены нити-шаттлы (рис. 3).

Произведено *rip-stop* прошивание сухожилий вращательной манжеты плеча по технике Mason – Allen; лигатуры, выходящие из сухожилий в области суставной поверхности, при помощи нитей-шаттлов проведены через плечевую кость по сформированным каналам; осуществлено завязывание нитей с натяжением сухожилий. С помощью перекреста нитей сформирован двухрядный шов и обеспечена прочная и надежная фиксация с прижиманием большой площади сухожилия к костной ткани (рис. 3), произведено послойное ушивание раны.

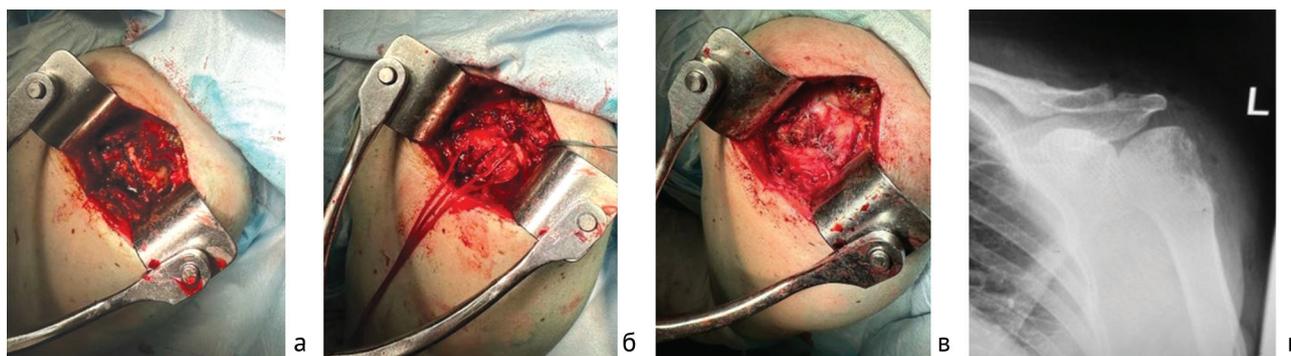


Рис. 3. Вид операционной раны: а — после удаления хряща с латерального края суставной поверхности проксимального отдела плечевой кости; б — после проведения нитей-шаттлов через головку плечевой кости; в — после затягивания и завязывания нитей и фиксации сухожилий вращательной манжеты плеча к головке плечевой кости. Контрольная рентгенограмма после операции, прямая проекция (г)

После операции пациентке рекомендована иммобилизация при помощи косыночной повязки в течение 3 нед. и далее курс стандартного реабилитационного восстановительного лечения для пациентов после шва сухожилий вращательной манжеты плеча.

### РЕЗУЛЬТАТЫ

Через год на контрольном приеме у пациентки отсутствуют жалобы со стороны левой верхней конечности. Пациентка не отмечает болевого синдрома в области плечевого сустава и ограничений его движений.

Местный статус: область плечевого сустава без признаков воспаления, без деформации и дефигурации. Амплитуда движений: сгибание —  $170^\circ$ , разгибание —  $40^\circ$ , отведение —  $180^\circ$ , приведение —  $25^\circ$ , внутренняя ротация —  $70^\circ$ , наружная ротация —  $60^\circ$  (рис. 4). Нейроциркуляторных нарушений нет.



Рис. 4. Амплитуда движений в плечевых суставах через год после операции

### ОБСУЖДЕНИЕ

Данный клинический пример демонстрирует альтернативную хирургическую тактику ведения пациентов с лизисом большого бугорка. Болевой синдром объяснялся наличием поврежденных сухожилий в плечевом суставе, а также элементами капсулита и воспаления в области плечевого сустава. Ограничение движений обусловлено, во-первых, отсутствием фиксации мышц вращательной манжеты плеча, во-вторых, наличием фрагмента бугорка плечевой кости со смещением в область субакромиального пространства, который ограничивал отведение только в крайнем положении. Хрящ сустава абсолютно сохранен. С учетом лизиса большого бугорка и невозможности фиксации сухожилий к плечевой кости пациентке в других медицинских организациях предложено реверсивное эндопротезирование плечевого сустава. В силу молодого возраста пациентка отказалась от предложенной тактики лечения.

При описанном вмешательстве медиализация суставной линии за счет удаления хряща с головки плечевой кости позволяет сформировать аналог большого бугорка плечевой кости и обеспечить фикса-

цию сухожилий к головке плечевой кости. Фиксация сухожилий в область нативного бугорка в зону лизиса невозможна ввиду отсутствия костной ткани хорошего качества для подшивания сухожилий как трансоссально, так и с использованием якорных фиксаторов. Учитывая, что суставная поверхность плеча составляет примерно  $160^\circ$ , а её центр смещен примерно на 6 мм медиально, выбранная тактика позволяет сохранить основную часть суставной поверхности. Принимая во внимание, что в норме верхушка большого бугорка располагается всего на 8 мм дистальнее, рычаг силы изменяется незначительно вследствие медиализации точки фиксации сухожилий [16, 17].

Медиализация, конечно, уменьшает площадь суставной поверхности и, тем самым, сокращает объем движений в плечевом суставе, но остаточного объема движений достаточно для бытовых нагрузок [16, 17]. Кроме того, данное вмешательство позволило избежать или отсрочить эндопротезирование плечевого сустава у пациентки 46 лет.

Несмотря на значительное количество исследований, посвященных этой теме, установление показаний к оперативному лечению и определение хирургической тактики у пациентов после вывиха плеча с переломом большого бугорка на сегодняшний момент остается затруднительным, что делает непростым выбор правильного алгоритма ведения таких больных [18–20].

Основные проблемы при консервативном ведении пациентов с переломом большого бугорка плечевой кости составляют сложности репозиции и проблема кровоснабжения. В ходе консервативного лечения у 50–60 % отмечают смещение отломков [13, 15, 20], что можно связать с уменьшением отека мягких тканей. При неточной репозиции бугорка, сросшийся со смещением, может влиять на ограничение движений в плечевом суставе, нарушая движение мышц вращательной манжеты плеча, которые крепятся к большому бугорку, и просто механически формируя импинджмент-синдром с акромиальным отростком лопатки в момент отведения плеча [13]. Выполнив оперативное вмешательство с достижением точной репозиции и надежной фиксации, клиницисты могут управлять числом подобных осложнений, что нельзя сказать о проблеме кровоснабжения отломанного фрагмента плечевой кости. Этот вопрос остается неизученным и практически неуправляемым. В момент установки диагноза невозможно определить, насколько нарушено кровоснабжение в отломке плечевой кости для дальнейшего формирования правильной тактики ведения пациентов этой группы.

Существующие данные свидетельствуют о том, что адекватная репозиция и надежная фиксация позволяют влиять на кровоснабжение фрагмента кости, уменьшая риски развития лизиса фрагментов или несращения перелома [2, 4, 6, 10, 13]. Но лизис большого бугорка описан и при консервативном лечении переломов без смещения [12].

В настоящее время в нашей клинике осуществлено три хирургических вмешательства предложенным способом у пациентов в возрасте 28, 46 и 53 лет со схожей клинической картиной. Применение данной методики позволило у всех пациентов добиться отличных функциональных результатов.

Остается неизученным вопрос о необходимости фиксации всех переломов большого бугорка плечевой кости во избежание лизиса фрагмента. Описанные выше трудности в лечении встречаются даже у молодых пациентов. Фиксация бугорка возможна миниинвазивно множеством способов и не относится к сложным технически вмешательствам. Данная тема требует дальнейшего изучения и обобщения клинического материала для возможной научной оценки.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

У пациентки с лизисом большого бугорка медиализация суставной линии с удалением полоски суставного хряща позволила сформировать место для фиксации сухожилий вращательной манжеты плеча. Предложенный в описанном клиническом случае способ хирургической фиксации сухожилий вращательной манжеты плеча стал хорошей альтернативой реверсивному эндопротезированию и позволил достичь отличных функциональных результатов.

**Конфликт интересов.** Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

**Информированное согласие.** Пациентка подписала согласие на публикацию результатов без идентификации личности.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Bergdahl C, Ekholm C, Wennergren D, et al. Epidemiology and patho-anatomical pattern of 2,011 humeral fractures: data from the Swedish Fracture Register. *BMC Musculoskelet Disord.* 2016;17:159. doi: 10.1186/s12891-016-1009-8
2. Rudran B, Little C, Duff A, et al. Proximal humerus fractures: anatomy, diagnosis and management. *Br J Hosp Med (Lond).* 2022 2;83(7):1-10. doi: 10.12968/hmed.2021.0554
3. Robinson CM, Shur N, Sharpe T, et al. Injuries associated with traumatic anterior glenohumeral dislocations. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(1):18-26. doi: 10.2106/JBJS.J.01795
4. Rouleau DM, Mutch J, Laflamme GY. Surgical Treatment of Displaced Greater Tuberosity Fractures of the Humerus. *J Am Acad Orthop Surg.* 2016;24(1):46-56. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00289

5. Huntley SR, Lehtonen EJ, Robin JX, et al. Outcomes of surgical fixation of greater tuberosity fractures: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(6):1119-1126. doi: 10.1016/j.otsr.2020.05.005
6. Kumar S, Mishra A, Singh H, et al. Surgical fixation of isolated greater tuberosity fractures of the humerus- systematic review and meta-analysis. *J Clin Orthop Trauma.* 2021;23:101670. doi: 10.1016/j.jcot.2021.101670
7. Hohmann E, Keough N, Glatt V, Tetsworth K. Surgical treatment of proximal humerus fractures: a systematic review and meta-analysis. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2023;33(6):2215-2242. doi: 10.1007/s00590-022-03436-3
8. Huntley SR, Lehtonen EJ, Robin JX, et al. Outcomes of surgical fixation of greater tuberosity fractures: A systematic review. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020;106(6):1119-1126. doi: 10.1016/j.otsr.2020.05.005
9. Ji JH, Jeong JJ, Kim YY, et al. Clinical and radiologic outcomes of arthroscopic suture bridge repair for the greater tuberosity fractures of the proximal humerus. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(1):9-17. doi: 10.1007/s00402-016-2586-6
10. Li R, Cai M, Tao K. Arthroscopic reduction and fixation for displaced greater tuberosity fractures using the modified suture-bridge technique. *Int Orthop.* 2017;41(6):1257-1263. doi: 10.1007/s00264-017-3461-y
11. Hess F, Bohnert L, Jaberg L, et al. Tuberosity union in patients with proximal humerus fractures treated with reverse shoulder arthroplasty: a technical note and exploratory analysis. *Int Orthop.* 2020;44(12):2711-2717. doi: 10.1007/s00264-020-04831-3
12. Miyamura S, Lans J, Min KS, et al. Bone resorption of the greater tuberosity after open reduction and internal fixation of complex proximal humeral fractures: fragment characteristics and intraoperative risk factors. *J Shoulder Elbow Surg.* 2021;30(7):1626-1635. doi: 10.1016/j.jse.2020.09.014
13. Su F, Tangtphaiboonatanam J, Kandemir U. Management of greater tuberosity fracture dislocations of the shoulder, *JSES Reviews, Reports, and Techniques.* 2023. doi: 10.1016/j.xrtr.2023.07.007
14. Гюльназарова С.В., Мамаев В.И., Зубарева Т.В. Осложнения при эндопротезировании плечевого сустава у пациентов с застарелыми переломами и переломо-вывихами проксимального отдела плечевой кости. *Гений ортопедии.* 2016;(1):48-51. doi: 10.18019/1028-4427-2016-1-48-51
15. Chandra Mohapatra N, Sahoo US, Sahoo MM. Effect of tuberosity repair on functional outcome of reverse shoulder arthroplasty in proximal humerus fractures. *Chin J Traumatol.* 2023;26(2):94-100. doi: 10.1016/j.cjtee.2022.12.001
16. Mizuki Y, Senjyu T, Ito T, et al. Extreme Medialized Repair for Challenging Large and Massive Rotator Cuff Tears Reveals Healing and Significant Functional Improvement. *Arthroscopy.* 2023;39(10):2122-2130. doi: 10.1016/j.arthro.2023.03.030
17. Lee KW, Moon KH, Ma CH, et al. Clinical and Radiologic Outcomes After Medializing and Not Medializing Rotator Cuff Tendon Attachment Site on Chronic Retracted Rotator Cuff Tears. *Arthroscopy.* 2018;34(8):2298-2307. doi: 10.1016/j.arthro.2018.03.015
18. Guo S, Zhu Y, Lu Y, et al. Clinical and radiologic outcomes after tendon insertion medialized repair of large-to-massive rotator cuff tears. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2023;37(4):391-397. (In Chinese) doi: 10.7507/1002-1892.202212019
19. Iglesias-Rodríguez S, Domínguez-Prado DM, García-Reza A, et al. Epidemiology of proximal humerus fractures. *J Orthop Surg Res.* 2021;16(1):402. doi: 10.1186/s13018-021-02551-x
20. Brorson S, Palm H. Proximal Humeral Fractures: The Choice of Treatment. In: Falaschi P, Marsh D, editors. *Orthogeriatrics: The Management of Older Patients with Fragility Fractures* [Internet]. 2nd ed. Cham (CH): Springer; 2021. doi: 10.1007/978-3-030-48126-1\_10

Статья поступила 20.12.2023; одобрена после рецензирования 20.02.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 20.12.2023; approved after reviewing 20.02.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Алексей Андреевич Маковский — врач травматолог-ортопед, младший научный сотрудник, Makovskiya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0794-2485>;

Лев Сергеевич Шнайдер — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, shnyderlev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8060-5074>;

Екатерина Сергеевна Поправка — врач травматолог-ортопед, popravka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2725-2263>.

#### Information of authors:

Alexey A. Makovskiy — orthopaedic surgeon, junior researcher, Makovskiya@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0794-2485>;

Lev S. Shnyder — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, shnyderlev@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8060-5074>;

Ekaterina S. Popravka — orthopaedic surgeon, popravka@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-2725-2263>.

#### Вклад авторов:

Маковский А.А. — концепция и дизайн представления клинического случая, предоперационное планирование и хирургическое лечение пациента, написание текста, ответственность за целостность всех частей статьи.

Шнайдер Л.С. — обзор литературы, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи.

Поправка Е.С. — редактирование, подготовка фотоматериалов.

Клиническое наблюдение

УДК 616.717.56-001.513-036.14-06:616.85:616-089.163

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-588-596>



## Мультидисциплинарный подход к лечению пострадавших с внутрисуставными переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением (преабилитация)

А.А. Хромов<sup>1,2✉</sup>, Е.К. Гуманенко<sup>3</sup>, С.А. Линник<sup>1</sup>, А.Н. Ткаченко<sup>1</sup>, А.Г. Кравцов<sup>2</sup>, А.В. Мельничук<sup>3</sup>, А.С. Лазутин<sup>3</sup>, А.В. Жулябин<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова, С-Петербург, Россия

<sup>2</sup> Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л.Г. Соколова, С-Петербург, Россия

<sup>3</sup> Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, С-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Александр Анатольевич Хромов, [Khromov\\_alex@mail.ru](mailto:Khromov_alex@mail.ru)

### Аннотация

**Введение.** Лечение пострадавших с неправильно сросшимся околосуставным переломом дистального метаэпифиза лучевой кости с осложнённым течением является непростой задачей и требует участия не только ортопедов, но и специалистов смежных специальностей: неврологов, нейрохирургов, реабилитологов. Существуют новые способы лечения переломов лучевой кости в типичном месте, но полученные на сегодняшний день результаты не могут считаться удовлетворительными, поскольку задачей лечения таких пострадавших является не только механистическое восстановление правильных анатомических соотношений, но и восстановление функции кисти.

**Цель работы** — продемонстрировать значение преабилитации в период подготовки больных к плановым реконструктивным операциям, представить результат мультидисциплинарного подхода к лечению пострадавшей с неправильно сросшимся переломом лучевой кости, осложнённым посттравматической компрессионно-ишемической мультиневропатией.

**Материалы и методы.** Материалом явились данные истории болезни пациентки 56 лет с неправильно сросшимся переломом лучевой кости в типичном месте, осложнённым посттравматической компрессионно-ишемической мультиневропатией. Критериями оценки результата лечения было отсутствие жалоб и восстановление функции кисти и лучезапястного сустава.

**Результаты.** После проведённой преабилитации и выполненной операции получен положительный функциональный результат. В раннем послеоперационном периоде оценка по шкале DASH — 35 баллов, ладонное сгибание — 64°, тыльное сгибание — 61°, динамометрия на левой руке (больной) — 30 кг. Произошло более быстрое восстановление функции кисти в результате регресса неврологических расстройств.

**Обсуждение.** При лечении пострадавших с неправильно сросшимися переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением необходимо участие узких специалистов (неврологов, нейрохирургов, специалистов по функциональной и лучевой диагностике, реабилитологов), то есть подход должен быть мультидисциплинарным. По нашему мнению, перед операцией больной должен пройти курс преабилитации под наблюдением невролога и реабилитолога для достижения более высокого базового уровня функциональных возможностей. Хирургическое лечение должно быть лишь одним из этапов многоэтапного мультидисциплинарного лечения пострадавших с неправильно сросшимися переломами лучевой кости с осложнённым течением.

**Заключение.** Описанный клинический случай показывает эффективность мультидисциплинарного подхода при лечении пострадавших с неправильно сросшимися переломами лучевой кости с осложнённым течением. Проведение предоперационной подготовки (преабилитации) позитивно сказалось на сроках реабилитации после операции и улучшило функциональные результаты.

**Ключевые слова:** неправильно сросшиеся переломы лучевой кости, компрессионно-ишемическая мультиневропатия, преабилитация

**Для цитирования:** Хромов А.А., Гуманенко Е.К., Линник С.А., Ткаченко А.Н., Кравцов А.Г., Мельничук А.В., Лазутин А.С., Жулябин А.В. Мультидисциплинарный подход при лечении пострадавших с внутрисуставными переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением (преабилитация). *Гений ортопедии*. 2024;30(4):588-596. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-588-596. EDN: PDPTND.

© Хромов А.А., Гуманенко Е.К., Линник С.А., Ткаченко А.Н., Кравцов А.Г., Мельничук А.В., Лазутин А.С., Жулябин А.В., 2024

## Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-588-596>



## Multidisciplinary approach to repair of intra-articular fractures of the distal radius in a complicated setting (prehabilitation)

A.A. Khromov<sup>1,2✉</sup>, E.K. Gumanenko<sup>3</sup>, S.A. Linnik<sup>1</sup>, A.N. Tkachenko<sup>1</sup>, A.G. Kravtsov<sup>2</sup>, A.V. Melnichuk<sup>3</sup>, A.S. Lazutin<sup>3</sup>, A.V. Zhulyabin<sup>2</sup>

<sup>1</sup> North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>2</sup> North-Western District Scientific and Clinical Center named after L.G. Sokolov, St. Petersburg, Russian Federation

<sup>3</sup> St. Petersburg State Pediatric Medical University St. Petersburg, Russian Federation

**Corresponding author:** Aleksandr A. Khromov, [Khromov\\_alex@mail.ru](mailto:Khromov_alex@mail.ru)

### Abstract

**Introduction** Treatment of malunited periarticular fracture of the distal metaepiphysis of the radius in a complicated setting is challenging and involved orthopaedic care and related specialties of neurologists, neurosurgeons and rehabilitation specialists. New methods are offered for repair of the distal radius fractures but the results obtained to date cannot be considered satisfactory, since the treatment is aimed at the restoration of the anatomical relationships and the hand function.

The **objective** was to demonstrate the role of prehabilitation preparing patients for elective reconstructive surgery, to present a multidisciplinary approach to the treatment of malunited radius fracture complicated by posttraumatic compression ischemic multineuropathy.

**Material and methods** The medical history of a 56-year-old patient with distal radius malunion complicated by posttraumatic compression ischemic multineuropathy was reviewed. Outcome criteria included absence of complaints and restored function of the hand and the wrist.

**Results** A positive functional outcome was recorded after prehabilitation and surgery. Early postop, the DASH scored 35, palmar flexion measured 64° with dorsiflexion of 61° and dynamometry of 30 kg seen with the left involved hand. A faster recovery of the hand function occurred due to regression of neurological disorders.

**Discussion** Treatment of the distal radius malunion in a complicated setting suggests the involvement of related specialists including neurologists, neurosurgeons, professionals in functional and diagnostic radiology, rehabilitation specialists so that the approach must be multidisciplinary. A preoperative course of prehabilitation supervised by a neurologist and a rehabilitation specialist is essential for the patient to achieve a higher basic level of functionality. Surgical treatment must be a stage of multi-stage multidisciplinary treatment of distal radius malunion in a complicated setting.

**Conclusion** The clinical case showed an effective multidisciplinary approach in the treatment of distal radius malunion in a complicated setting. Preoperative preparation (prehabilitation) had a positive effect on the postoperative recovery and functional results.

**Keywords:** radius malunion, compression ischemic multineuropathy, prehabilitation

**For citation:** Khromov AA, Gumanenko EK, Linnik SA, Tkachenko AN, Kravtsov AG, Melnichuk AV, Lazutin AS, Zhulyabin AV. Multidisciplinary approach to repair of intra-articular fractures of the distal radius in a complicated setting (prehabilitation). *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):588-596. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-588-596

## ВВЕДЕНИЕ

Среди переломов длинных трубчатых костей повреждения костей верхних конечностей занимают особое место [1–7]. Верхние конечности, эволюционно развившиеся как особое орудие в процессе выживания, в настоящее время обладают специфическими профессиональными навыками современного человека, влияют на трудоспособность и жизнеобеспечение. Среди всех переломов длинных трубчатых костей верхних конечностей переломы дистального метаэпифиза лучевой кости уже в начале XIX в. представляли особый интерес. Подтверждением этому является известное высказывание Гийома Дюпюитрена: «Этот перелом настолько част, а результаты так неудовлетворительны, что не приходится удивляться тому большому интересу, который я лично и мои современники проявляем в отношении перелома нижнего конца луча» [8]. В настоящее время, несмотря на очевидные достижения в медицине, лечение данной категории пострадавших сохраняет свою актуальность. По данным разных авторов, формируется тенденция увеличения количества пострадавших с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости, которые составляют от 11,6 до 36,3 % всех переломов опорно-двигательного аппарата [9–14]. Среди пациентов старшего возраста на долю переломов дистального отдела лучевой кости приходится 18 % [15, 16]. Хотя наибольшему риску этой травмы подвергаются дети и пожилые люди, переломы дистального отдела лучевой кости встречаются и у людей трудоспособного возраста. Однако даже при невысокой частоте таких переломов осложнения могут привести к длительной инвалидности у молодых, здоровых людей. В 30-летнем исследовании молодых людей с переломами дистального отдела лучевой кости в Швеции из 28 % участников исследования, у которых были внесуставные переломы (средний возраст — 31 год на момент перелома, возрастной диапазон — 18–40 лет), 37 % имели жалобы на боль и снижение подвижности [16]. Социальная значимость проблемы обусловлена частыми осложнениями (в среднем около 30 %, по данным большинства авторов) после неправильного хирургического лечения и физической реабилитации и высокими показателями неудовлетворительных функциональных результатов [17]. Большинство пациентов выздоравливает и восстанавливает функции, но почти у пятой части присутствуют остаточные симптомы, такие как боль, неврологические симптомы и инвалидность через год [18, 19]. Неправильное сращение является основной причиной остаточных симптомов и проявляется примерно в 5 % переломов [20]. Любое неправильное сращение, приводящее к несоответствию дистального отдела лучезапястного сустава, может вызывать боль в локтевой стороне сустава и снижать ротацию костей предплечья. Пациенты могут страдать от снижения силы захвата, ухудшения функции кисти и предплечья, а также от косметического дефекта [19]. Несмотря на то, что у большинства пациентов восстанавливается удовлетворительная функция запястья, 23–31 % переломов дистального отдела лучевой кости являются причиной стойкого ограничения функции из-за симптомов боли, потери диапазона движений и силы захвата [21, 22]. Несмотря на то, что неправильное сращение признано относительным показанием к операции, даже при тщательном предоперационном планировании корригирующая операция является сложной задачей и не восстанавливает «нормальное» запястье [21, 23, 24]. Осложнения, возникающие после корригирующей остеотомии, составляют 18,2 % [25]. По мнению ряда авторов [23, 26], кандидатами на операцию должны быть пациенты с постоянной болью и нарушением функции, связанной с несоответствием суставных поверхностей дистального отдела лучезапястного сустава. Следует тщательно продумывать сроки операции. При функциональных ограничениях программа целенаправленной физиотерапии для растяжения и укрепления запястья должна быть терапией первой линии [23]. Полное неврологическое обследование должно исключить наличие синдрома запястного канала, встречающегося у 17 % пациентов, а также признаки комплексного регионарного болевого синдрома [26]. Привлечение специалистов смежных специальностей к лечению больных данной категории, на наш взгляд, более чем оправдано, особенно, если руководствоваться принципом, что операция должна быть последним доводом — «Ultima ratio». В этом контексте нельзя не сказать об относительно новом направлении, заключающемся в индивидуальной подготовке больных к предстоящей операции, — преабилитации. «Большая операция так же, как и марафон, требует подготовки» [27]. На сегодняшний день разработаны протоколы для преабилитации больных, которым планируют эндопротезирование крупных суставов [28, 29, 30]. По нашему мнению, подобную практику можно применить и для пострадавших с неправильно сросшимися переломами лучевой кости в типичном месте с осложнённым течением. Тем более что в этих случаях речь не идёт о срочных операциях, откладывая которые мы подвергаем риску здоровье больного. Сравнительные исследования результатов ранней фиксации переломов дистального отдела лучевой кости и поздней корригирующей остеотомии показали, что результаты корригирующей остеотомии не уступают результатам ранней внутренней фиксации [31]. Большинство авторов согласно с тем, что отбирать пациентов с сохраняющимися симптомами следует только через шесть месяцев после травмы [23]. Некоторые авторы [32] сообщают об улучшении послеоперационных показателей с более коротким интервалом между травмой и корригирующей остеотомией. Последние 100 лет врачи постоянно предлагают новые способы лечения переломов лучевой кости в типичном месте и, несмотря на это, полученные на сегодняшний день результаты не могут считаться удовлетворительными. Лечение пострадавших с переломами лучевой кости в типичном месте по-прежнему остаётся серьёзной проблемой, не утратившей своей актуальности.

**Цель работы** — продемонстрировать значение реабилитации в период подготовки больных к плановым реконструктивным операциям, представить результат мультидисциплинарного подхода при лечении пострадавшей с неправильно сросшимся переломом лучевой кости, осложнённым посттравматической компрессионно-ишемической мультиневропатией.

#### МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом явились данные истории болезни пациентки с неправильно сросшимся переломом лучевой кости в типичном месте с осложнённым течением.

Больная Р., 56 лет, 25.05.2022 в результате падения получила травму левой верхней конечности. При обращении в травмпункт выявлен закрытый оскольчатый внутрисуставной разгибательный перелом дистального метаэпифиза лучевой кости по классификации АО 23-C1, Fernandez III (рис. 1).

После обследования больной под местной анестезией выполнили закрытую репозицию костей предплечья. Конечность фиксировали циркулярной гипсовой повязкой на 4 нед. После снятия гипсовой повязки выявлен контактный дерматит, нарушение чувствительности в левой кисти. Выполнена нейрмиография, больная консультирована неврологом. Поставлен диагноз: полинейропатия левой верхней конечности. Проведено консервативное лечение, назначенное неврологом, ЛФК. Через 5 мес. (31.10.2022) в связи со слабой положительной динамикой и неудовлетворённостью результатами лечения больная госпитализирована в Северо-Западный окружной научно-клинический центр им. Л.Г. Соколова (СЗОНКЦ).

Критерии оценки результата лечения: положительная динамика клинических проявлений, восстановление функции кисти.

В процессе лечения реализована тактика мультидисциплинарного подхода в предоперационном периоде.

#### РЕЗУЛЬТАТЫ

При поступлении больная предъявляла жалобы на отёк левой кисти и нижней трети левого предплечья; ограничение движений в межфаланговых суставах кисти (сгибание — 45°, разгибание — 0°) и в лучезапястном суставе (сгибание — 35°, разгибание — 60°); ощущение онемения по наружной поверхности нижней трети левого предплечья, в V, IV, III пальцах левой кисти; ощущение натяжения, распространяющееся по наружной поверхности левого плеча и предплечья.

При обследовании выявлены: неправильно сросшийся внутрисуставной оскольчатый перелом лучевой кости левого предплечья (АО 23-C1, Fernandez III); укорочение лучевой кости 5 мм; тыльное угловое смещение 30° (рис. 2); остеопороз; полинейропатия левой верхней конечности. Сопутствующие заболевания: гипертоническая болезнь 3 ст., СД 2 типа; контактный дерматит; ожирение 1 ст.



Рис. 1. Рентгенограмма костей кисти и предплечья больной Р. при обращении в травмпункт



Рис. 2. Рентгенограммы лучезапястного сустава больной Р. при поступлении в стационар

Оценка неспособности верхней конечности по вопроснику DASH — 68 баллов, болевой синдром по шкале ВАШ — 6 баллов, динамометрия — на правой руке 37 кг, на левой (больной) — 22 кг. При УЗДГ-исследовании карпального канала выявлены УЗ-признаки утолщения lig. collaterale carpi ulnare с УЗ-признаками отека с возможным опосредованным внешним воздействием на ствол левого локтевого нерва. Результаты ЭНМГ (01.11.22): умеренная невропатия срединного нерва на уровне карпального канала слева с умеренным нарушением функции сенсорных и легким нарушением функции моторных волокон, характер поражения — смешанный, легкое аксонально-демиелинизирующее поражение поверхностного лучевого нерва слева, умеренное аксональное поражение дистальных сенсорных волокон нервов верхних конечностей по типу ПНП. Признаков поражения локтевого нерва и моторных волокон лучевого нерва не выявлено. Больная осмотрена неврологом. Диагноз: посттравматическая компрессионно-ишемическая мультиневропатия срединного и поверхностного лучевого нервов слева с легкими моторными и сенсорными нарушениями; аксональная дистальная сенсорная полинейропатия верхних конечностей. Рекомендовано: внутривенные инфузии физиологического раствора с тигаммой, тренталом № 10; внутримышечные инъекции мильгаммы и нейромидина № 10; таблетированный препарат Тебантин 300 мг 1-й день по 1 таблетке на ночь, при необходимости увеличение до 1 таблетки 3 раза в день.

При решении вопроса об оперативном лечении — корригирующей остеотомии и костной пластике — учитывали такие факторы как регионарная остеопения дистального отдела лучевой кости, диагностированная с помощью рентгенографии, отсутствие выраженного болевого синдрома, наличие в области предполагаемого оперативного вмешательства контактного дерматита. После проведенного курса консервативного лечения (инфузионной терапии, направленной на улучшение микроциркуляции и уменьшение отека, витаминотерапии, курса ФТЛ и ЛФК) больная выписана через две недели на амбулаторное лечение. Рекомендован курс реабилитации с участием неврологов, инструкторов-реабилитологов и ФТЛ. Назначено медикаментозное лечение: 100 мкг кальцитонина в день, 1000 мг элементарного кальция в виде карбоната кальция и 400 МЕ (10 мкг) витамина D3 в течение 12 недель; физиотерапия, занятия с реабилитологом до восстановления удовлетворительного диапазона движений в лучезапястном суставе, прочности кости и исчезновения рентгенологических признаков регионарной остеопении.

Больная повторно госпитализирована через 6 мес. для выполнения корригирующей остеотомии. При осмотре состояние мягких тканей улучшилось, отёк не определен, явления контактного дерматита купированы. Сохранились онемение в V и IV пальцах левой кисти, деформация на уровне левого лучезапястного сустава. Регионарная остеопения дистального отдела лучевой кости, диагностированная с помощью рентгенографии через 6 мес., уменьшилась (рис. 3).

Принято решение об оперативном лечении — корригирующей остеотомии и костной пластике лучевой кости. 16.06.2023 выполнена операция. Для устранения угловой деформации использована предизогнутая пластина с полиаксиальными винтами. Вначале пластину прикрепили к дистальному отломку и ножку пластины использовали в качестве джойстика для устранения смещения по ширине и длине, обеспечивая мягкое и постепенное устранение деформации, растягивая мягкие ткани. Использование пластины, прикрепленной к дистальному фрагменту, в качестве джойстика могло быть осложнено прорезанием винтов или переломом дистального фрагмента, но этого мы смогли избежать, предварительно проведя курс лечения регионарной остеопении дистального отдела лучевой кости (рис. 4).



Рис. 3. Рентгенограммы лучезапястного сустава больной Р. Признаки остеопении отсутствуют



Рис. 4. Рентгенограммы костей кисти и предплечья больной Р., состояние перелома лучевой кости после операции

В раннем послеоперационном периоде рана зажила первичным натяжением. Смещение по длине и ширине устранено, угловое смещение уменьшилось. Косметический дефект устранён (рис. 5). Неврологические расстройства исчезли сразу после операции, движения в пальцах кисти — в пределах нормы (рис. 6).



Рис. 5. Клинический результат операции через одну неделю



Рис. 6. Клинический результат операции через 4 недели

#### ОБСУЖДЕНИЕ

Переломы лучевой кости в типичном месте, как и большинство околоуставных и внутрисуставных переломов, относятся к сложным в лечении переломам, требующим в каждом отдельном случае индивидуального подхода [9, 10]. При таких переломах необходимо учитывать степень смещения костных отломков, их количество, отношение к суставной поверхности и, наконец, сроки [6]. Как известно, традиционно переломы можно лечить консервативно или оперативно [7]. В последнее время в научной литературе активно пропагандируют оперативный метод лечения [5, 13]. У пострадавших, которых оперируют в первые часы после травмы до развития отёка, более благоприятные условия для заживления раны, короче период реабилитации и сроки выздоровления. Но многое в этой ситуации зависит от характера перелома и выбранной оперативной тактики [2]. Многооскольчатые внутрисуставные переломы со смещением отломков в области лучезапястного сустава технически трудны для адекватной репозиции и стабильной фиксации. В таких случаях большинство травматологов предпочитает использовать аппараты внешней фиксации, рассчитывая на лигаментотаксис [33]. Однако нередко при удовлетворительной репозиции внутрисуставных костных отломков не удаётся добиться сращения самого перелома из-за избыточной дистракции между дистальным и проксимальным отломками лучевой кости. Нельзя при этом не учитывать опасность развития постиммобилизационного остеопороза, особенно у пострадавших преклонного возраста, который может стать причиной дополнительных трудностей при выполнении костной пластики ложного сустава лучевой кости. По этим причинам немало травматологов в подобных случаях предпочитают консервативное лечение, надеясь на адаптивные возможности организма [6, 15]. Из таких больных и формируется многочисленная группа пострадавших с неправильно сросшимися переломами лучевой кости в типичном месте, нередко с сопутствующими осложнениями в виде нейроциркуляторного, туннельного синдромов, неврологических расстройств [10, 26]. Результаты лечения этих больных, как было сказано выше, часто бывают неудовлетворительными. Не реализуются имеющиеся возможности для реабилитации подобных пострадавших. Нарушается преемственность в наблюдении и дальнейшей терапии пострадавших. Это приводит

к контрактурам и тугоподвижности в суставах кисти, стойким неврологическим расстройствам. Поэтому снижение количества неудовлетворительных результатов у таких больных является актуальной проблемой, требующей изыскания новых, более эффективных подходов к лечению больных с неправильно сросшимися внутрисуставными переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением. В большинстве случаев применяется корригирующая остеотомия с костной пластикой. Однако даже после оперативного лечения общая частота осложнений после корригирующей остеотомии лучевой кости, по литературным данным, варьирует от 27 до 57 % [23]. Несращения встречаются в 10,5 % случаев [34], замедленная консолидация — в 5,6 % случаев [35]. У пациентов с ладонной фиксацией пластиной зарегистрирована высокая частота невропатии и синдрома запястного канала [36]. При оценке функциональных и рентгенологических результатов после корригирующей остеотомии, по данным авторов [25], в результате пятилетнего наблюдения выявлено 18,2 % осложнений.

В приведённом выше случае спустя 5 мес. после травмы у больной диагностирована посттравматическая компрессионно-ишемическая мультиневропатия срединного и поверхностного лучевого нерва слева с легкими моторными и сенсорными нарушениями, сохранялся постиммобилизационный остеопороз дистального отдела лучевой кости, другие сопутствующие осложнения в виде контактного дерматита в области предполагаемого оперативного вмешательства. Оперативное лечение в данных условиях признано нецелесообразным. Больная нуждалась в преабиляции, в интенсивном лечении у неврологов, сосудистой инфузионной терапии, улучшении микроциркуляции мягких тканей и активных занятиях с инструкторами-реабилитологами и ФТЛ. Через 6 мес. после проведённого курса консервативного лечения больная повторно госпитализирована с положительной динамикой. При осмотре состояние мягких тканей улучшилось, отёк не определен, явления контактного дерматита купированы. Движения в межфаланговых суставах были в пределах нормы. Сохранялось онемение в V и IV пальцах левой кисти. На рентгенограммах явления остеопороза уменьшены. Таким образом, технические возможности для оперативного лечения стали более благоприятными. После проведённой преабиляции и выполненной операции довольно быстро достигли положительного функционального результата. В раннем послеоперационном периоде оценка по шкале DASH — 35 баллов, ладонное сгибание — 64°, тыльное сгибание — 61°, динамометрия на левой руке (больной) — 30 кг. Произошло более быстрое восстановление функции кисти в результате регресса неврологических расстройств. В литературе, посвящённой лечению больных с неправильно сросшимися переломами дистального отдела лучевой кости с осложнённым течением, мы не встретили описания и оценки мультидисциплинарного подхода и предложений по протоколу преабиляции при лечении данной категории пострадавших.

Реабилитация пострадавших с околосуставными и внутрисуставными переломами сама по себе является непростой задачей. Сложность и ответственность при лечении таких пациентов возрастает многократно, если речь идёт о верхней конечности в связи с её функциональной значимостью. В тех же случаях, когда травматолог сталкивается с неправильно сросшимся околосуставным переломом дистального метаэпифиза лучевой кости, сопровождающимся неврологическими нарушениями, тугоподвижностью суставов пальцев кисти и ограничением движений в лучезапястном суставе, задача существенно усложняется. Тактика лечения пострадавших с неправильно сросшимися переломами лучевой кости в типичном месте с осложнённым течением, на наш взгляд, требует мультидисциплинарного подхода. Такому подходу для достижения максимального эффекта от лечения соответствует концепция преабиляции с участием нескольких специалистов.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Описанный случай лечения пациентки с неправильно сросшимся переломом лучевой кости в типичном месте с осложнённым течением демонстрирует преимущества мультидисциплинарного подхода и возможности преабиляции у данной категории пострадавших.

**Конфликт интересов.** Не заявлен.

**Источник финансирования.** Не заявлен.

**Информированное согласие.** Коллектив авторов получил от пациентки согласие на публикацию анамнестических данных, результатов обследований и лечения.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Гуманенко Е.К., Хромов А.А., Линник С.А. и др. Новые направления в лечении переломов костей верхних конечностей у пострадавших с тяжёлыми множественными и сочетанными травмами. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2016;175(5):46-51. doi: 10.24884/0042-4625-2016-175-5-46-51
2. Зуби Ю.Х., Абуджазар У.М., Килыбаев А.К. и др. Итоги лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости (перелом лучевой кости в типичном месте). *Вестник КазНМУ*. 2015; (4):153-156.
3. Aspenberg P, Sandberg O. Distal radial fractures heal by direct woven bone formation. *Acta Orthop*. 2013;84(3):297-300. doi: 10.3109/17453674.2013.792769

4. Jakubietz RG, Gruenert JG, Kloss DF, et al. A randomised clinical study comparing palmar and dorsal fixed-angle plates for the internal fixation of AO C-type fractures of the distal radius in the elderly. *J Hand Surg Eur Vol.* 2008;33(5):600-604. doi: 10.1177/1753193408094706
5. Karimi Nasab MH, Shayesteh Azar M, Fazel Moghaddam S, Taghipour M. Success Rate and Complications of Comminuted Intra-Articular Distal Radius Fracture Treatment via Closed Reduction and Use of a Mini-External Fixator. *Trauma Mon.* 2015;20(4):e18885. doi: 10.5812/traumamon.18885
6. Малец В. Л., Волотовский А.И. Результаты хирургического лечения посттравматических деформаций дистального метаэпифиза лучевой кости с применением костной аутопластики и декомпрессии дистального метаэпифиза лучевой кости. *Военная медицина.* 2019; (4):21-25.
7. Anzarut A, Johnson JA, Rowe BH, et al. Radiologic and patient-reported functional outcomes in an elderly cohort with conservatively treated distal radius fractures. *J Hand Surg Am.* 2004;29(6):1121-1127. doi: 10.1016/j.jhsa.2004.07.002
8. Dupuytren's M. Leçons Orales de Clinique Chirurgicale, faites à l'Hôtel Dieu de Paris. *Med Chir Rev.* 1834;21(42):289-330.
9. Мельников В.С., Коршунов В.Ф. Методы оперативного лечения неправильно сросшихся переломов дистального эпиметафиза лучевой кости. *Лечебное дело.* 2008;(3):78-84.
10. Семенкин О.М., Измалков С.Н., Голубцов В.И. Корректирующая остеотомия дистального метаэпифиза лучевой кости при неправильно сросшихся внутрисуставных переломах. *Травматология и ортопедия России.* 2015;21(2):16-23.
11. Волотовский А.И. Адаптивный коллапс запястья: понятие, классификация, современные методы диагностики. *Медицинский журнал.* 2012;(3):26-31.
12. Гилев М.В. Хирургическое лечение внутрисуставных импрессионных переломов дистального отдела лучевой кости. *Гений ортопедии.* 2018;24(2):134-141. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-2-134-141
13. Шершнева О. Г., Варенцов Д.С., Крюкова А.С. и др. Оперативные и консервативные методы лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости. *Молодой ученый.* 2019;(23):179-183.
14. Матвеев Р.П., Брагина С.В., Шнейвейс А.М. Дифференцированный подход к лечению переломов дистального метаэпифиза лучевой кости со смещением. *Гений ортопедии.* 2017; 23 (4): 396-400. doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-396-400
15. Huettelman HE, Zhong L, Chung KC. Cost of Surgical Treatment for Distal Radius Fractures and the Implications of Episode-Based Bundled Payments. *J Hand Surg Am.* 2018;43(8):720-730. doi: 10.1016/j.jhsa.2018.05.007
16. Nellans KW, Kowalski E, Chung KC. The epidemiology of distal radius fractures. *Hand Clin.* 2012;28(2):113-125. doi: 10.1016/j.hcl.2012.02.001
17. Panova G, Panov N, Panova B, et al. Epidemiology of distal radius fracture. *III Congress of general medicine doctors of R. Macedonia with international participation, April 26-29, 2012.* Ohrid. URI: <https://eprints.ugd.edu.mk/id/eprint/5390>
18. Abramo A, Tagil M, Geijer M, Kopylov P. Osteotomy of dorsally displaced malunited fractures of the distal radius: no loss of radiographic correction during healing with a minimally invasive fixation technique and an injectable bone substitute. *Acta Orthop.* 2008;79(2):262-268. doi: 10.1080/17453670710015085
19. MacDermid JC, Roth JH, Richards RS. Pain and disability reported in the year following a distal radius fracture: a cohort study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2003;4:24. doi: 10.1186/1471-2474-4-24
20. Cooney WP 3rd, Dobyns JH, Linscheid RL. Complications of Colles' fractures. *J Bone Joint Surg Am.* 1980;62(4):613-619.
21. Abramo A, Tagil M, Geijer M, Kopylov P. Osteotomy of dorsally displaced malunited fractures of the distal radius: no loss of radiographic correction during healing with a minimally invasive fixation technique and an injectable bone substitute. *Acta Orthop.* 2008;79(2):262-268. doi: 10.1080/17453670710015085
22. McQueen MM, Wakefield A. Distal radial osteotomy for malunion using non-bridging external fixation: good results in 23 patients. *Acta Orthop.* 2008;79(3):390-395. doi: 10.1080/17453670710015300
23. Haines SC, Bott A. Current Concepts: Corrective Osteotomy for Extra-Articular Deformity Following a Distal Radius Fracture. *Cureus.* 2023;15(10):e47019. doi: 10.7759/cureus.47019
24. Flinkkilä T, Raatikainen T, Kaarela O, Hämäläinen M. Corrective osteotomy for malunion of the distal radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2000;120(1-2):23-26. doi: 10.1007/pl00021237
25. Cibula Z, Hrubina M, Melišík M, et al. Osteotomy after Distal Radius Fractures - Five-Year Clinical and Radiological Outcomes. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2018;85(4):254-260. (In Slovak.)
26. Gaspar MP, Kho JY, Kane PM, et al. Orthogonal Plate Fixation With Corrective Osteotomy for Treatment of Distal Radius Fracture Malunion. *J Hand Surg Am.* 2017;42(1):e1-e10. doi: 10.1016/j.jhsa.2016.10.012
27. Wynter-Blyth V, Moorthy K. Prehabilitation: preparing patients for surgery. *BMJ.* 2017;358:j3702. doi: 10.1136/bmj.j3702
28. Swank AM, Kachelman JB, Bibeau W, et al. Prehabilitation before total knee arthroplasty increases strength and function in older adults with severe osteoarthritis. *J Strength Cond Res.* 2011;25(2):318-325. doi: 10.1519/JSC.0b013e318202e431
29. Franz A, Queitsch FP, Behringer M, et al. Blood flow restriction training as a prehabilitation concept in total knee arthroplasty: A narrative review about current preoperative interventions and the potential impact of BFR. *Med Hypotheses.* 2018;110:53-59. doi: 10.1016/j.mehy.2017.10.029
30. Бикчурин Н.М., Тахавиева Ф.В., Айдаров В.И., Акишин Е.М. Преабилитация в профилактике повреждений опорно-двигательного аппарата. *Практическая медицина.* 2017; 8 (109): 36-39.
31. Gouk C, Bairstow M, Thomas M, et al. A comparison of early fixation of distal radius fractures versus late corrective osteotomy of distal radius malunion. *ANZ J Surg.* 2022;92(12):3319-3324. doi: 10.1111/ans.18122
32. Mahmoud M, El Shafie S, Kamal M. Correction of dorsally-malunited extra-articular distal radial fractures using volar locked plates without bone grafting. *J Bone Joint Surg Br.* 2012;94(8):1090-1096. doi: 10.1302/0301-620X.94B8.28646
33. Неверов В.А., Хромов А.А., Кравченко И.Н. и др. Хирургическое лечение больных с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 2009;168(1): 66-70.
34. Disseldorp DJ, Pooze M, Hannemann PF, Brink PR. Is Bone Grafting Necessary in the Treatment of Malunited Distal Radius Fractures? *J Wrist Surg.* 2015;4(3):207-213. doi: 10.1055/s-0035-1558831

35. Gradl G, Jupiter J, Pillukat T, et al. Corrective osteotomy of the distal radius following failed internal fixation. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(8):1173-1179. doi: 10.1007/s00402-013-1779-5
36. Wei J, Yang TB, Luo W, et al. Complications following dorsal versus volar plate fixation of distal radius fracture: a meta-analysis. *J Int Med Res.* 2013;41(2):265-275. doi: 10.1177/0300060513476438

Статья поступила 05.09.2023; одобрена после рецензирования 12.02.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 05.09.2023; approved after reviewing 12.02.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### **Информация об авторах:**

Александр Анатольевич Хромов — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, Khromov\_alex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8489-4202>, SPIN-код: 7062-0665, AuthorID: 468175;

Евгений Константинович Гуманенко — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, gumanenko@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5974-503X>, SPIN-код: 1488-2514, AuthorID: 305897;

Станислав Антонович Линник — доктор медицинских наук, профессор кафедры, stanislavlinnik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4840-6662>, SPIN-код: 3442-9930, AuthorID: 675326;

Александр Николаевич Ткаченко — доктор медицинских наук, профессор кафедры, altkachenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4585-5160>, SPIN-код: 2658-0405, AuthorID: 451947;

Александр Гаврилович Кравцов — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, kravt@med122.com, <https://orcid.org/0009-0002-7063-6023>, SPIN-код: 6189-1503, AuthorID: 1129448;

Артём Витальевич Мельничук — ассистент кафедры, melin@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9148-1306>;

Андрей Сергеевич Лазутин — ассистент кафедры, lazutin.as@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3222-9895>;

Анатолий Викторович Жулябин — травматолог-ортопед, AV-Zhulyabin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3009-2831>.

#### **Information about the authors:**

Aleksandr A. Khromov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Khromov\_alex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8489-4202>;

Evgeny K. Gumanenko — Doctor of Medical Sciences, Professor, gumanenko@inbox.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5974-503X>,

Stanislav A. Linnik — Doctor of Medical Sciences, Professor, stanislavlinnik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4840-6662>;

Alexandr N. Tkachenko — Doctor of Medical Sciences, Professor, altkachenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4585-5160>;

Aleksandr G. Kravtsov — Candidate of Medical Sciences, kravt@med122.com, <https://orcid.org/0009-0002-7063-6023>;

Artem V. Melnichuk — assistant of the Department, melin@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0006-9148-1306>;

Andrey S. Lazutin — assistant of the Department, lazutin.as@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0000-3222-9895>;

Anatoliy V. Zhulyabin — orthopaedic surgeon, AV-Zhulyabin@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0003-3009-2831>.

#### **Вклад авторов:**

Хромов А.А. — концепция идеи, формулировка целей и задач исследования.

Гуманенко Е.К. — написание — первоначальный вариант.

Линник С.А. — написание — рецензирование и редактирование.

Ткаченко А.Н. — управление проектом.

Кравцов А.Г. — контроль и руководство планированием.

Мельничук А.В. — визуализация данных.

Лазутин А.С. — исследование, сбор данных.

Жулябин А.В. — валидизация.

## Обзорная статья

УДК 616.727.2-089-06:616.833.34-001

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-597-607>

## Повреждения нервов при хирургии плечевого сустава

**А.О. Тутуров<sup>1</sup>, А.С. Петросян<sup>2</sup>, М.А. Панин<sup>2</sup>, Б.И. Захарян<sup>2</sup>, О. Аль-Баварид<sup>2</sup>**<sup>1</sup> Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия<sup>2</sup> Городская клиническая больница № 17, Москва, Россия**Автор, ответственный за переписку:** Омар Аль-Баварид, Alomar442@mail.ru

### Аннотация

**Введение.** Активное развитие хирургии плечевого сустава во многом связано с усилением технического оснащения операционных, усовершенствованием оперативных пособий, а также появлением малоинвазивных методик. Теперь нервы и сосуды редко повреждают прямым пересечением или утягиваются в толще швов. Однако краевые надрывы, сдавления и ущемление нервных стволов при ретракции доступа, катетеризации, некорректном положении пациента на операционном столе и ошибках в реабилитации до сих пор случаются часто.

**Цель работы** — выявить факторы, предрасполагающие к повреждению периферических нервов верхней конечности при хирургии плечевого сустава, предложить варианты их исключения.

**Материалы и методы.** Проанализированы основные исследования в области анатомии и хирургии плечевого сустава, опубликованные с 1984 по 2023 г., для выявления анатомических, биомеханических и периоперационных факторов, приводящих к повреждениям периферических нервов. Поиск осуществлен в базах данных Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, РИНЦ, Scopus. Для четкой структуризации, максимально краткого и информативного изложения полученных данных результаты анализа распределены по четырем направлениям. Каждое из них включает возможные варианты повреждения периферического нерва верхней конечности.

**Результаты и обсуждение.** Проведенный анализ позволил выявить факторы, предрасполагающие к повреждению периферических нервов верхней конечности при хирургии плечевого сустава. Возможности их исключения: размещение пациента на операционном столе с адекватной фиксацией головы и туловища вне зависимости от выбранного положения; тракция за оперируемую верхнюю конечность грузом не более 9 кг при помощи специализированного фиксатора; предоперационная разметка операционного поля с окрашиванием костных ориентиров; при длительной операции смещение артроскопических портов на 1–2 см дистальнее и минимизирование поступления жидкости в сустав. В послеоперационном периоде обязательно следует направлять пациента к специалистам по реабилитации для формирования программы ранней активизации и оценивать риски появления признаков неврологических расстройств.

**Заключение.** Детальное изучение анатомии плечевого сустава и локализации опасных зон плечевой области, а также рисков при выполнении той или иной манипуляции, позволяет эффективнее осуществлять предоперационное планирование и исключать неврологические осложнения лечения хирургической патологии плечевого сустава.

**Ключевые слова:** плечевой сустав, хирургия нервов, повреждения нервов, артроскопия, протезирование

**Для цитирования:** Тутуров А.О., Петросян А.С., Панин М.А., Захарян Б.И., Аль-Баварид О. Повреждения нервов при хирургии плечевого сустава. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):597-607. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-597-607. EDN: QSKPZG.



## Nerve injury associated with shoulder surgery

A.O. Tuturov<sup>1</sup>, A.S. Petrosyan<sup>2</sup>, M.A. Panin<sup>2</sup>, B.I. Zakharyan<sup>2</sup>, O. Al-Bawareed<sup>2</sup>✉

<sup>1</sup> City Clinical Hospital named after S.S. Yudin, Moscow, Russian Federation

<sup>2</sup> City Clinical Hospital No. 17, Moscow, Russian Federation

**Corresponding author:** Omar Al-Bawareed, [vduort@gmail.com](mailto:vduort@gmail.com)

### Abstract

**Introduction** Progress in shoulder surgery is associated with improved operating rooms equipment, advanced surgical products and minimally invasive techniques. There are rare injuries to nerves and vessels being intersected or pulled into the sutures. However, marginal tears, compression and nerve entrapment of trunks during access retraction, catheterization, inadequate correct of the patient on the operating table and errors in rehabilitation can be common.

The **purpose** was to identify factors predisposing to peripheral nerve injury to the upper limb during shoulder surgery and offer prevention options.

**Material and methods** Major studies in the field of shoulder anatomy and surgery published between 1984 and 2023 were reviewed to identify anatomical, biomechanical and perioperative factors leading to peripheral nerve injuries. The original literature search was conducted on key resources including GoogleScholar, PubMed, ScienceDirect, RSCI, Scopus. Four approaches were used for structuring and informative presentation of the data to include types of the peripheral nerve injury in the upper limb.

**Results and discussion** Factors predisposing to the peripheral nerve injury in the upper limb during shoulder surgery were identified in the review. Prevention measures include the patient positioned on the operating table with adequate fixation of the head and torso, regardless of the chosen position; traction of the involved upper limb with a load of not greater than 9 kg using a specialized clamp; preoperative marks of the surgical field and staining of bone landmarks; the arthroscopic ports 1–2 cm to be shifted more distally minimizing the fluid flow into the joint during a long operation. Postoperative consultation with rehabilitation specialists is essential to develop an early activation program and assess the risks of neurological disorders.

**Conclusion** The shoulder anatomy and the localization of unsafe zones of the shoulder, the risks associated with a particular manipulation were explored for effective preoperative planning and prevention of neurological complications in the treatment of surgical pathology of the shoulder joint.

**Keywords:** shoulder joint, nerve surgery, nerve injury, arthroscopy, arthroplasty

**For citation:** Tuturov AO, Petrosyan AS, Panin MA, Zakharyan BI, Al Bawareed O. Nerve injury associated with shoulder surgery. *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):597-607. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-597-607

## ВВЕДЕНИЕ

При различных травмах и оперативных вмешательствах в области плечевого сустава присутствует риск повреждения нервов. Особое внимание стоит уделять ятрогенным поражениям нервных стволов. Частота травм нервов зависит не только от навыков и опыта хирурга, но и от вида операции и используемого доступа. Патологическая неврологическая симптоматика выявляется примерно после 0,2–3 % артроскопических процедур, 4 % артропластик и 8 % открытых операций по поводу нестабильности плечевого сустава [1]. Большая часть этих травм представляет собой парестезии или гипестезии и переходные нейропраксии [2]. К наиболее серьезным неврологическим последствиям приводят повреждения основных стволов надлопаточного (НН), мышечно-кожного (МКН) и подмышечного нервов (ПН), а также черепно-мозговых нервов (ЧМН) [3].

Как известно, имеется множество классификаций повреждений нервов, которые разделяются по этиологии, локализации, форме и степени повреждения. Ятрогенные же травмы отличаются выраженным полиморфизмом, поскольку могут быть вызваны компрессией от ретракции или отека, термическим рассечением от некорректной аблации/коагуляции окружающих тканей, ущемлением в толще швов и якорных фиксаторов и др. Особенностью травматизации нервов является трудность его обнаружения во время оперативного вмешательства, поскольку в большинстве случаев необходимость в интраоперационном нейромониторинге отсутствует, а явных визуальных признаков, как при пересечении сосудов, не наблюдается. Таким образом, неврологическая симптоматика выявляется лишь на следующие сутки после операции и часто вызывает сомнения в течение долгого времени, что может быть связано также с предоперационной блокадой сплетения.

Для предотвращения развития любого нейротравмирующего фактора актуально выполнение тщательной предоперационной подготовки и корректных интраоперационных и послеоперационных манипуляций.

**Цель работы** — выявить факторы, предрасполагающие к повреждению периферических нервов верхней конечности при хирургии плечевого сустава, предложить варианты их исключения.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализированы основные исследования в области анатомии и хирургии плечевого сустава, опубликованные в 1984–2023 г., для выявления анатомических, биомеханических и периоперационных факторов, приводящих к повреждениям периферических нервов. Поиск литературных источников осуществлен в базах данных Google Scholar, PubMed, ScienceDirect, РИНЦ, Scopus. Для четкой структуризации, максимально краткого и информативного изложения полученных данных результаты анализа распределены по четырем направлениям: размещение пациента на операционном столе, артроскопическая хирургия плечевого сустава, открытая хирургия плечевого сустава, мультифакториальное осложнение хирургии плечевого сустава. Каждое из них включает возможные варианты повреждения периферического нерва верхней конечности, проясняет топографическое проецирование нервов и связанные с этим риски их повреждений при различных манипуляциях перед операцией, интраоперационно, а также в период реабилитации. Тем самым, рассмотрев эти особенности, мы рекомендуем способы минимизации повреждения нервов.

## РЕЗУЛЬТАТЫ

**Размещение пациента на операционном столе**

J.R. Andrews et al. [4] пришли к выводу, что не только неправильное размещение портов может повредить сосудисто-нервные структуры, и указали на основные осложняющие факторы: некорректное позиционирование пациента и вытяжение более 9 кг.

Хирургию плечевого сустава проводят в двух основных положениях: положение «шезлонга» (англ.: beach-chair) и боковое горизонтальное положение (англ.: lateral decubitus) [4].

**Положение «шезлонга»**

Эта позиция реже ассоциируется с травмами нервов, так как верхняя конечность за счет своей массы опущена, и плечевое сплетение не растягивается, максимально смещается книзу подмышечной области, в связи с чем повреждения МКН и ПН наименее вероятны [5]. При этом позиция «шезлонга» имеет недостаток: неустойчивое положение головы. Имеются данные о развитии послеоперационных неврологических симптомов из-за компрессии малого затылочного и большого ушного нервов за счет держателей головы [6] и даже средней шейной квадриплегии [7].

Нередки и другие ятрогенные варианты поражения нервов: применение ремня для удержания головы, опора ассистента или хирурга на область шеи со сдавливанием угла нижней челюсти, чрезмерное боковое

сгибание и излишние движения головы в условиях миорелаксации при потере фиксации (компрессия XII черепно-мозгового нерва) [8]. Об этом также сообщают A. Cogan et al. [9], указывая, что любое изменение угла, образованного туловищем и головой, отличного от 180°, повышает риск травмы XII черепно-мозгового нерва.

### Рекомендации

Голову в положении «шезлонга» необходимо закреплять аккуратно боковыми упорами или специализированным фиксатором с защитой шеи. Важно отслеживать на протяжении операции её расположение, а также любое прикосновение в её области [10].

### Боковое положение

Другая позиция Lateral decubitus имеет свои преимущества: в этом положении обеспечивается лучшая церебральная перфузия, нет повышенного риска гипотонии и брадикардии, пузыри в суставной жидкости от коагуляции движутся в сторону от области обзора, свободный доступ к задней и верхней областям плеча, лучшая визуализация субакромиального пространства [11]. Большинство из положительных свойств объясняется латеральной тракцией верхней конечности и закреплением пациента на боку. С другой стороны, происходит натяжение плечевого сплетения, в связи с чем значительно повышается риск повреждения МКН и ПН при выполнении артроскопических портов, а также тяговое усилие приводит к сдавлению мягких тканей, сосудов и нервов, и нагрузка на контралатеральное плечо способна приводить к компрессионным повреждениям.

### Рекомендации

При боковом положении особенно важно выполнять корректное вытяжение не более 9 кг, а также располагать пациента с поворотом тела в дорсальном направлении до 30°, отведением руки около 45°, которое целесообразно уменьшать при работе в субакромиальном пространстве [12].

### Артроскопическая хирургия плечевого сустава

Артроскопическая хирургия позволяет минимизировать рассечение мягких тканей по сравнению с операцией на открытом плечевом суставе. Но, тем не менее, установка портов несет в себе риск прямой травмы нервов [4].

Частота интраоперационных или ятрогенных травм нервов напрямую коррелирует с некоторыми факторами. Во-первых, многое зависит от опыта хирурга, количества проведенных самостоятельных операций, багажа знаний и навыков, приобретенных им во время кадаверных курсов. Во-вторых, это анатомические особенности пациента [13]. Возможные отклонения и аномалии в развитии или посттравматические изменения также могут быть причиной таких осложнений. Предсказать это сложно, но, основываясь на уже описанных в литературе вариантах анатомии нервных стволов, мы можем снизить риск их повреждения.

### Формирование доступов

Перед тем, как приступить к этому этапу, необходимо выполнить разметку при помощи маркера (рис. 1). Это в значительной степени облегчит правильное проведение доступов. Но нужно учитывать, что такие ориентиры могут стать ошибочными в случае длительной операции. После наполнения тканей водой, когда наши маркеры смещаются, они уже могут привести к различным осложнениям. В таком случае более целесообразно за точку отсчета брать уже сформированные ранее порты [14].

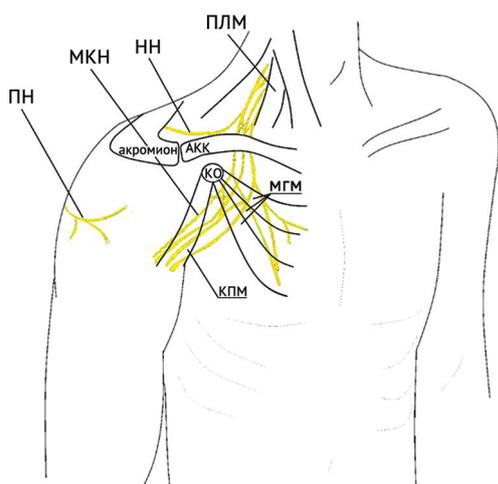


Рис. 1. Схематичное изображение предоперационно отмеченных костно-мышечных ориентиров плечевой области, позволяющих рассчитывать расположение нервов. Сокращения: ПН — подмышечный нерв, МКН — мышечно-кожный нерв, НН — надлопаточный нерв, АКК — акромиальный конец ключицы, КО — клювовидный отросток, КПМ — клювовидно-плечевая мышца, МГМ — малая грудная мышца, ПЛМ — передняя лестничная мышца (иллюстрация авторская)

### **Задний порт**

Задний порт обычно устанавливают первым, путем пальпации и прокалывания «мягкого места» (англ.: soft spot). Ориентир для разреза кожи составляет примерно 2 см ниже и 1 см медиальнее задне-бокового угла акромиона [15].

#### **Техника выполнения**

Как только кожа прорезана, троакары должны быть направлены к клювовидному отростку. Если порт сделан слишком низко и/или троакар направлен ниже плечевого сустава, появляется высокий риск повреждения ПН. Если порт сделан слишком медиально, вероятно поражение НН. Для того чтобы проведение троакара было верным, можно использовать следующий прием. Рядом с местом входа установить I палец правой или левой руки, в зависимости от того, какое плечо вы оперируете. На верхушке клювовидного отростка поставить II палец. Таким образом, направление введения инструмента будет контролироваться на основании эффекта пальпируемого и легко визуализируемого вектора [14]. В некоторых случаях этот порт допустимо сделать на 1 см проксимальнее. Такой прием применяют, когда основные манипуляции проходят в субакромиальном пространстве. Тем самым размещают артроскоп субакромиально, практически параллельно акромиону, который теперь не будет мешать перемещению инструмента [16]. Это позволяет значительно увеличить зону обзора. Обратите внимание, что такой порт лучше выполнять, если операция планируется не длительная (в течение 1 часа). Более продолжительные процедуры приведут к экстравазации, и эффективность этого доступа станет низкой.

#### **Передний порт**

Следующий порт, который формируется, — это передний. К выполнению этой процедуры необходимо относиться крайне аккуратно. Ведь именно при его выполнении происходит большинство осложнений [3].

#### **Анатомия**

При установке переднего порта имеется риск повреждения ПН и МКН. Наибольший травматичный риск для ПН связан с размещением портов при артроскопии в переднее-нижнем положении: чресподлопаточный порт, иногда используемый при реконструкции лабрального комплекса, может находиться на расстоянии 1,5 см от ПН [17]. В связи с этим хирургам рекомендуется соблюдать минимальное расстояние «безопасной зоны» в районе 1 см от гленоида для размещения капсульных швов. МКН особенно уязвим в проксимальном направлении, где он лежит на подлопаточной мышце. Это связано с тем, что точка входа нерва в клювовидно-плечевую мышцу непредсказуема, а нерв иногда раздваивается [18]. Расстояние между КО и точкой входа нерва в мышцу колеблется от 3,1 до 8,2 см. Размещение любых передних портов, медиальных к КО и объединенному сухожилию, может привести к травматическому повреждению МКН и латерального ствола плечевого сплетения. К счастью, в руках опытных хирургов при артроскопии плечевого сустава постоянные повреждения этих нервов крайне редки (< 0,1 %) [3].

#### **Техника выполнения**

Передний порт устанавливают с использованием техники изнутри-наружу с использованием стержня Висинджера или путем прокола кожи спереди под прямым обзором артроскопа от заднего порта. Если передний порт провести слишком медиально и низко от клювовидного отростка, МКН находится в зоне риска. Порт, который расположен выше и латеральнее КО и латерального края сухожилия короткой головки бицепса, относительно безопасен [3].

#### **Латеральный порт**

В большинстве оперативных вмешательств следующим устанавливается латеральный порт, при формировании которого особо важно знать расположение конечных ветвей ПН [19].

#### **Анатомия**

ПН расположен в среднем на расстоянии 5,5 см ниже от заднего угла акромиона, в 8 см от средней части акромиона, в 7 см от переднелатерального угла акромиона и на 5,8 см дистальнее акромиально-ключичного сустава. Отведение в плечевом суставе до 90° приближает нерв к краю акромиона примерно на 30 % [20]. Нарушение этих границ приводит к некорректному введению латерального порта и связывается с повреждением сенсорных ветвей ПН в 10 % случаев [21].

НН лежит на нижней поверхности сухожилий надостной и подостной мышц. Поэтому он находится очень близко к операционному полю, приблизительно в 2,9 см от верхнего края гленоида и в 1,8 см от ости лопатки. НН может быть поврежден компрессией от якорей, расположенных в верхней части гленоида, например, при операциях по поводу SLAP [22]; НН обычно находится на расстоянии 2 см от точек введения этих якорей [23].

### **Техника выполнения**

Латеральный порт располагают в условиях визуализации из заднего порта, примерно в 4 см дистальнее средней части латерального края акромиона [21]. Мы рекомендуем первоначально выполнить тестовый прокол иглой для лучшего понимания точки разреза. Далее производят его проведение в направлении нижней поверхности акромиона.

### **Фактор времени**

Другим интраоперационным фактором, способствующим повреждению нервов, является экстравазация, в статье мы уже упоминали об этом. Большие разрезы при организации доступов, в частности в капсуле и синовиальной оболочке, создают предпосылки к выходу жидкости в окружающую клетчатку с последующим образованием отека. Однако не только грубый подход к размещению портов приводит к этому. Экстравазацию усиливает увеличение времени операции, чрезмерное повышение давления в полости сустава для лучшей визуализации и выполнение артроскопии в условиях острой травмы и при ярко выраженном воспалении. Несмотря на это, самым негативным последствием экстравазации является снижение растяжимости полости сустава, что ограничивает работу инструментария и даже не позволяет корректно его ввести через организованные порты, что чревато поражением сосудисто-нервных структур [24]. Таким образом, это сложно предсказуемое интраоперационное явление заставляет более внимательно относиться к анатомическим образованиям возле портов. В случае риска экстравазации полезным будет заранее смещать порты, если планируется длительное оперативное вмешательство.

### **Открытая хирургия плечевого сустава**

Открытая хирургия плечевого сустава также чревата повреждением периферических нервов, так как подразумевает применение ретракторов, расположенных спереди от гленоида вблизи плечевого сплетения, которое проходит всего на 10–25 мм медиальнее от гленоида [25]. Как сказано ранее, интраоперационное позиционирование руки также вызывает нагрузку на плечевое сплетение и создает предпосылки для его повреждения.

Операции на открытом плечевом суставе чаще всего заключаются в восстановлении вращательной манжеты, стабилизации плечевого сустава, его полной или частичной замене и остеосинтезе переломов. Однако во многом правильная организация хирургического доступа позволяет избежать осложнений [26].

### **Передний доступ**

Наиболее часто используется при хирургии передних отделов плечевого сустава, передней нестабильности, остеосинтезах проксимального отдела плечевой кости, а также при эндопротезировании [27].

### **Техника выполнения**

Передний (дельтопекторальный) доступ подразумевает расширение интервала между дельтовидной и грудными мышцами. Головная вена отводится кверху и латерально вместе с дельтовидной мышцей, тем самым обнажая соединенное сухожилие, образованное сухожилием клювовидно-плечевой мышцы и короткой головкой бицепса. Подлопаточная мышца располагается под ним. Разведение волокон подлопаточной мышцы или её поперечное пересечение позволяет получить доступ к капсуле сустава. Открытые стабилизирующие плечевой сустав операции выполняют чаще с помощью дельтопекторального доступа и его модификаций. Сообщаемая частота неврологических повреждений варьирует от 0,8 до 8,2 % [28]. При выполнении дельтопекторального доступа особенно важно аккуратно и минимально смещать объединенное сухожилие, так как ниже него сквозь мышечные волокна проникает МКН. МКН подвергается особому риску получения травм из-за сжатия ретракторами, расположенными под объединенным сухожилием. Поэтому рекомендуется соблюдать осторожность при ретракции мышц. ПН проходит под подлопаточной мышцей и направляется через четырехугольное пространство, в связи с этим рекомендуется сохранять самую нижнюю четверть подлопаточной мышцы, чтобы защитить этот нерв. Операция Bristow – Latarjet является достаточно показательной в плане рисков повреждения сразу нескольких нервов через представленный доступ [29]. Такой вид костной аутопластики дефекта суставной поверхности лопаточной кости используют для стабилизации плечевого сустава: выполняют остеотомию клювовидного отростка и перемещают с прикрепленным к нему объединенным сухожилием к передненижнему дефекту гленоида [28]. Систематический обзор, опубликованный в 2013 г., демонстрирует 21 случай повреждения нерва среди 1904 операций (1,2 %): наиболее часто повреждается МКН, за которым следуют ПН и диффузная плечевая плексопатия [29]. Имеются сообщения о случаях травмирования НН, вероятно, из-за того, что винты, проходя через гленоид, сталкиваются с ним, когда он направляется вдоль заднего края суставного отростка лопаточной кости, или из-за чрезмерного проникновения при сверлении. Поэтому анатомические исследования рекомендуют избегать медиального отклонения винтов в гленоиде [30].

### Латеральный доступ

Под латеральным доступом чаще всего подразумевается разрез, параллельный латеральному краю акромиона, позволяющий получить широкую визуализацию субакромиального пространства. Другими доступами являются разрезы по Neer (переднелатеральный), по Mackenzie (более смещен латерально), по Bigliani, которые, так или иначе, начинаются от акромиально-ключичного сочленения, а также варианты дельта-сплита [31, 32]. Их используют при повреждении вращательной манжеты, импиджмент-синдроме, при протезировании и остеосинтезе проксимального отдела плечевой кости. В настоящее время активно развивается применение минимально инвазивных методик остеосинтеза МИРО (англ.: Minimally invasive plate osteosynthesis — МИРО), которые в случае переломов проксимального отдела плечевой кости осуществляются через дельта-сплит. Корректное малотравматичное размещение пластины требует интактного положения ПН [33].

### Анатомия

Дельтовидную мышцу не рекомендуется рассекать более чем на 5 см ниже акромиона, чтобы избежать повреждения ПН. С. Yildirim et al. сообщают, что длина верхней конечности также может влиять на это и отмечают безопасный диапазон не более 5,5 см [34]. Тем не менее, расстояние от акромиона до передней ветви ПН может быть переменным, как указано ранее [35], а также уменьшается при абдукции [36]. В недавнем исследовании E.B. Wilkinson et al. изучили 755 МРТ плечевых суставов: выявлено, что нижний суставной край головки плечевой кости является горизонтальным ориентиром прохождения подмышечного сосудисто-нервного пучка, а окно размером 22 мм ниже этой проекции является наиболее опасной зоной [37].

### Техника выполнения

Латеральный доступ и дельта-сплит предполагают субпериостальное отсечение дельтовидной мышцы от акромиона или разведение её волокон соответственно. Особенно важно для доступа при МИРО выполнять шов для защиты ПН [33]. Этот шов препятствует дальнейшему расхождению мышечной ткани при ретракции доступа.

### Задний доступ

Этот доступ выполняют при хирургии заднего отдела плечевого сустава, при повреждениях задней порции вращательной манжеты, задней нестабильности [31].

### Техника выполнения

Задний доступ заключается в использовании интервала между подостной мышцей и малой круглой мышцей. Дельтовидную мышцу отделяют от ости лопатки или расщепляют напрямую (по Роквуду) [38]. Задняя капсула плеча лежит непосредственно под ними. Чрезмерная медиальная ретракция подостной мышцы может повредить ПН [3].

### Мультифакториальное осложнение хирургии плечевого сустава

Несмотря на то, что больше всего описаны повреждения нервов в оперируемой области, имеется и другой редкий вариант развития неврологических нарушений в послеоперационном периоде: дистальная периферическая нейропатия (ДПН) [39]. Это осложнение ставит под сомнение любую выполненную во время оперативного вмешательства манипуляцию на плечевом суставе, так как создает трудности в дифференциальной диагностике повреждения и его уровня (рис. 2).

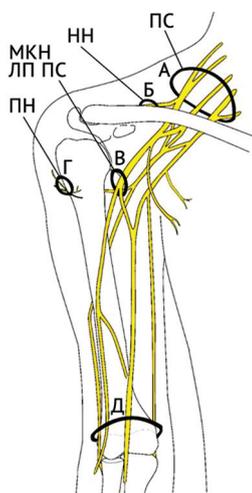


Рис. 2. Схематичное изображение наиболее часто повреждаемых нервных структур области верхней конечности во время хирургии плечевого сустава: А — межлестничная блокада плечевого сплетения, позиционирование пациента на операционном столе, интраоперационные манипуляции и движения хирурга, а также возможны более проксимальные повреждения, приводящие к поражению X и XII черепно-мозговых нервов; Б — задние доступы и артроскопические порты; В — передние доступы, в частности, дельтопекторальный; Г — латеральные доступы и артроскопические порты; Д — область дистальных периферических нервов, которая может быть повреждена при интраоперационном позиционировании пациента и верхней конечности, экстравазации, наложении турникета, некорректной иммобилизации и реабилитационном периоде. Сокращения: ПС — плечевое сплетение, НН — надлопаточный нерв, МКН — мышечно-кожный нерв, ЛП ПС — латеральный пучок плечевого сплетения, ПН — подмышечный нерв (иллюстрация авторская)

ДПН идентифицировали в 0–0,24 % анатомических артропластик плечевого сустава [39], от 0,9 до 5,2 % при реверсивной артропластике [40] и от 0 до 2 % после артроскопической хирургии плечевого сустава. Прямой причинно-следственной связи с хирургией плечевого сустава до сих пор не установлено, однако имеются мнения о возможных предпосылках развития ДПН, включая все вышеперечисленные причины: позиционирование верхней конечности, межлестничный блок плечевого сплетения [41], экстравазация жидкости, наложение турникета и длительная иммобилизация. Таким образом, ДПН после операций в области плечевого сустава является мультифакториальным заболеванием.

### **Наложение турникета**

Турникеты раздувают до высокого давления, которое способно повредить нервы механическим сжатием и/или ишемией. Преимущественно поражаются крупные нервы, а высокое давление может привести к временной потере моторики и ухудшению сенсорного восприятия [42].

### **Длительная иммобилизация**

Другим вариантом поражения нервов может быть длительная иммобилизация в ортезе. Описано несколько случаев поражения переднего межкостного нерва у пациентов, носивших ортез или бандаж типа Роберта Джонса после остеосинтеза ключицы [43]. Через 6 недель на контрольном осмотре курирующим хирургом выявлена дисфункция I пальца кисти пациента. На МРТ в T2-режиме отмечен выраженный отек в мышечной ткани предплечья, иннервируемой передним межкостным нервом. Развилась постиммобилизационная контрактура, которая обусловлена, в том числе, и возникновением травматической болезни, представленной функциональной, а затем морфологической денервацией тканей и атрофией мышц, приводящих к укорочению мышечных волокон, снижению эластичности капсулы сустава с развитием ригидности [44].

Таким образом, в локте и запястье развивается синдром сдавления из-за отека, механической компрессии упорами для руки во время операции или некорректного ношения ортеза, отсутствия ранней реабилитации. Образуются типичные туннельные синдромы лучевого, локтевого, срединного нервов и их ветвей, которые чаще всего купируются консервативным лечением, однако в некоторых случаях радикально разрешаются с помощью хирургической декомпрессии [38].

## ОБСУЖДЕНИЕ

Интраоперационные травмы нервов плечевой области встречаются не часто, однако приводят к катастрофическим последствиям. Они происходят чаще всего во время операций по поводу нестабильности переднего отдела плечевого сустава, его замены и при остеосинтезе многофрагментарных переломов проксимального отдела плечевой кости. Очень важно корректно выполнять предоперационную подготовку, заключающуюся в правильном анестезиологическом обеспечении и адекватном расположении пациента на операционном столе с достаточной фиксацией головного конца и туловища.

Оперирующая бригада должна иметь широкую осведомленность в анатомии плеча, а также знать особенность вариаций сосудисто-нервных образований. Необходимо соблюдать особую осторожность при организации доступа через «безопасные зоны». Перед началом самой операции стоит уделить время для пальпации костных ориентиров и очерчивания их контура с целью прогноза безопасного доступа, а также сохранения «карты анатомии» при развитии отека тканей. Кроме того, необходимо тщательно контролировать время операции, особенно при артроскопии, чтобы снизить риск повреждения нервов от экстравазации. Любое позиционирование руки должно быть физиологичным и последовательным.

Несмотря на достижения в хирургических технологиях, включая использование инструментов, позволяющих проводить менее инвазивные процедуры, полностью исключить риски повреждения нервов невозможно. Знание периоперационных предпосылок развивающейся нейропатии остается важным. Повышенная интраоперационная осведомленность и знание анатомии, независимо от того, выполнялась открытая или артроскопическая операция, всё же обязывают тщательно проводить послеоперационные осмотры, чтобы определить, произошла ли травма [45]. Кроме исключения опасных манипуляций и наличия знаний о безопасных зонах при хирургии плеча целесообразным является применение непрерывного интраоперационного мониторинга нервов. Так, в 2005 г. A.N. Esmail et al. [46] и 2007 г. S.H. Nagda et al. [47] использовали этот метод при артроскопии и эндопротезировании плечевого сустава. После эндопротезирования у 17 пациентов из 30 были эпизоды нарушения проведения импульса по нервам во время операции. Причем ни одно из этих предупреждений не нормализовалось после удаления или ослабления давления ретрактора. Первоначально предполагалось, что именно это и стало причиной ответа аппаратуры. Однако возвращение руки в нейтральное положение привело к нормализации состояния в 77 % случаев.

Тогда были сделаны выводы, что мониторинг может быть полезен при операции на тугоподвижном суставе или у пациентов с открытыми операциями на плече в анамнезе. Пред- и интраоперацион-

ный тщательный контроль позволяет избежать рисков дальнейших осложнений. Как указано выше, в раннем послеоперационном периоде трудно выявить повреждение периферического нерва ввиду иммобилизации в ортезе. Традиционно в сомнительных случаях назначается электрофизиологическое исследование. Более ранние исследования позволяют определить, является ли травма электрофизиологически частичной или полной, потому что даже наличие одной моторной единицы указывает, что повреждение нерва не является полным [48]. При подозрении на острое повреждение нерва рекомендуется выполнять стимуляционную электронейромиографию через 10–14 дней после травмы [49]. Исследования, проведенные примерно через три месяца после травмы, могут обнаружить раннюю реиннервацию с помощью наличия зарождающихся потенциалов. Как правило, хирургию периферического нерва планируют не ранее 3–6 месяцев с момента травмы, если в этот период отсутствуют клинические или электрофизиологические доказательства реиннервации [50, 51]. Отдельно стоит отметить наличие навыков микрохирургического шва нерва у хирургов, оперирующих плечо. Сообщается, что раннее восстановление нерва при повреждении позволяет добиться лучших функциональных результатов [52, 53, 54, 55].

В процессе реабилитации необходимо уделять особое внимание адекватному закреплению и ношению ортеза. Пациент должен быть осведомлен оперирующим хирургом о сроках его использования, а также знать, как часто его следует снимать и как безопасно выполнять упражнения. Это позволит снизить риски развития контрактур в локтевом и лучезапястном суставах и минимизирует вероятность создания предпосылок к появлению туннельных синдромов и других нейропатий.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный в нашей работе анализ позволил выявить факторы, предрасполагающие к повреждению периферических нервов верхней конечности при хирургии плечевого сустава. Важным является каждый этап, начиная с подготовки к операции и заканчивая проведением корректного реабилитационного протокола. При размещении пациента на операционном столе вне зависимости от выбранного латерального положения или положения «в шезлонге» необходимо учитывать адекватную фиксацию головы и туловища, а также тракцию за оперируемую верхнюю конечность грузом не более 9 кг при помощи специализированного фиксатора. Тщательная предоперационная разметка операционного поля с окрашиванием костных ориентиров должна быть проведена после анализа возможной продолжительности операции. При длительной операции целесообразно сместить артроскопические порты дистальнее на 1–2 см и максимально минимизировать поступление промывной жидкости внутрисуставно. В послеоперационном периоде обязательно следует направлять пациента к специалистам по реабилитации для формирования программы ранней активизации и оценивать риски появления признаков неврологических расстройств.

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

**Финансирование.** Исследование не имело спонсорской поддержки.

### СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Carofino BC, Brogan DM, Kircher MF, et al. Iatrogenic nerve injuries during shoulder surgery. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(18):1667-1674. doi: 10.2106/JBJS.L.00238
2. Lafosse T, Lafosse L. Neurological Complications in Shoulder Arthroscopy. In: Lafosse L, Agneskirchner J, Lafosse T. (eds) *Complications in Arthroscopic Shoulder Surgery.* Springer: Cham Publ.; 2020:139-148. doi: 10.1007/978-3-030-24574-0\_14
3. Rashid A., Abdul-Jabar H., Lam F. Nerve injury associated with shoulder surgery. *Current Orthopaedics.* 2008;22(4):284-288. doi: 10.1016/j.cuor.2008.04.009
4. Andrews JR, Carson WG Jr, Ortega K. Arthroscopy of the shoulder: technique and normal anatomy. *Am J Sports Med.* 1984;12(1):1-7. doi: 10.1177/036354658401200101
5. Murphy GS, Greenberg SB, Szokol JW. Safety of Beach Chair Position Shoulder Surgery: A Review of the Current Literature. *Anesth Analg.* 2019;129(1):101-118. doi: 10.1213/ANE.0000000000004133
6. Park TS, Kim YS. Neuropraxia of the cutaneous nerve of the cervical plexus after shoulder arthroscopy. *Arthroscopy.* 2005;21(5):631. doi: 10.1016/j.arthro.2005.02.003
7. Rains DD, Rooke GA, Wahl CJ. Pathomechanisms and complications related to patient positioning and anesthesia during shoulder arthroscopy. *Arthroscopy.* 2011;27(4):532-541. doi: 10.1016/j.arthro.2010.09.008
8. Hung NK, Lee CH, Chan SM, et al. Transient unilateral hypoglossal nerve palsy after orotracheal intubation for general anesthesia. *Acta Anaesthesiol Taiwan.* 2009;47(1):48-50. doi: 10.1016/S1875-4597(09)60022-9
9. Cogan A, Boyer P, Soubeyrand M, et al. Cranial nerves neuropraxia after shoulder arthroscopy in beach chair position. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2011;97(3):345-348. doi: 10.1016/j.otsr.2010.09.020
10. Higgins JD, Frank RM, Hamamoto JT, et al. Shoulder Arthroscopy in the Beach Chair Position. *Arthrosc Tech.* 2017;6(4):e1153-e1158. doi: 10.1016/j.eats.2017.04.002
11. Li X, Eichinger JK, Hartshorn T, et al. A comparison of the lateral decubitus and beach-chair positions for shoulder surgery: advantages and complications. *J Am Acad Orthop Surg.* 2015;23(1):18-28. doi: 10.5435/JAAOS-23-01-18

12. Hamamoto JT, Frank RM, Higgins JD, et al. Shoulder Arthroscopy in the Lateral Decubitus Position. *Arthrosc Tech.* 2017;6(4):e1169-e1175. doi: 10.1016/j.eats.2017.04.004
13. Cate G, Barnes J, Cherney S, et al. Current status of virtual reality simulation education for orthopedic residents: the need for a change in focus. *Global Surg Educ.* 2023;2(1):46. doi: 10.1007/s44186-023-00120-w
14. Burkhart SS. Shoulder arthroscopy: a bridge from the past to the future. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(8):e287-e296. doi: 10.1016/j.jse.2020.04.011
15. Park J, Kim JY, Kim D, et al. Single-Portal Arthroscopic Posterior Shoulder Stabilization. *Arthrosc Tech.* 2021;10(12):e2813-e2817. doi: 10.1016/j.eats.2021.08.031
16. Dunn ASM, Petterson SC, Plancher KD. The Shoulder Trans-pectoralis Arthroscopic Portal Is a Safe Approach to the Arthroscopic Latarjet Procedure: A Cadaveric Analysis. *Arthroscopy.* 2021;37(2):470-476. doi: 10.1016/j.arthro.2020.09.044
17. Bharati S, Karmakar M, Ghosh S. Ipsilateral paralysis of hypoglossal nerve following interscalene brachial plexus block. *J Anaesthesiol Clin Pharmacol.* 2014;30(3):446-447. doi: 10.4103/0970-9185.137304
18. Shah AC, Barnes C, Spiekerman CF, Bollag LA. Hypoglossal nerve palsy after airway management for general anesthesia: an analysis of 69 patients. *Anesth Analg.* 2015;120(1):105-120. doi: 10.1213/ANE.0000000000000495
19. Meyer M, Gravelleau N, Hardy P, Landreau P. Anatomic risks of shoulder arthroscopy portals: anatomic cadaveric study of 12 portals. *Arthroscopy.* 2007;23(5):529-536. doi: 10.1016/j.arthro.2006.12.022
20. Leechavengvongs S, Teerawutthichai T, Witoonchart K, et al. Surgical anatomy of the axillary nerve branches to the deltoid muscle. *Clin Anat.* 2015;28(1):118-122. doi: 10.1002/ca.22352
21. Segmüller HE, Alfred SP, Zilio G, et al. Cutaneous nerve lesions of the shoulder and arm after arthroscopic shoulder surgery. *J Shoulder Elbow Surg.* 1995;4(4):254-258. doi: 10.1016/s1058-2746(05)80017-5
22. Kim SH, Koh YG, Sung CH, et al. Iatrogenic suprascapular nerve injury after repair of type II SLAP lesion. *Arthroscopy.* 2010;26(7):1005-1008. doi: 10.1016/j.arthro.2010.01.005
23. Chan H, Beaupre LA, Bouliane MJ. Injury of the suprascapular nerve during arthroscopic repair of superior labral tears: an anatomic study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2010;19(5):709-715. doi: 10.1016/j.jse.2009.12.007
24. Memon M, Kay J, Gholami A, Simunovic N, Ayeni OR. Fluid Extravasation in Shoulder Arthroscopic Surgery: A Systematic Review. *Orthop J Sports Med.* 2018;6(5):2325967118771616. doi: 10.1177/2325967118771616
25. McFarland EG, Caicedo JC, Guitterez MI, et al. The anatomic relationship of the brachial plexus and axillary artery to the glenoid. Implications for anterior shoulder surgery. *Am J Sports Med.* 2001;29(6):729-733. doi: 10.1177/03635465010290061001
26. Fu MC, Hendel MD, Chen X, et al. Surgical anatomy of the radial nerve in the deltopectoral approach for revision shoulder arthroplasty and periprosthetic fracture fixation: a cadaveric study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2017;26(12):2173-2176. doi: 10.1016/j.jse.2017.07.021
27. Patel MS, Daher M, Fuller DA, Abboud JA. Incidence, Risk Factors, Prevention, and Management of Peripheral Nerve Injuries Following Shoulder Arthroplasty. *Orthop Clin North Am.* 2022;53(2):205-213. doi: 10.1016/j.ocl.2021.11.006
28. Provencher MT, Bhatia S, Ghodadra NS, et al. Recurrent shoulder instability: current concepts for evaluation and management of glenoid bone loss. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92 Suppl 2:133-151. doi: 10.2106/JBJS.J.00906
29. Hovelius L, Körner L, Lundberg B, et al. The coracoid transfer for recurrent dislocation of the shoulder. Technical aspects of the Bristow-Latarjet procedure. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65(7):926-934.
30. Lädermann A, Denard PJ, Burkhart SS. Injury of the suprascapular nerve during latarjet procedure: an anatomic study. *Arthroscopy.* 2012;28(3):316-321. doi: 10.1016/j.arthro.2011.08.307
31. Hoyen H, Papendrea R. Exposures of the shoulder and upper humerus. *Hand Clin.* 2014;30(4):391-399. doi: 10.1016/j.hcl.2014.08.003
32. Chawla H, Gamradt S. Reverse Total Shoulder Arthroplasty: Technique, Decision-Making and Exposure Tips. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2020;13(2):180-185. doi: 10.1007/s12178-020-09613-3
33. Knežević J, Mihalj M, Čukelj F, Ivanišević A. MIPO of proximal humerus fractures through an anterolateral acromial approach. Is the axillary nerve at risk? *Injury.* 2017;48 Suppl 5:S15-S20. doi: 10.1016/S0020-1383(17)30733-7
34. Yildirim C, Demirel M, Bayram E, et al. Acromion-axillary nerve distance and its relation to the arm length in the prediction of the axillary nerve position: a clinical study. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):248. doi: 10.1186/s13018-022-03085-6
35. Cheung S, Fitzpatrick M, Lee TQ. Effects of shoulder position on axillary nerve positions during the split lateral deltoid approach. *J Shoulder Elbow Surg.* 2009;18(5):748-755. doi: 10.1016/j.jse.2008.12.001
36. Chuaychoosakoon C, Suwannaphisit S. The Relationship Between Arm Abduction Position and the Risk of Iatrogenic Anterior Branch of the Axillary Nerve Injuries: A Cadaveric Study. *Orthop J Sports Med.* 2021;9(5):23259671211008834. doi: 10.1177/23259671211008834
37. Wilkinson EB, Williams JF, Paul KD, et al. MRI evaluation of axillary neurovascular bundle: Implications for minimally invasive proximal humerus fracture fixation. *JSES Int.* 2021;5(2):205-211. doi: 10.1016/j.jseint.2020.11.002
38. Wirth MA, Butters KP, Rockwood CA Jr. The posterior deltoid-splitting approach to the shoulder. *Clin Orthop Relat Res.* 1993;(296):92-98.
39. Thomasson BG, Matzon JL, Pepe M, et al. Distal peripheral neuropathy after open and arthroscopic shoulder surgery: an under-recognized complication. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(1):60-66. doi: 10.1016/j.jse.2014.08.007
40. Walch G, Bacle G, Lädermann A, et al. Do the indications, results, and complications of reverse shoulder arthroplasty change with surgeon's experience? *J Shoulder Elbow Surg.* 2012;21(11):1470-1477. doi: 10.1016/j.jse.2011.11.010
41. Lenters TR, Davies J, Matsen FA 3rd. The types and severity of complications associated with interscalene brachial plexus block anesthesia: local and national evidence. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(4):379-387. doi: 10.1016/j.jse.2006.10.007
42. Hogan QH. Pathophysiology of peripheral nerve injury during regional anesthesia. *Reg Anesth Pain Med.* 2008;33(5):435-441. doi: 10.1016/j.rapm.2008.03.002
43. Anderson DM, White RA. Ischemic bandage injuries: a case series and review of the literature. *Vet Surg.* 2000;29(6):488-498. doi: 10.1053/jvet.2000.17847

44. Murphy EP, Fenelon C, Alexander M, Quinlan J. Anterior interosseous nerve palsy as a result of prolonged shoulder immobilisation. *BMJ Case Rep.* 2019;12(5):e229010. doi: 10.1136/bcr-2018-229010
45. Scully WF, Wilson DJ, Parada SA, Arrington ED. Iatrogenic nerve injuries in shoulder surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2013;21(12):717-726. doi: 10.5435/JAAOS-21-12-717
46. Esmail AN, Getz CL, Schwartz DM, et al. Axillary nerve monitoring during arthroscopic shoulder stabilization. *Arthroscopy.* 2005;21(6):665-671. doi: 10.1016/j.arthro.2005.03.013
47. Nagda SH, Rogers KJ, Sestokas AK, et al. Neer Award 2005: Peripheral nerve function during shoulder arthroplasty using intraoperative nerve monitoring. *J Shoulder Elbow Surg.* 2007;16(3 Suppl):S2-S8. doi: 10.1016/j.jse.2006.01.016
48. Robinson LR. Traumatic injury to peripheral nerves. *Muscle Nerve.* 2022;66(6):661-670. doi: 10.1002/mus.27706
49. Pripotnev S, Bucelli RC, Patterson JMM, et al. Interpreting Electrodiagnostic Studies for the Management of Nerve Injury. *J Hand Surg Am.* 2022;47(9):881-889. doi: 10.1016/j.jhsa.2022.04.008
50. Gupta R, Patel NA, Mazzocca AD, Romeo A. Understanding and Treating Iatrogenic Nerve Injuries in Shoulder Surgery. *J Am Acad Orthop Surg.* 2020;28(5):e185-e192. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00608
51. Kamble N, Shukla D, Bhat D. Peripheral Nerve Injuries: Electrophysiology for the Neurosurgeon. *Neurol India.* 2019;67(6):1419-1422. doi: 10.4103/0028-3886.273626
52. Tuturov AO. The role of peripheral nerve surgery in a tissue reinnervation. *Chin Neurosurg J.* 2019;5:5. doi: 10.1186/s41016-019-0151-1
53. Петросян А.С., Егиазарян К.А., Панин М.А., и др. Эволюция эндопротезирования плечевого сустава. *Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Медицина.* 2022;26(2):117-128. doi: 10.22363/2313-0245-2022-26-2-117-128
54. Гиясова Н., Алилов Х., Садуллаев О. И др. Визуализация травматических повреждений плечевого пояса. *Innovation Scientific Journal.* 2022;1(11):59-75.
55. Шершнев А.М., Доколин С.Ю., Кузьмина В.И. и др. Варианты сухожильных трансферов при передневерхних разрывах вращательной манжеты плечевого сустава: обзор зарубежной литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2023;29(1):135-142. doi: 10.17816/2311-2905-2017

Статья поступила 14.03.2023; одобрена после рецензирования 19.01.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 14.03.2023; approved after reviewing 19.01.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Александр Олегович Тутуров — врач травматолог-ортопед, atneuro@yandex.ru;

Арменак Сергеевич Петросян — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, armenak.p@gmail.com;

Михаил Александрович Панин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, panin-mihil@yandex.ru;

Борис Игоревич Захарян — ординатор, Zahorean98@mail.ru;

Омар Аль-Баварид — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, Alomar442@mail.ru.

#### Information about the authors:

Alexander O. Tuturov — orthopaedic surgeon, atneuro@yandex.ru;

Armenak S. Petrosyan — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, head of department, armenak.p@gmail.com;

Mikhail A. Panin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, panin-mihil@yandex.ru;

Boris I. Zakharyan — resident, Zahorean98@mail.ru;

Omar Al-Bavarid — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Alomar442@mail.ru.

Обзорная статья

УДК 616.711-007.55-053.2:615.036:303.62](048.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-608-619>



## Влияние нехирургических факторов на результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом по данным SRS-22 (систематизированный обзор)

Ю.В. Молотков<sup>1</sup>✉, А.В. Евсюков<sup>1</sup>, С.О. Рябых<sup>2,3</sup>, Д.М. Савин<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

<sup>2</sup> Научно-исследовательский клинический институт педиатрии и детской хирургии имени академика Ю.Е. Вельтищева, Москва, Россия

<sup>3</sup> Клиника высоких медицинских технологий им. Н.И. Пирогова, Санкт-Петербург, Россия

**Автор, ответственный за переписку:** Юрий Витальевич Молотков, [m.d.molotkov@gmail.com](mailto:m.d.molotkov@gmail.com)

### Аннотация

**Введение.** Идиопатический сколиоз характеризуется многокомпонентной деформацией осевого скелета, оперативная коррекция которой целесообразна для улучшения качества жизни пациентов. Для его оценки в современной вертебрологии широко используют опросник SRS-22.

**Цель работы** — выявление и оценка методом систематизированного обзора нехирургических, не связанных непосредственно с оперативным вмешательством социально-экономических и прочих факторов, влияющих на результаты опросов по SRS-22.

**Материалы и методы.** Поиск выполнен на электронной платформе PubMed в соответствии с протоколом PICOS. Первоначально отобрано 280 статей за 2003-2023 гг. Дальнейший отбор авторы осуществляли вручную. В итоге обзор построен на анализе 15 статей, содержащих данные для определения влияния различных факторов на результаты опросов по SRS-22.

**Результаты.** Выявлено, что результаты опросов по SRS-22 зависят от множества факторов, не имеющих непосредственного отношения ни к самой спинальной патологии, ни к ее хирургическому лечению. Современные исследования оценки качества жизни при сколиозе подчеркивают влияние этнических и социально-экономических факторов на результаты опроса по SRS-22. Результаты указывают на различия в оценке качества жизни пациентов с сопоставимыми патологиями в зависимости от географического и социального контекста. Рассмотрена роль трехстороннего взаимодействия между врачом, родителями и пациентом-ребенком при оценке результатов опроса по SRS-22. Выявлено, что показатели SRS-22 до и после первичной врачебной консультации не имели статистически значимых различий, и оценка родителями не отличалась от оценки пациентом-ребенком. Обнаружена взаимосвязь между применением «жестких» функционально-корректирующих корсетов и результатами по SRS-22 — показатели удовлетворенности лечением, а, соответственно, и общий балл SRS-22 у пациентов, получивших корсетную терапию, оказался значительно выше. Выявлено, что физическая активность и выносливость коррелируют с качеством жизни пациентов с идиопатическим сколиозом.

**Обсуждение.** Опросник SRS-22 является ключевым инструментом для оценки качества жизни пациентов со сколиозом, учитывающим их возраст и функциональный статус. За годы использования опросников SRS различными учеными предложено несколько вариантов их модификаций для повышения точности и удобства использования, однако общепринятым стал только SRS-22. Необходимо разработать специальные дополнительные алгоритмы, позволяющие интерпретировать результаты различных вариантов опросников SRS в единый формат для их анализа и сравнения.

**Заключение.** Взаимосвязь и влияние тяжести и структуры спинальной деформации на уровень жизни — крайне разнородный и многокомпонентный вопрос. На результаты по SRS-22 выраженное влияние оказывают не только медицинские, но и возрастные, этнические, культурные, социальные и экономические факторы. Отмечается постепенное изменение показателей по SRS-22 в послеоперационном периоде на протяжении десятилетий с момента операции. Родители довольно точно оценивают состояние своего ребенка при использовании SRS-22.

**Ключевые слова:** сколиоз, качество жизни, лечение, хирургия, педиатрия, SRS-22, опросник

**Для цитирования:** Молотков Ю.В., Евсюков А.В., Рябых С.О., Савин Д.М. Влияние нехирургических факторов на результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом по данным SRS-22. *Гений ортопедии*. 2024;30(4):608-619. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-608-619. EDN: VYNEQF.

© Молотков Ю.В., Евсюков А.В., Рябых С.О., Савин Д.М., 2024

## Review article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-4-608-619>



## Impact of non-surgical factors on treatment results of patients with idiopathic scoliosis according to SRS-22 data (systematic review)

Yu.V. Molotkov<sup>1✉</sup>, A.V. Evsyukov<sup>1</sup>, S.O. Ryabykh<sup>2,3</sup>, D.M. Savin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

<sup>2</sup> Veltischev Research and Clinical Institute for Pediatrics and Pediatric Surgery, Moscow, Russian Federation

<sup>3</sup> Pirogov Clinic of High Medical Technologies, St. Petersburg, Russian Federation

**Corresponding author:** Yury V. Molotkov, [m.d.molotkov@gmail.com](mailto:m.d.molotkov@gmail.com)

### Abstract

**Introduction** Idiopathic scoliosis is characterized by a multicomponent deformity of the axial skeleton, surgical correction of which is advisable to improve the quality of life of patients. The SRS-22 questionnaire is widely used for its evaluation.

The **purpose** of the work was to identify and evaluate, using a systematic review method, non-surgical, socio-economic and other factors not directly related to surgical intervention that influence the results of SRS-22.

**Materials and methods** The search was performed on the PubMed electronic platform in accordance with the PICOS protocol. Initially, 280 articles were selected for the period of 2003-2023. The authors carried out further selection manually. The review was based on the analysis of 15 articles containing data to determine the influence of various factors on the results of the SRS-22 questionnaire.

**Results** It was revealed that the results of SRS-22 depend on many factors that are not directly related to either the spinal pathology itself or its surgical treatment. Contemporary studies assessing quality of life in scoliosis emphasize the influence of ethnic and socioeconomic factors on the results of the SRS-22 survey. The results indicate differences in the assessment of the quality of life of patients with comparable pathologies depending on the geographical and social context. The role of three-way interaction between the doctor, parents and paediatric patient when assessing the results of the SRS-22 survey was considered. It was found that SRS-22 scores before and after the initial medical consultation did not have significant differences; and the assessment by parents did not differ from the assessment by the paediatric patient. A relationship was found between the use of “rigid” functional corrective braces and the results of SRS-22 – indicators of satisfaction with treatment, and, accordingly, the overall SRS-22 score in patients who received brace therapy were significantly higher. It was found that physical activity and endurance correlate with the quality of life of patients with idiopathic scoliosis.

**Discussion** The SRS-22 questionnaire is a key tool for assessing the quality of life of patients with scoliosis, taking into account their age and functional status. Over the years of using SRS questionnaires, various scientists have proposed several modifications to improve accuracy and ease of use, but only SRS-22 has become generally accepted. It is necessary to develop special additional algorithms that allow the results of various versions of SRS questionnaires to be interpreted into a single format for their analysis and comparison.

**Conclusion** The relationship and influence of the severity and structure of spinal deformity on the standard of living is an extremely heterogeneous and multicomponent issue. SRS-22 results are strongly influenced not only by medical factors, but also by age, ethnic, cultural, social and economic factors. There is a gradual change in SRS-22 scores in the postoperative period over decades since the moment of surgery. Parents are quite accurate in assessing their child's condition when using the SRS-22.

**Keywords:** scoliosis, quality of life, treatment, surgery, paediatrics, SRS-22; questionnaire

**For citation:** Molotkov YuV, Evsyukov AV, Ryabykh SO, Savin DM. Impact of non-surgical factors on treatment results of patients with idiopathic scoliosis according to SRS-22 (systematic review). *Genij Ortopedii*. 2024;30(4):608-619. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-4-608-619

## ВВЕДЕНИЕ

Идиопатический сколиоз представляет собой многокомпонентную трехмерную деформацию осевого скелета, включающую, помимо деформации позвоночного столба, деформации ребер, грудной клетки и нередко лопаток, и перекосы таза [1]. Одной из наиболее важных целей оперативной коррекции является не столько абсолютная коррекция величины сколиотической деформации по Cobb, сколько улучшение баланса туловища, физического здоровья пациента и, как следствие, повышение качества жизни. Так, целями операции, в том числе, являются увеличение дыхательного объема, уменьшение болей в спине, предотвращение дальнейшего прогрессирования деформации, повышение двигательной активности пациентов. Одним из ожиданий как самих пациентов, так и их родственников является улучшение внешнего вида тела (по выражению Д.К. Тесакова «...пластической анатомии туловища» [2]) посредством уменьшения видимых деформаций, что также является важной позицией среди показаний к хирургическому лечению. При оценке функционального результата анкетирование пациентов имеет ключевое значение для определения тяжести заболевания и эффективности лечения. Опросник Общества Исследования Сколиоза (*англ.*: Scoliosis Research Society – ассоциация по изучению сколиоза, SRS-22), созданный в 2003 г., в настоящее время является наиболее широко используемым инструментом [3], обладающим высокой надежностью для оценки качества жизни пациентов со сколиозом любой этиологии с учетом возраста и возможностей функционального статуса. С помощью опросника SRS-22 проводят оценку боли, настроения, уровня повседневной жизнедеятельности, улучшения внешнего вида и удовлетворенности пациентов до, после операции и на контрольных точках наблюдения. Существуют и другие способы оценки результатов лечения (PedsQL [4], EOSQL-24, SF-36 [5], KIDSCREEN-10 [6] и т.д.), однако их специфичность сильно варьирует в зависимости от возраста пациентов, нозологии деформации позвоночника и коморбидности.

В данном обзоре представлен анализ современной научной литературы, содержащей данные о применении опросника SRS-22 для оценки качества жизни и результативности лечения больных сколиозом в различных нозологических группах.

**Цель работы** — выявление и оценка методом систематизированного обзора нехирургических, не связанных непосредственно с оперативным вмешательством социально-экономических и прочих факторов, влияющих на результаты опросов по SRS-22.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор выполнен на платформе PubMed в соответствии с протоколом PICOS с использованием логических операторов AND или OR по терминам: SRS-22, quality of life, scoliosis, surgery (табл. 1).

Таблица 1

Критерии включения/исключения и селекции публикаций в соответствии с принципами PICOS [7]

Элементы PICOS	Включения	Исключения
Участники	Пациенты со спинальной патологией, прошедшие исследование с использованием опросника SRS-22, а также здоровые люди, прошедшие исследование с использованием опросника SRS-22	Пациенты, не прошедшие исследование с использованием опросника SRS-22
Вмешательство	Оценка качества жизни с применением опросника SRS-22	Отсутствие данных об оценке качества жизни с применением опросника SRS-22
Сравнение	Группы исследования в отобранных статьях	
Результат	Результаты опросника SRS-22, оценка корреляции с нехирургическими факторами	
Дизайн исследования	Нерандомизированные, ретроспективные, проспективные	Рандомизированные
Публикации	На русском, английском языках, полнотекстовые	На любых других языках, без доступа к полному тексту

Первоначально отобрано 280 статей, опубликованных в период 2003–2023 гг. (рис. 1). Далее на основании заголовков и аннотаций статей отбор осуществлен вручную авторами данной статьи: врачом-нейрохирургом с 20-летним опытом работы, врачом травматологом-ортопедом с 10-летним опытом работы и врачом травматологом-ортопедом с 2-летним опытом работы. Все специалисты владеют медицинским английским языком и работали с оригинальными текстами публикаций без помощи переводчиков. В первую очередь авторы уделяли внимание публикациям, имеющим подробные статистически обработанные числовые данные о результатах оценки качества жизни с использованием опросников SRS-22 у пациентов со сколиозом. Проанализированы публикации, исследовавшие корреляции результатов SRS-22 с различными социально-экономическими аспектами жизни пациентов. В исследование включены статьи, группы исследования которых включали как подростков, так и взрослых пациентов.

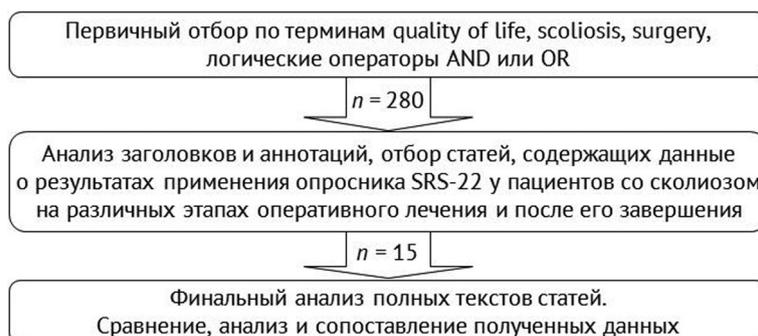


Рис. 1. Блок-схема отбора материала для литературного обзора

В результате отобрано 15 статей, содержащих необходимые данные о применении опросников SRS-22 для оценки качества жизни у когорт пациентов со сколиозом (табл. 2). Данные суммированы и проанализированы по наиболее актуальным аспектам, касающимся валидности опросника и влияния на него различных факторов.

Таблица 2

Сводные данные по отобранным литературным источникам

№	Автор, № источника	Год публикации	Страна	Кол-во пациентов	Срок наблюдения (в годах)
1	M. Yagi et al. [8]	2020	США+Япония	186	2
2	M. Ohashi et al. [9]	2020	США+Япония	405	2
3	T.P. Bastrom et al. [10]	2015	США	829	2
4	M.D. Daubs et al. [11]	2014	США	3052	–
5	K. Verma et al. [12]	2014	США+Гана	160	–
6	Z.S. Alzayed et al. [13]	2022	Саудовская Аравия	115	9,4
7	P.W.H. Cheung et al. [14]	2020	Китай	233	–
8	W.-W. Chau et al. [15]	2020	Китай	254	1–2
9	H. Cong et al. [16]	2021	Китай	63	–
10	J. Li et al. [17]	2021	Китай	259	–
11	A. Gardner et al. [18]	2021	Великобритания	3481	1
12	Z.-D. Meng et al. [19]	2017	Мультинациональное	640	–
13	P. Brewer et al. [20]	2014	Великобритания	52	–
14	B. Yu et al. [21]	2016	Китай	211	–
15	K. Gem et al. [22]	2021	Турция	30	–

## РЕЗУЛЬТАТЫ

### *Валидность опросника SRS-22 во взаимодействии «врач – родитель – пациент»*

Учитывая, что сколиотические деформации позвоночника возникают в основном в детском/подростковом возрасте, важным критерием в оценке качества жизни пациента являются аспекты трехстороннего взаимодействия «врач – родитель пациента – пациент–ребенок».

P. Brewer et al. изучили влияние этих факторов на результаты опросника SRS-22. Анкета SRS-22 была роздана 52 детям (13 мальчиков и 39 девочек) с подростковым идиопатическим сколиозом и их родителям на первой консультации, до и после встречи с врачом. Родители и пациенты заполняли анкеты изолированно [20]. В результате не выявлено статистических различий в результатах SRS-22 как для пациентов, так и для родителей при сравнении показателей до и после консультации в большинстве разделов. Значительные различия обнаружены в нескольких случаях. Так, отмечались отличия в группе пациентов до и после консультации в разделе «функции», группы пациентов и родителей до и после консультации в разделе «боли», группы пациентов и родителей после консультации в разделе «самооценки» и группы родителей до и после консультации в разделе «психического здоровья». Однако различия во всех этих случаях были низкими и не считались клинически значимыми.

Исходя из этого, отмечено, что опросник SRS-22 достоверно отражает оценку пациентами своих симптомов, на которую не влияет информация, представленная врачом на первичной консультации. Оценка состояния ребенка родителем с помощью опросника SRS-22 статистически не отличается от самостоятельной оценки пациента-ребенка. Время заполнения анкеты SRS-22 в процессе первичной консультации не влияет на общий результат опросника.

## Влияние возраста, этноса и социально-экономических факторов

Было выявлено, что на результаты по опроснику SRS-22 влияет множество факторов, не имеющих непосредственного отношения ни к самой спинальной патологии, ни к ее лечению. Фактически, речь идет об изначальных особенностях пациента, его образе жизни и окружении, потенциально влияющих на результаты опроса по SRS-22 (табл. 3).

Таблица 3

## Результаты опроса по SRS-22

Исследования	Кол-во пациентов (м/ж)	Средний возраст	Срок наблюдения (лет)	SRS-22						
				Функция	Боль	Самовосприятие	Псих. сост.	Удовлетворен.	Общий показатель	
M. Yagi et al. [8]	(Япония)	93 (11/82)	65,2	2	3,6	3,8	3,7	3,8	4,0	3,8
	(США)	93 (10/83)	65,8	2	3,6	3,6	3,7	4	4,3	3,8
M. Ohashi et al. [9] (США + Япония)	405	14,4	–	4,2	3,9	3,3	4	–	–	3,8
T.P. Bastrom et al. [10] (США)	829 (158/671)	–	2	4,6	4,4	4,4	4,2	4,6	–	4,4
M.D. Daubs et al. [11] (США)	3052 (1480/1536)	14,6	–	4,31	4,44	4,41	3,96	–	–	4,26
K. Verma et al. [12]	(США) здоровые	40 (15/25)	14,8	–	4,4	4,6	4,4	4,1	–	4,4
	(США) ИС	40 (15/25)	14,8	–	4,2	4,2	3,6	4,1	–	4,1
	(Гана) здоровые	40 (15/25)	14,2	–	4,5	4,3	4,1	3,5	N/A	4,1
	(Гана) ИС	40 (15/25)	14,4	–	3,7	3,9	2,9	3,7	N/A	3,6
Z.S. Alzayed et al. [13] (Саудовская Аравия)	115 (12/103)	24,5	9,4	3,98	4,09	3,98	3,68	4,18	–	3,98
P.W.H. Cheung et al. [14] (Китай)	233	–	–	4	4,77	4,72	4,35	3,93	–	4,45
W.-W. Chau et al. [15] (Китай)#	254 (64/190)	15,7	1–2	4,1	4,2	3,9	3,9	4,2	–	4
H. Cong et al. [16] (Китай)	63 (54/9)	14,1	–	2,7	2,32	2,39	2,85	–	–	2,56
J. Li et al. [17] (Китай)	259 (0/259)	14,6	–	4,13	4,38	3,36	4,14	–	–	4
A. Gardner et al. [18] (Великобритания)*	3481	–	1	~4,2	~4,4	~4,2	~4,25	–	–	~4,25
Z.-D. Meng et al. [19]&	640	–	–	4,3	4,2	3,5	4,8	3,7	–	4,2
K. Gem et al. [22] (Турция)	30	15,8	–	4,5	4,2	4	4	4,7	–	4,1

ИС — идиопатический сколиоз; # — в статье W.W. Chau et al. представлены данные за период от 1 до 30 лет после оперативного вмешательства; в данной таблице — данные только через 1 год после операции. Более подробные данные из этой статьи представлены в виде графика далее по тексту; \* — в статье A. Gardner et al. данные о результатах SRS-22 представлены исключительно в виде графиков, поэтому средние значения в таблице указаны приблизительно, только для ознакомления; & — в статье Z.-D. Meng et al. представлен мультинациональный литературный обзор, в котором проведено сравнение групп пациентов, которым применяли и не применяли жесткое корсетирование перед операцией. В таблице приведены усредненные данные объединенной группы.

По данным анализа группы из 186 пациентов M. Yagi et al. отметили, что коррекция деформации позвоночника с задней инструментальной фиксацией у взрослых оказалась одинаково эффективной для пациентов в США и Японии. Тем не менее, несмотря на сходные показатели коррекции деформации и уровни спондилеоза, двухлетняя оценка удовлетворенности SRS-22 была ниже у пациентов в Японии: ( $4,0 \pm 0,8$ ) против ( $4,3 \pm 0,9$ ) у пациентов в США. Вполне возможно, что различия в образе жизни и культурных особенностях могут повлиять на удовлетворенность пациентов [8].

В Саудовской Аравии результат по SRS-22 у группы из 115 подростков, прошедших хирургическое лечение сколиотической деформации, составил ( $4,18 \pm 1,0$ ). Отличие этого показателя может зависеть как от культурно-социологических особенностей, так и от возраста пациентов: в группе из Саудовской Аравии средний возраст на момент опроса составил 24,5 года против 65,8 и 65,2 года в группах из США и Японии соответственно [13].

В 2014 г. K. Verma et al. провели крупное исследование, сравнив показатели оценки качества жизни с использованием опросника SRS-22 групп подростков со сколиозом и их здоровых сверстников из США и Ганы [12]. Пациенты отобраны в 4 группы по 40 человек, в каждой группе соотношение мальчиков и девочек — 15/25. Средний возраст составил 14,5 лет. Среднее значение основной дуги деформации по Cobb в группе пациентов из Ганы оказалось выше, чем у пациентов из США. По всем показателям SRS-22, кроме ментального здоровья, группа пациентов со сколиозом из Ганы показала значительно более низкие показатели, чем в трех других группах. Пациенты со сколиозом из Ганы продемонстрировали значительно более низкие уровни активности, чем пациенты со сколиозом из США и обе группы здоровых подростков (3,7 против 4,2, 4,5, 4,4 соответственно). Не отмечено значительной разницы в уровнях активности между здоровыми подростками в США, Гане и пациентами со сколиозом

в США. Пациенты со сколиозом из Ганы испытывали более значимую боль, чем здоровые лица из США (3,9 против 4,6), однако разница этого показателя со здоровыми подростками из Ганы оказалась менее выраженной (3,9 против 4,3). Пациенты со сколиозом из США также переносили более выраженную боль, чем здоровые подростки в США (4,2 против 4,6). Не было значительной разницы в показателях боли между здоровыми подростками из Ганы и США (4,3 против 4,6), здоровыми подростками из Ганы и пациентами со сколиозом из США (4,3 против 4,6), а также пациентами со сколиозом из Ганы и США (3,9 против 4,2). Пациенты со сколиозом из Ганы набрали значительно более низкие баллы в разделе самооценки, чем пациенты со сколиозом из США, здоровые подростки из Ганы и США (2,9 против 4,2, 4,1, 4,5 соответственно). У здоровых подростков из США и Ганы существенно не различались показатели в разделе самооценки (4,4 против 4,1). Пациенты со сколиозом из Ганы продемонстрировали значительно более низкие показатели в разделе психического здоровья, чем пациенты со сколиозом в США (3,7 против 4,1), но более высокие, чем у здоровых подростков из Ганы (3,7 против 3,5). Следует отметить, что показатели здоровых подростков Ганы были значительно ниже, чем у здоровых американцев и даже чем у пациентов со сколиозом из США (3,5 против 4,1 и 4,1 соответственно). Результаты для здоровых подростков из США и у пациентов со сколиозом из США были схожими. В целом подростки со сколиозом или без него, живущие на Манхэттене, продемонстрировали лучшее психическое здоровье по сравнению со своими сверстниками из Ганы. Учитывая значительную разницу в уровне жизни, социального и экономического благополучия, доступности медицинской помощи у населения США и Ганы, очевидно, что все эти факторы значительно влияют на результаты опросов SRS-22, без какой-либо связи со сколиозом и его лечением.

Группа из 233 пациентов из Китая в соответствии с исследованием P.W.H. Cheung et al. [14] отмечена высокими показателями в разделах функции (4), боли (4,77), самовосприятия (4,72) и психического здоровья (4,35), имея при этом низкую оценку удовлетворенности лечением (3,93). Общий показатель SRS-22 у этих пациентов также оказался высоким (4,45).

По данным M.D. Daubs et al., такие показатели как возраст, пол и раса оказывают значительное влияние на результаты по SRS-22 у здоровых подростков [11]. Проведено крупное исследование среди 3052 здоровых добровольцев в возрасте от 10 до 19 лет (рис. 2, 3, 4).

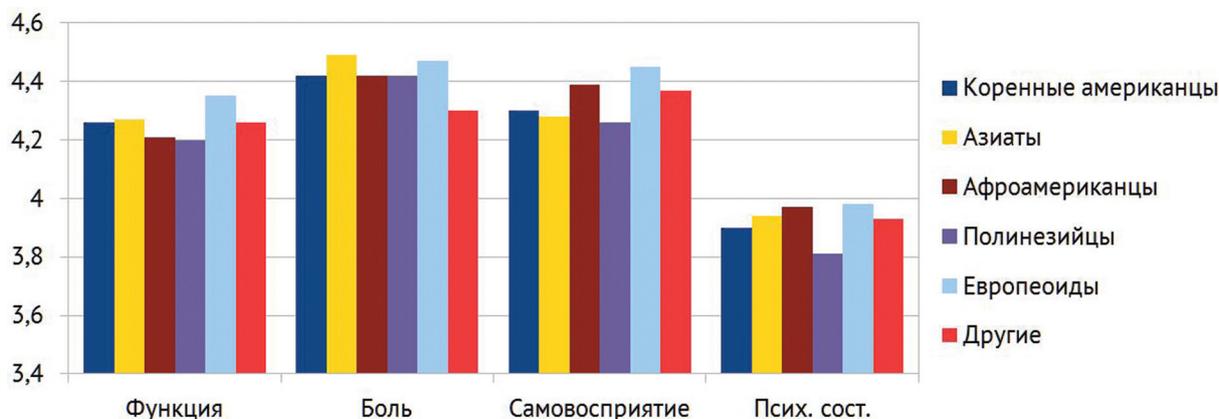


Рис. 2. Распределение результатов по SRS-22 в зависимости от национальности [11]

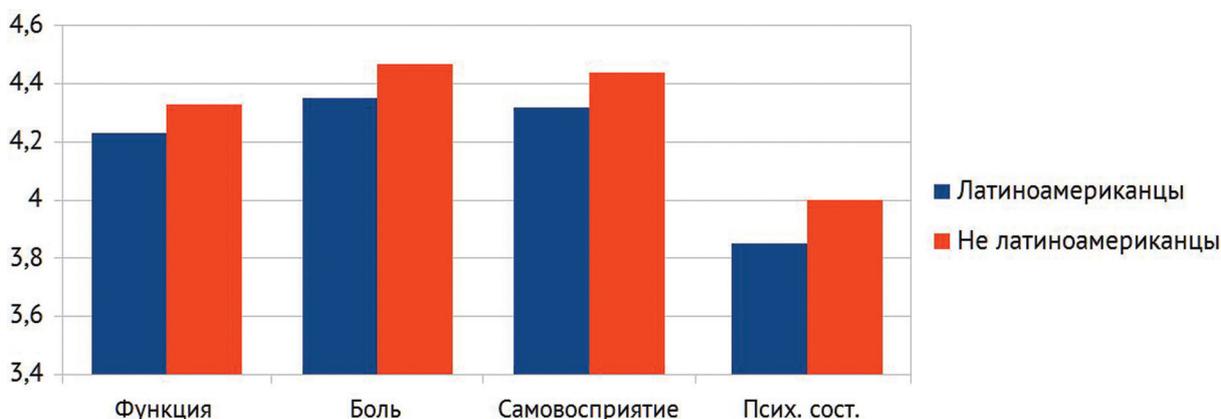


Рис. 3. Распределение результатов по SRS-22 у латиноамериканцев и не латиноамериканцев [11]

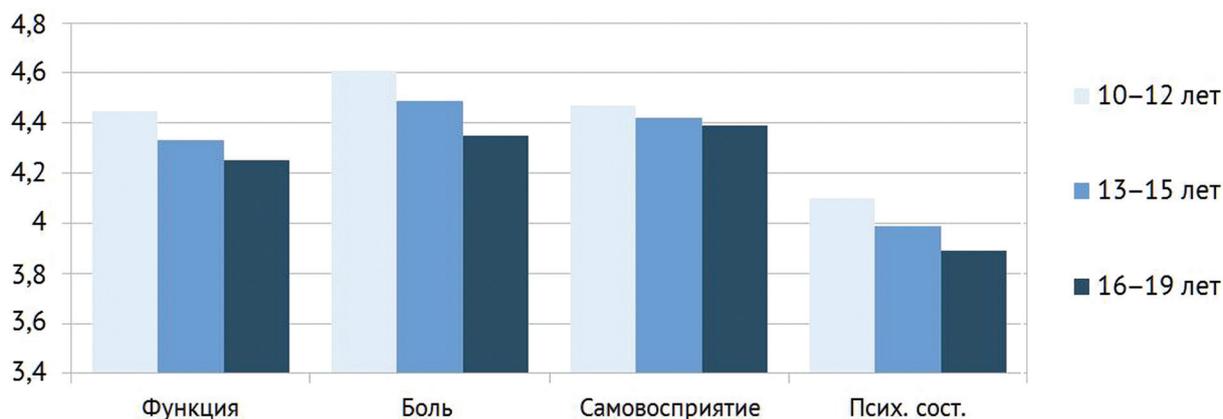


Рис. 4. Распределение результатов по SRS-22 в зависимости от возраста [11]

В целом, баллы снижались по мере увеличения возраста, при этом было отмечено, что европеоиды набирали более высокие баллы по разделам функции, боли и самовосприятия, чем представители других расовых/этнических групп. Выходцы из Латинской Америки набрали более низкие баллы, чем не испаноязычные, во всех областях. Это говорит о том, что даже без какой-либо связи со спинальной патологией и/или ее лечением, возраст и расовая/этническая принадлежность могут оказывать влияние на результаты опросника SRS-22.

*Динамика показателей в разные сроки наблюдения*

Операция задней инструментальной фиксации позвоночника — необратимое вмешательство, оказывающее свое влияние на жизнь пациента раз и навсегда. Исследование A. Gardner et al., проведенное в Великобритании, продемонстрировало, что данные наблюдения пациентов более двух лет после операции не отличаются от данных через год после операции [18]. Однако W-W. Chau et al. [15] провели крупное исследование, оценившее показатели у пациентов на протяжении 30 лет после оперативного вмешательства. При длительном сроке наблюдения выявлена неочевидная динамика в послеоперационном изменении SRS-22. Обследовано 254 пациента, 57 % из которых прооперированы 5 лет назад, 23 % — 5–10 лет, 13 % — 10–20 лет, остальные — более 20 лет назад. Ежегодно 90 % пациентов посещали клинику в течение 10 лет после операции, через 10–20 лет — 83 % пациентов и после 20-го года операции — 71 %. В целом, оценки по шести показателям SRS-22 были относительно стабильными, начиная с пятого года после операции. Показатели «Психика» и «Удовлетворенность» были значительно лучше, чем показатель «Самооценка» в первые 5 лет после операции. Показатели самооценки были стабильно ниже, чем баллы по другим разделам на любом сроке после операции. Все показатели постепенно снижались с 9-го года до 30 и более лет после операции. Также отмечено, что показатель «Боль» улучшался через 15–20 лет (рис. 5).

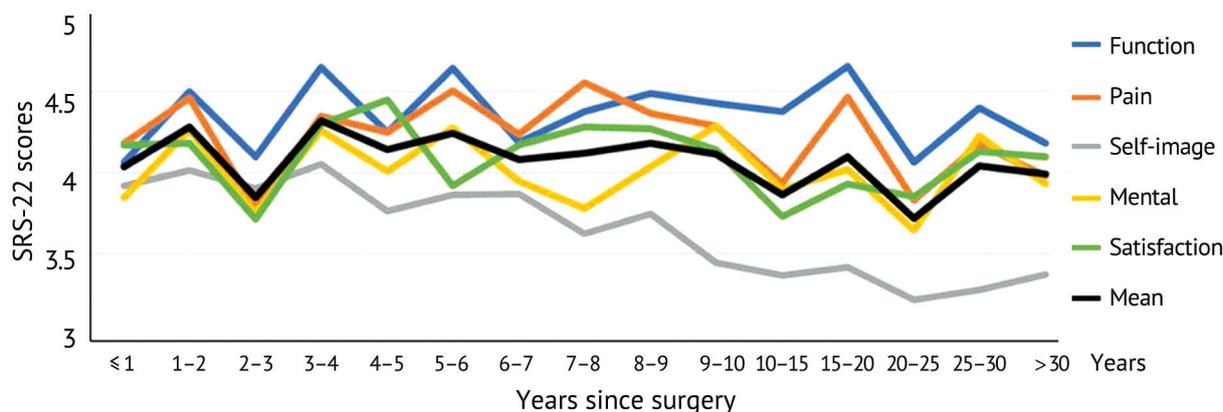


Рис. 5. Распределение показателей SRS-22 в зависимости от срока после операции [15]

Важно отметить, что пациентки, перенесшие операцию 30 лет назад, в момент оценки находятся в перименопаузальном возрасте (> 40 лет), что может оказывать значимое влияние на их психическое состояние и, соответственно, на результаты SRS-22.

*Влияние дополнительных методов и опций лечения*

Помимо операции, на результаты SRS-22 влияют и другие, не хирургические методы, применяемые в процессе лечения сколиоза. По данным Z.-D. Meng et al., имеется взаимосвязь между применением «жестких» функционально-корректирующих корсетов и результатами SRS-22 [19]. Проведен систематизированный обзор литературы, в котором на основании семи публикаций, прошедших критерии включения/исключения, определены показатели SRS-22 в разделах боли, самооценки / внешнего вида, психического здоровья, и функций / активности у пациентов с идиопатическим сколиозом. Результаты у лиц, перенесших оперативное вмешательство и при этом не получавших лечения жестким корсетированием, были аналогичны оценкам пациентов, носивших корсеты. При этом показатели удовлетворенности лечением, а соответственно, и общий балл SRS-22 у пациентов, получавших корсетную терапию, оказался значительно выше.

Представляют интерес данные исследования Y.U. Bin et al., в котором ретроспективно проанализированы анкеты SRS-22 и SF-36 211 пациентов с идиопатическим сколиозом, перенесших операцию задней инструментальной фиксации [21]. Средний возраст пациентов составил 14,4 года (диапазон от 11 до 18 лет), пациенты разделены на 2 группы: с предоперационным лечением корсетом (группа BS — 32 случая, 5 мужчин и 27 женщин) и без предоперационного лечения корсетом (группа S — 179 случаев, 23 мужчин и 156 женщин). Проведено сравнение рентгенологических данных и показателей психического здоровья по опросникам SRS-22 и SF-36 между пациентами двух групп. Между группой BS и группой S не было существенных различий по параметрам реберного гребня, среднему предоперационному углу Cobb основной дуги деформации или трансляции апикального позвонка основной дуги деформации, грудному кифозу или коронарному балансу туловища. Средний балл психического здоровья по SRS-22 групп BS и S составил  $(3,6 \pm 0,7)$  и  $(3,7 \pm 0,5)$ ; общий балл —  $(18,1 \pm 3,5)$  и  $(18,3 \pm 2,6)$  соответственно. Общие оценки психического здоровья по SF-36 групп BS и S составили  $(71,1 \pm 8,7)$  и  $(68,7 \pm 11,5)$  соответственно.

На основании этих данных можно сделать вывод о том, что жесткое корсетирование в процессе лечения оказывает влияние на результаты SRS-22 лишь в аспекте удовлетворенности лечением.

Еще одним важнейшим фактором, влияющим на качество жизни, является физическая активность пациента. В исследовании H. Song et al. выявлено, что физическая работоспособность, способность к интенсивности физических упражнений и выносливость коррелируют с качеством жизни пациентов с подростковым идиопатическим сколиозом [16]. Обследовано 54 пациента женского пола (средний возраст — 14,1, диапазон — 10–19 лет) и 9 пациентов мужского пола (средний возраст — 15,9, диапазон — 14–19 лет) с идиопатическим сколиозом (угол Cobb основной дуги деформации 28–86°). Выявлены значимые корреляции между пиковым потреблением кислорода, нормализованным по массе тела, и показателями функции, боли, психического здоровья и общей оценки SRS-22. Также обнаружены значимые корреляции между потреблением кислорода при анаэробном пороге, нормализованном по массе тела, и показателями функции, боли и общими баллами по SRS-22. Кроме того, коэффициент дыхательного обмена также влиял на общие баллы SRS-22.

## ОБСУЖДЕНИЕ

Качество жизни является важнейшим аспектом в медицине и здравоохранении. Исследования влияния медицинской помощи на изменения качества жизни включают в себя множество исследовательских проектов по всему миру. По данным базы PubMed, за период более 100 лет опубликовано более полумиллиона научных работ, связанных с HRQoL (англ: Health-Related Quality of Life). Это очень объемный и комплексный вопрос, в котором нет единой концепции и методологии [23]. Даже в таком узком и «молодом» относительно всей медицины вопросе, как оценка результатов хирургического лечения спинальной патологии, наблюдается широкий разброс в концепциях и методах оценки качества жизни пациентов.

За годы использования опросников SRS различными учеными предложено несколько вариантов их модификаций для повышения точности и удобства использования. Одним из самых распространенных вариантов являются опросники SRS-22 и SRS-24 (более старая версия, которую применяли во многих более ранних исследованиях). После того, как появилась укороченная модификация SRS-22, ставшая общепринятой, возникла проблема корреляции результатов этих опросников. В исследовании T.P. Bastrom et al. опрошено 829 больных с использованием опросников SRS-22 и SRS-24 [10]. Показатели SRS-22 в разделах боли и общего функционирования оказались значительно выше, чем баллы по SRS-24, тогда как в разделах самооценки баллы по SRS-22 были значительно ниже, чем SRS-24. Предоперационный эффект потолка отмечен только в одном домене. Обе версии позволяли различать большие ( $> 80^\circ$ ) и маленькие ( $< 45^\circ$ ) предоперационные кривые во всех разделах и общих баллах. В послеоперационном периоде баллы SRS-22 для всех общих разделов и общий балл были значительно

выше, чем баллы SRS-24. Эффект потолка во всех пяти разделах отмечен после операции для SRS-22 и в 4 из 7 разделах для SRS-24. При меньшем диапазоне деформаций после операции только раздел самовосприятия SRS-22 был способен различать большие ( $> 29^\circ$ ) и маленькие ( $< 11^\circ$ ) остаточные дуги деформации. В заключении отмечено, что результаты, полученные с помощью SRS-22 и SRS-24, не подлежат сопоставлению, несмотря на наличие общих разделов.

Позднее, на основе SRS-22 разработан укороченный, совместимый с Rasch опросник SRS-7. По данным исследования A. Caronni et al. отмечено, что SRS-22 не удовлетворяет фундаментальным измерительным требованиям, то есть аддитивности, обобщаемости и одномерности [24]. Более того, при использовании SRS-22 у подростков с идиопатическим сколиозом при их первом обследовании возникает сильный эффект потолка. SRS-7, краткий опросник из семи пунктов, обеспечивает измерение HRQL, лучше адаптированное для таких пациентов.

Кроме того, предложен вариант опросника SRS-18, в котором рекомендовано удалить наиболее подходящие пункты в каждом из четырех разделов SRS-22 (пункты 3, 14, 15, 17), а также адаптировать и стандартизировать другие элементы в разных языковых версиях, чтобы сформировать улучшенную версию опросника SRS. Предполагается, что со временем, если будет доказана эффективность и точность SRS-18, он станет обычным вариантом выбора при исследовании качества жизни пациентов с идиопатическим сколиозом.

Кроме SRS-22 в современной научной литературе описаны и другие опросники для оценки качества жизни у пациентов со спинальной патологией. Одним из таких опросников является EOSQL-24, разработанный специально для пациентов с ранним сколиозом. Его особенностью является то, что в отличие от опросника SRS-22, EOSQL-24 его заполняет только ухаживающий за пациентом родитель или опекун.

В исследовании Y. Li et al. проведено сопоставление и сравнение этих опросников [25]. Исследователи сопоставили разделы опросников для выявления корреляций (рис. 6).

EOSQ-24	SRS-22
General Health	Function
Pulmonary Function	Function
Transfer	Function
Physical Function	Function
Daily Living	Function
Fatigue	Function
Financial Impact*	Function
Pain	Pain
Emotion	Mental health
Child Satisfaction	Satisfaction
Parent Satisfaction	Satisfaction

\*The SRS-22 question that addresses financial impact is in the function domain.  
EOSQ-24 indicates 24-item Early-Onset Scoliosis Questionnaire; SRS-22, 22-item Scoliosis Research Society Questionnaire.

Рис. 6. Сопоставление соответствующих разделов опросников SRS-22 и EOSQ-24 [25]

Обследована группа из 98 пациентов. Средний возраст на момент заполнения анкет составил 9,5 лет. Сильная корреляция обнаружена для всех областей, кроме «Удовлетворенности», когда пациент или лицо, осуществляющее уход, заполнили обе анкеты. Анализ продемонстрировал самую сильную связь между доменами в возрастной группе от 0 до 5 лет. У пациентов с задержкой в развитии слабая корреляция отмечена для всех показателей, кроме боли, которая показала сильную корреляцию. Во всех подгруппах наблюдали сильную корреляцию с областями боли и слабую корреляцию с областями удовлетворения. На основании этого исследования сделан вывод, что SRS-22 может подойти детям с врожденным сколиозом, у которых нет диагноза задержки развития. И хотя выявлено, что результаты SRS-22 и EOSQL-24 имеют корреляцию, остается неясным, какой опросник больше подходит для пациентов с задержкой развития.

Еще одним популярным опросником для оценки качества жизни детей и подростков с различными патологиями является PedSQL-24. Однако этот опросник именно у пациентов со сколиозом широко не применялся.

По запросу PedSQL, scoliosis в базе PubMed обнаружено всего 13 результатов, что исключило более детальный анализ в рамках представленного обзора. Однако, несмотря на очевидный малый объем данных, в исследовании P.W.H. Cheung et al. обнаружено, что суммарный балл психосоциального здоровья,

суммарный балл физического здоровья и общий балл PedsQL коррелируют с общим баллом SRS-22r для всех пациентов со сколиозом [14]. У пациентов-подростков со сколиозом (от 13 до 18 лет) как суммарные баллы PedsQL, так и общий балл значительно коррелировали с каждым из показателей домена SRS-22r, за исключением домена «Удовлетворенность лечением».

В современной научной литературе представлено довольно большое количество данных о применении опросников SRS для оценки качества жизни самых разных групп пациентов. Благодаря возможности сравнить результаты, полученные исследователями из разных стран мира, становится заметно, какое выраженное влияние на результаты SRS-22 оказывают этнические и социально-экономические факторы. Кроме того, что показатели меняются с возрастом пациента, еще и его этническое происхождение, образ жизни и уровень финансового благополучия оказывают значимое влияние на качество жизни. Из-за большого количества социальных, культурных, индивидуальных, экономических особенностей жизни в том или ином географическом регионе и социальной группе два пациента с сопоставимыми спинальными патологиями и схожей результативностью оперативного лечения могут иметь существенно различающиеся результаты в оценке качества жизни при использовании опросника SRS-22. Среда обитания, сельская или городская, может влиять на послеоперационное качество жизни при спинальных деформациях. Показатели самооценки значительно ниже в городской группе, однако других значимых различий в показателях активности, боли или психического здоровья по сравнению с сельской группой мы не отметили.

Ключевым фактором, влияющим на качество жизни пациента со сколиозом, является объем и структура деформации позвоночника. Сколиотическая деформация позвоночника — яркий и тяжелый синдром, в значительной степени оказывающий влияние на практически все аспекты жизни человека. Деформации тела вызывают как косметические дефекты, так и клинические проявления (боль, утомляемость), которые, в свою очередь, могут ограничивать физическую активность пациента. В то же время и продолжающееся на протяжении многих лет лечение и медицинские процедуры также могут оказывать свое воздействие на психологическое состояние, самовосприятие и качество жизни человека. Однако корреляция результатов SRS-22 по различным показателям с типом, локализацией, тяжестью деформации и объемом ее коррекции оказалась не такой очевидной и прямой как ожидалось.

Насколько вообще рентгенологические параметры и их изменения во время лечения сколиоза влияют на результаты SRS-22? В современной научной литературе представлены довольно неоднородные и противоречивые данные по этому вопросу. Смещение (трансляция) апикального позвонка основной дуги деформации имеет более значимое влияние на самооценку пациента, чем непосредственно объем основной дуги деформации (угол по Cobb) [16, 25]. При этом величина коррекции деформации в результате лечения вообще не имеет прямой корреляции с улучшением показателей SRS-22 после оперативного лечения [21]. Структура самой спинальной деформации также имеет значение, поскольку у пациентов с тройной структурной дугой отмечают большую величину деформации и более низкие показатели в разделах самооценки и функций. Все эти детали указывают на то, что влияние объема и структуры сколиотической деформации на качество жизни — это комплексный, многофакторный вопрос. Задняя инструментальная фиксация позвоночника — серьезное оперативное вмешательство, оказывающее влияние на качество жизни пациента как сразу после него, так и спустя десятилетия. У пациентов, перенесших такую операцию, отмечают стабильную умеренно-негативную динамику в показателях качества жизни [15]. Эти данные, вне всякого сомнения, представляют интерес, однако, учитывая столь продолжительный период наблюдения, нельзя с уверенностью говорить о том, что постепенное снижение показателей SRS-22 связано именно с оперативным лечением.

Помимо непосредственно оперативного вмешательства на качество жизни пациента могут влиять и прочие лечебные процедуры, например, курсовое жесткое корсетирование [18]. Однако стоит отметить, что такое влияние оказалось совсем не таким значительным и проявлялось лишь в аспекте удовлетворенности лечением. Этот эффект, предположительно, можно объяснить большей личной вовлеченностью пациента в процесс лечения. Постоянное ношение корсета доставляет некоторый дискомфорт, неудобство в бытовой жизни и требует определенных волевых усилий. Преодоление этих трудностей личным участием и путем приложения собственных усилий пациентом производит психологический эффект, вызывающий у него большее удовлетворение результатами лечения, несмотря на то, что с точки зрения рентгенологических показаний выраженного положительного эффекта такой подход не оказывает.

Учитывая, что сколиоз, как правило, возникает у детей/подростков, невозможно не учитывать роль родителя в процессе лечения и его влияние на качество жизни. Выяснилось, что оценка состояния ребенка родителем с помощью опросника SRS-22 статистически не отличается от самостоятельной оценки пациента-ребенка [19].

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Можно выделить несколько ключевых моментов применения опросника SRS-22 у пациентов со сколиозом:

- опросник SRS-22 на текущий момент является наиболее широко используемым инструментом, так как обладает высокой надежностью для оценки качества жизни пациентов со сколиозом любой этиологии с учетом возраста и возможностей функционального статуса;
- взаимосвязь и влияние тяжести и структуры спинальной деформации на уровень жизни — крайне разнородный и многокомпонентный вопрос. На результаты SRS-22 выраженное влияние оказывают не только медицинские, но и большое количество возрастных, этнических, культурных, социальных и экономических факторов. Попытка учета влияния этих факторов в рамках представленных опросников выглядит пока сомнительной в силу их разнородности и неочевидности. Этим и объясняется большое количество вариантов и модификаций опросников;
- отмечается постепенное изменение показателей SRS-22 в послеоперационном периоде на протяжении десятилетий с момента операции. Эти изменения могут быть вызваны факторами, не связанными с операцией. Дополнительные медицинские манипуляции и консервативные методы лечения, в том числе связанные с другими заболеваниями и состояниями, способны оказывать влияние на качество жизни пациента;
- в случае с пациентами-детьми родители довольно точно оценивают состояние своего ребенка при использовании SRS-22;
- за многие годы применения опросников SRS было предложено множество модификаций, призванных упростить работу по оценке качества жизни пациентов, однако ни одна из них, кроме SRS-22, общепринятой так и не стала. По этой причине необходимо разработать специальные дополнительные алгоритмы, позволяющие интерпретировать варианты результатов SRS-7, SRS-18, SRS-22, SRS-24 и т.д. в единый формат для их анализа и сравнения между собой.

**Конфликт интересов.** Не заявлен.

**Источник финансирования.** Не заявлен.

## СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Mimura T, Ikegami S, Kuraishi S, et al. Residual thoracolumbar/lumbar curve is related to self-image after posterior spinal fusion for Lenke 1 and 2 curves in adolescent idiopathic scoliosis patients. *J Neurosurg Pediatr.* 2020;26(2):211-216. doi: 10.3171/2020.2.PEDS19656
2. Тесаков Д.К., Тесакова Д.Д. Изменения в пластической анатомии туловища у пациентов с тяжелыми прогрессирующими сколиотическими деформациями позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2008;(4):13-19. doi: 10.14531/ss2008.4.13-19
3. Monticone M, Nava C, Leggero V, et al. Measurement properties of translated versions of the Scoliosis Research Society-22 Patient Questionnaire, SRS-22: a systematic review. *Qual Life Res.* 2015;24(8):1981-1998. doi: 10.1007/s11136-015-0935-5
4. Varni JW, Seid M, Kurtin PS. PedsQL 4.0: reliability and validity of the Pediatric Quality of Life Inventory version 4.0 generic core scales in healthy and patient populations. *Med Care.* 2001;39(8):800-812. doi: 10.1097/00005650-200108000-00006
5. Laucis NC, Hays RD, Bhattacharyya T. Scoring the SF-36 in Orthopaedics: A Brief Guide. *J Bone Joint Surg Am.* 2015;97(19):1628-1634. doi: 10.2106/JBJS.O.00030
6. Befus EG, Helseth S, Mølland E, et al. Use of KIDSCREEN health-related quality of life instruments in the general population of children and adolescents: a scoping review. *Health Qual Life Outcomes.* 2023;21(1):6. doi: 10.1186/s12955-023-02088-z
7. Methley AM, Campbell S, Chew-Graham C, et al. PICO, PICOS and SPIDER: a comparison study of specificity and sensitivity in three search tools for qualitative systematic reviews. *BMC Health Serv Res.* 2014;14:579. doi: 10.1186/s12913-014-0579-0
8. Yagi M, Ames CP, Hosogane N, et al. Lower Satisfaction After Adult Spinal Deformity Surgery in Japan Than in the United States Despite Similar SRS-22 Pain and Function Scores: A Propensity-Score Matched Analysis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2020;45(17):E1097-E1104. doi: 10.1097/BRS.0000000000003483
9. Ohashi M, Bastrom TP, Bartley CE, et al. Associations between three-dimensional measurements of the spinal deformity and preoperative SRS-22 scores in patients undergoing surgery for major thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform.* 2020;8(6):1253-1260. doi: 10.1007/s43390-020-00150-0
10. Bastrom TP, Bartley C, Marks MC, et al. Postoperative Perfection: Ceiling Effects and Lack of Discrimination With Both SRS-22 and -24 Outcomes Instruments in Patients With Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(24):E1323-E13239. doi: 10.1097/BRS.0000000000001082
11. Daubs MD, Hung M, Neese A, et al. Scoliosis research society-22 results in 3052 healthy adolescents aged 10 to 19 years. *Spine (Phila Pa 1976).* 2014;39(10):826-832. doi: 10.1097/BRS.0000000000000280
12. Verma K, Lonner B, Toombs CS, et al. International utilization of the SRS-22 instrument to assess outcomes in adolescent idiopathic scoliosis: what can we learn from a medical outreach group in Ghana? *J Pediatr Orthop.* 2014;34(5):503-508. doi: 10.1097/BPO.0000000000000137

13. Alzayed ZS, Majid OB, Alqahtani SA, et al. Young Patients' Satisfaction Following the Correction of Adolescent Idiopathic Scoliosis in Saudi Arabia: A Cross-Sectional Study. *Cureus*. 2022;14(10):e30058. doi: 10.7759/cureus.30058
14. Cheung PWH, Wong CKH, Cheung JPY. Comparative study of the use of Paediatric Quality Of Life Inventory 4.0 generic core scales in paediatric patients with spine and limb pathologies. *Bone Joint J*. 2020;102-B(7):890-898. doi: 10.1302/0301-620X.102B7.BJJ-2019-1766.R2
15. Chau WW, Ng BK, Hung AL. Health-related quality of life (HRQOL) of adolescent idiopathic scoliosis (AIS) patients from surgery to after 30 years using SRS-22 questionnaire. *Spine Deform*. 2020;8(5):951-956. doi: 10.1007/s43390-020-00132-2
16. Cong H, Chen L, Shen J, et al. Is physical capacity correlated with health-related quality of life in patients with adolescent idiopathic scoliosis? *Ann Palliat Med*. 2021;10(6):6220-6227. doi: 10.21037/apm-20-2624
17. Li J, Tseng C, Yuan Y, et al. Determining the association between the radiographic parameters and the SRS-22 scores in Chinese female patients with adolescent idiopathic scoliosis: does curve pattern matter? *Br J Neurosurg*. 2024;38(2):349-355. doi: 10.1080/02688697.2021.1875396
18. Gardner A, Cole A, Harding I. What does the SRS-22 outcome measure tell us about spinal deformity surgery for Adolescent Idiopathic Scoliosis in the UK? *Ann R Coll Surg Engl*. 2021;103(7):530-535. doi: 10.1308/rcsann.2021.0005
19. Meng ZD, Li TP, Xie XH, et al. Quality of life in adolescent patients with idiopathic scoliosis after brace treatment: A meta-analysis. *Medicine* (Baltimore). 2017;96(19):e6828. doi: 10.1097/MD.00000000000006828
20. Brewer P, Berryman F, Baker D, et al. Analysis of the Scoliosis Research Society-22 Questionnaire Scores: Is There a Difference Between a Child and Parent and Does Physician Review Change That? *Spine Deform*. 2014;2(1):34-39. doi: 10.1016/j.jspd.2013.08.006
21. Yu B, Wang Y, Qiu G, et al. Effect of Preoperative Brace Treatment on the Mental Health Scores of SRS-22 and SF-36 Questionnaire in Surgically Treated Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients. *Clin Spine Surg*. 2016;29(5):E233-E2339. doi: 10.1097/BSD.0000000000000057
22. Gem K, Hancioglu S, Bilgiç A, Erkan S. Comparison of Changes in SRS-22 Values with Improvement in Cobb Angles after Posterior Fusion Surgery in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Z Orthop Unfall*. 2022;160(5):532-538. doi: 10.1055/a-1401-0477
23. Haraldstad K, Wahl A, Andenæs R, et al. A systematic review of quality of life research in medicine and health sciences. *Qual Life Res*. 2019;28(10):2641-2650. doi: 10.1007/s11136-019-02214-9
24. Caronni A, Zaina F, Negrini S. Improving the measurement of health-related quality of life in adolescent with idiopathic scoliosis: the SRS-7, a Rasch-developed short form of the SRS-22 questionnaire. *Res Dev Disabil*. 2014;35(4):784-799. doi: 10.1016/j.ridd.2014.01.020
25. Li Y, Burke MC, Gagnier J, et al. Comparison of EOSQ-24 and SRS-22 Scores in Congenital Scoliosis: A Preliminary Study. *J Pediatr Orthop*. 2020;40(3):e182-e185. doi: 10.1097/BPO.0000000000001412

Статья поступила 17.04.2024; одобрена после рецензирования 24.04.2024; принята к публикации 18.06.2024.

The article was submitted 17.04.2024; approved after reviewing 24.04.2024; accepted for publication 18.06.2024.

#### Информация об авторах:

Юрий Витальевич Молотков — аспирант, врач травматолог-ортопед, m.d.molotkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3615-2527>;

Алексей Владимирович Евсюков — кандидат медицинских наук, нейрохирург, руководитель клиники, alexevsukov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>;

Сергей Олегович Рябых — доктор медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заместитель директора по научной работе, руководитель отдела, rso\_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>;

Дмитрий Михайлович Савин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, savindm81@mail.ru.

#### Information about the authors:

Yury V. Molotkov — post-graduate student, orthopaedic surgeon, m.d.molotkov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-3615-2527>;

Alexey V. Evsyukov — Candidate of Medical Sciences, neurosurgeon, Head of the Clinic, alexevsukov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8583-0270>;

Sergey O. Ryabykh — Doctor of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Deputy Director for Scientific Work, Head of Department, rso\_@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-8293-0521>;

Dmitry M. Savin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Head of Department, savindm81@mail.ru.

Главный редактор А.В. Бурцев

Компьютерная верстка М.А. Беляева

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 19.08.2024. Дата выхода 28.08.2024

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 16,3

Тираж 75 экз. Заказ № 11829. 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