

16+

ISSN 1028-4427 (Print)

ISSN 2542-131X (Online)

Гений Ортопедии

Orthopaedic Genius

Том 30
№ 5
2024

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

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

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

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

THE EDITORS

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

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, содержащий традиционные рубрики.

Клинические исследования представлены в журнале шестью публикациями. Открывает раздел статья авторов из Индии (К. Kumar с соавт.), которые оценили прогностическую ценность индекса гипсовой повязки и трехточечного индекса при переломах обеих костей предплечья у детей. В исследование было включено 55 пациентов. Проанализировав результаты, авторы пришли к заключению, что оба индекса являются клинически полезными инструментами для оценки качества гипсования после закрытой репозиции переломов предплечья у детей и для прогнозирования повторного смещения при переломах дистального отдела предплечья.

В.В. Евреинов с соавт. (Курган, Екатеринбург) посвятили свою работу изучению основных этиологических факторов и коморбидной патологии тяжелых форм детского церебрального паралича на примере 170 пациентов. Оценив полученные результаты, авторы заключают, что основные факторы риска развития ДЦП у пациентов с выраженными моторными нарушениями GMFCS IV–V связаны с пре- и интранатальными периодами. Коморбидная патология пациентов с тяжелыми формами ДЦП обусловлена грубыми повреждениями головного мозга и двигательными расстройствами, сформировавшимися на этом фоне.

Продолжает раздел статья авторов из Вьетнама (Khoan V. Vu с соавт.), которые изучили ближайшие функциональные результаты артропластики тазобедренного сустава при аваскулярном некрозе головки бедренной кости и факторы, связанные с пациентами. В исследовании приняли участие 143 пациента. Результаты исследования показали, что тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава позволяет достичь хорошего результата у пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости. Операция, выполненная на ранних сроках до наступления функциональной несостоятельности конечности, и своевременное и адекватное лечение сопутствующих заболеваний позволяют улучшить результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава.

Авторский коллектив из Москвы (И.К. Ерёмин с соавт.) приводит в своей работе преимущества прямого переднего доступа (ППД) в сочетании с PENG-блоком и блокадой латерального кожного нерва бедра при эндопротезировании тазобедренного сустава. Проанализировав результаты лечения 62 пациентов, авторы отмечают, что низкий послеоперационный болевой синдром позволяет активизировать пациентов быстрее, тем самым улучшая результаты раннего реабилитационного периода. Применение PENG-блока и блокады ЛКНБ при эндопротезировании с применением ППД имеет клиническую эффективность в первые 24 часа, способствуя ускорению послеоперационного восстановления пациентов.

Клинико-функциональный и нейропсихологический статус 448 пациентов, поступивших на эндопротезирование суставов, изучили авторы из Калининграда (А.Х. Джигкаев и соавт.). Практически у всех пациентов выявлены изменения в лейкоцитарных индексах, что свидетельствует о наличии воспалительного процесса, связанного с основным заболеванием — остеоартритом. В формирование «провоспалительного статуса» вносят свой вклад митохондриальная дисфункция, старение иммунной системы. Широкая представленность когнитивных нарушений связана с возрастным статусом и наличием коморбидной патологии, в первую очередь, сердечнососудистыми заболеваниями. Наличие дистресса и тревоги ассоциировано с эмоциональным реагированием на хирургическое вмешательство.

И.В. Шипицына и Е.С. Спиркина (Курган) представляют в своей работе результаты изучения антибактериального действия полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. Aureus* и *P. Aeruginosa*. Авторы отмечают, что эффективность ФДТ зависит от вида микроорганизма, анатомического местоположения очага инфекции, а также свойств фотосенсибилизатора и используемого лазера. В зависимости от строения клеточной стенки наблюдается различная восприимчивость бактерий к фотодинамическим эффектам.

Экспериментальные исследования в номере представлены публикацией М.В. Стогова с соавт. (Курган, Екатеринбург, Томск), которые изучили влияние цинксодержащего кальций-фосфатного покрытия на остеоинтеграцию чрескожных имплантатов для протезирования конечностей. Комплекс исследований показал, что имплантат с цинксодержащим кальций-фосфатным покрытием имеет признаки

улучшенной интеграции в отличие от изделия без покрытия. Отсутствие серьезных нежелательных реакций на тестируемые изделия свидетельствует о приемлемой переносимости и безопасности применения.

В разделе «Случай из практики» представлены клинические примеры выполнения латеральной кортикотомии при нарушении консолидации внесуставных переломов проксимального отдела бедренной кости у пациента 66 лет (Р.А. Шафигулин с соавт., Казань), эндопротезирования головки таранной кости при лечении болезни Мюллера – Вейса у трех пациентов (Скребцов В.В. и соавт., Москва) и лечения перипротезной инфекции с замещением кавитарных дефектов типа 2С по Paprosky на этапе установки артикулирующего спейсера (Н.И. Рожков с соавт., Курган).

Четыре обзора литературы, завершающие номер, освещают современные подходы к выполнению временного остеосинтеза костей голени при лечении множественных и сочетанных травм (И.Ю. Ходжанов с соавт., Ташкент, Узбекистан), хирургической коррекции посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти (Н.В. Абдиба с соавт., Санкт-Петербург), эндопротезированию проксимального межфалангового сустава кисти (П.В. Федотов и соавт., Чебоксары) и оптимизации ревизионной артропластики (Б.Ш. Минасов и соавт., Уфа).

Надеемся, что этот номер заинтересует вас и будет полезен в повседневной практической и научной работе.

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

Оригинальные статьи

- Использование индекса гипсовой повязки и трехточечного индекса при переломах обеих костей предплечья у детей: проспективное исследование 627
К. Kumar, Ch. Katariya, M. Jindal, P. Gupta
- Основные этиологические факторы и коморбидная патология тяжелых форм детского церебрального паралича 636
В.В. Евреинов, Т.А. Жирова, Я.В. Зуева
- Ближайшие функциональные результаты артропластики тазобедренного сустава при аваскулярном некрозе головки бедренной кости и влияние факторов, связанных с пациентами 644
Khoa V. Vu, Quang Nguyen, Lan T.P. Luong, Thieu Q. Nguyen, Loi B. Cao, Anh T. Le
- Быстрое восстановление после эндопротезирования тазобедренного сустава: прямой передний доступ в сочетании с PENG-блоком и блокадой латерального кожного нерва бедра 651
И.К. Ерёмин, А.А. Данильянц, Н.А. Ермакова, У.А. Байсаров, З.М. Моларишвили, Н.А. Семёнов, Н.В. Загородний
- Клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов, поступивших на эндопротезирование суставов 659
А.Х. Джигкаев, А.М. Тынтерова, И.И. Козенков, Э.В. Хайбулин, Е.В. Трофимова, К.Ю. Попадьян, К.В. Гунбин, А.Г. Гончаров
- Антибактериальное действие полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa*, ведущих возбудителей остеомиелита 670
И.В. Шипицына, Е.С. Спиркина
- Влияние цинксодержащего кальций-фосфатного покрытия на остеоинтеграцию чрескожных имплантатов для протезирования конечностей 677
М.В. Стогов, А.А. Еманов, В.П. Кузнецов, Е.Г. Комарова, Е.Н. Горбач, Е.А. Киреева, Т.В. Толкачева, Ю.П. Шаркеев

Случаи из практики

- Латеральная кортикотомия при нарушении консолидации внесуставных переломов проксимального отдела бедренной кости 687
Р.А. Шафигулин, И.Ф. Ахтямов, И.А. Агьямов, А.А. Горнаев
- Эндопротезирование головки таранной кости при лечении болезни Мюллера – Вейса: три клинических случая 694
В.В. Скребцов, В.Г. Процко, А.В. Скребцов, С.К. Тамоев
- Лечение пациентов с перипротезной инфекцией и замещением кавитарных дефектов типа 2C по Pargosky на этапе установки артикулирующего спейсера 706
Н.И. Рожков, А.М. Ермаков, А.С. Тряпичников, Н.В. Сазонова

Обзоры литературы

- Временный остеосинтез костей голени при лечении пострадавших с множественными и сочетанными травмами 717
И.Ю. Ходжанов, Л.А. Амонов, Ф.М. Махсудов
- Хирургическая коррекция посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти (систематический обзор литературы) 728
Н.В. Абдиба, Л.А. Родоманова, А.О. Афанасьев, А.Е. Чижов, А.Р. Миронов, Д.В. Романов, Е.С. Цыбуль
- Эндопротезирование проксимального межфалангового сустава кисти: современное состояние проблемы 743
П.В. Федотов, Д.В. Ковалев, А.С. Михайлов
- Оптимизация ревизионной артропластики: роль индивидуальных артикулирующих спейсеров 753
Б.Ш. Минасов, Р.Р. Якупов, В.Н. Акбашев, А.Р. Билялов, Т.Б. Минасов, М.М. Валеев, Т.Р. Мавлютов, К.К. Каримов, А.Р. Бердин

Original Articles

Use of cast index and three-point index in paediatric both bone forearm fractures: a prospective study 627
K. Kumar, Ch. Katariya, M. Jindal, P. Gupta

Main etiological factors and comorbid pathology in severe cerebral palsy 636
V.V. Evreinov, T.A. Zhirova, Ya.V. Zueva

Short-term functional outcome of total hip arthroplasty for avascular necrosis of femoral head and influence of patient-related factors 644
Khoa V. Vu, Quang Nguyen, Lan T.P. Luong, Thieu Q. Nguyen, Loi B. Cao, Anh T. Le

Rapid recovery after total hip arthroplasty: direct anterior approach combined with PENG block and lateral cutaneous femoral nerve block 651
I.K. Eremin, A.A. Daniliyants, N.A. Ermakova, U.A. Baysarov, Z.M. Molarishvili, N.A. Semenov, N.V. Zagorodniy

Clinical, functional and neuropsychological status of joint replacement patients..... 659
A.H. Dzhigkaev, A.M. Tynterova, I.I. Kozenkov, E.V. Khaibulin, E.V. Trofimova, K.Yu. Popadin, K.V. Gunbin, A.G. Goncharov

Antibacterial effect of semiconductor laser radiation against the strains of *S. aureus* and *P. aeruginosa*, leading pathogens in osteomyelitis 670
I.V. Shipitsyna, E.S. Spirkina

The effect of zinc-containing calcium phosphate coating on the osseointegration of transcutaneous implants for limb prosthetics 677
M.V. Stogov, A.A. Emanov, V.P. Kuznetsov, E.G. Komarova, E.N. Gorbach, E.A. Kireeva, T.V. Tolkacheva, Yu.P. Sharkeev

Case reports

Lateral cortical notching for impaired healing of extra-articular proximal femur fractures (case report) 687
R.A. Shafigulin, I.F. Akhtyamov, I.A. Aglyamov, A.A. Gornaev

Talar head replacement for treatment of Müller – Weiss syndrome: three clinical cases 694
V.V. Skrebtsov, V.G. Protsko, A.V. Skrebtsov, S.K. Tamoev

Treatment of patients with periprosthetic infection and management of Paprosky type 2C cavitary defects at the stage of articulating spacer installation 706
N.I. Rozhkov, A.M. Ermakov, A.S. Triapichnikov, N.V. Sazonova

Literature reviews

Temporary osteosynthesis of the tibial bones in repair of multiple and combined injuries 717
I.Yu. Khodjanov, L.A. Amonov, F.M. Makhsudov

Surgical correction of posttraumatic triphalangeal joint flexion contractures of the fingers (systematic literature review) 728
N.V. Abdiba, L.A. Rodomanova, A.O. Afanasyev, A.E. Chizhov, A.R. Mironov, D.V. Romanov, E.S. Tsybul

Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint of the hand: the current state of the problem 743
P.V. Fedotov, D.V. Kovalev, A.S. Mikhailov

Optimizing revision arthroplasty: the role of customized articulating spacers 753
B.Sh. Minasov, R.R. Yakupov, V.N. Akbashev, A.R. Bilyalov, T.B. Minasov, M.M. Valeev, T.R. Mavlyutov, K.K. Karimov, A.R. Berdin

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-627-635>

Use of cast index and three-point index in paediatric both bone forearm fractures: a prospective study

K. Kumar¹, Ch. Katariya¹, M. Jindal¹✉, P. Gupta²¹ Kalpana Chawala Government Medical College, Karnal, India² Guru Gobind Singh Medical College, Faridkot, India**Corresponding author:** Mohit Jindal, drmohitjindalortho@gmail.com

Abstract

Introduction The majority of paediatric both bone forearm fractures are treated with manipulative reductions and casting; loss of reduction is one of the most commonly reported complications.

We **aimed** to assess the role of cast index and 3-point index as predictor of outcome of a successful closed reduction in distal both bones forearm fractures.

Materials and methods This prospective observational study was conducted at the Department of Orthopedics, Kalpana Chawala Government Medical College in Karnal to assess the role of cast index and 3-point index as predictor of outcome of a successful closed reduction in distal both bones forearm fractures. In the present study, 55 patients 16 years old were included irrespective of sex with distal both bones forearm fractures, managed by closed reduction and casting were included.

Results Fracture reduction failure was observed in 32.7 % of the patients. Both three-point index and cast index were found to be significantly higher in patients with reduction failure. It was observed that at 2 weeks Area under curve (ROC Curve) for Cast index and Three point index was 0.72 and 0.85 respectively. At 4 weeks, Area under curve for Cast index and Three point index was 0.77 and 0.84 respectively and at 6 weeks 0.74 and 0.86 respectively. Thus, in the present study, CI and 3PI had similar predictability for fracture reduction failure.

Discussion There are a few limitations of our study: We could not observe the patients for a longer period of time to know re-modelling in the long term. We did not take in to consideration the severity of fracture, type of anesthesia used (conscious sedation versus General Anesthesia) and the fracture configuration while assessing the outcomes. We also did not collect information about anthropometric parameters like child weight and diameter of the forearm.

Conclusion The three-point index and cast index are clinically useful tools to assess the quality of cast molding following closed reduction of pediatric forearm fractures and to predict re-displacement in distal forearm fractures.

Keywords: forearm fracture, casting, cast index, three-point index, VAS score

For citation: Kumar K, Katariya Ch, Jindal M, Gupta P. Use of cast index and three-point index in paediatric both bone forearm fractures: a prospective study. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):627-635. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-627-635

Научная статья

УДК 616.717.5/.6-001.5-089.22-231-053.2-071

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-627-635>



Использование индекса гипсовой повязки и трехточечного индекса при переломах обеих костей предплечья у детей: проспективное исследование

K. Kumar¹, Ch. Katariya¹, M. Jindal^{1✉}, P. Gupta²

¹ Kalpana Chawala Government Medical College, Karnal, India

² Guru Gobind Singh Medical College, Faridkot, India

Автор, ответственный за переписку: Mohit Jindal, drmohitjindalortho@gmail.com

Аннотация

Введение. В большинстве случаев при лечении детей с переломами обеих костей предплечья применяют манипулятивную репозицию и гипсование. Потеря репозиции является одним из наиболее часто встречающихся осложнений.

Цель работы — оценить роль индекса гипсовой повязки и трехточечного индекса в качестве предиктора исхода успешной закрытой репозиции при переломах дистального отдела обеих костей предплечья.

Материалы и методы. Данное проспективное исследование проведено в отделении ортопедии Государственного медицинского колледжа Kalpana Chawala (Карнал, Индия). В исследование включено 55 пациентов обоего пола в возрасте до 16 лет с дистальными переломами обеих костей предплечья, которым проводили закрытую репозицию и гипсование.

Результаты. Нарушение сращения перелома наблюдали у 32,7 % пациентов. Трехточечный индекс и индекс гипсовой повязки были значительно выше у пациентов с нарушением сращения. Отмечено, что через 2 недели площадь под кривой (ROC-кривая) для индекса гипса составила 0,72, для трехточечного индекса — 0,85, через 4 недели — соответственно 0,77 и 0,84, а через 6 недель — 0,74 и 0,86. Таким образом, в данном исследовании оба индекса имели схожую прогнозируемость в отношении несостоятельности репозиции перелома.

Обсуждение. В нашем исследовании есть несколько ограничений. Мы не могли наблюдать за пациентами в течение более длительного времени, чтобы узнать, как происходит ремоделирование костной ткани в отдаленном периоде. При оценке результатов мы не учитывали тяжесть перелома, тип использованной анестезии и конфигурацию перелома. Мы также не собирали информацию об антропометрических параметрах, таких как вес ребенка и диаметр предплечья.

Заключение. Трехточечный индекс и индекс гипсовой повязки являются клинически полезными показателями оценки качества гипсования и прогнозирования повторного смещения после закрытой репозиции переломов дистального отдела предплечья у детей.

Ключевые слова: перелом предплечья, гипс, индекс гипсовой повязки, трехточечный индекс, оценка ВАШ

Для цитирования: Kumar K., Katariya Ch., Jindal M., Gupta P. Использование индекса гипсовой повязки и трехточечного индекса при переломах обеих костей предплечья у детей: проспективное исследование. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):627-635. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-627-635. EDN: AVZFWO.

INTRODUCTION

Forearm fractures account for 17.8 % of all fractures in pediatric age [1]. A. Joeris et al. found forearm fractures to be significantly more frequent in school age children (65 %) and adolescents (63 %) compared to infants (42 %) and preschool children (50 %) [2]. Both forearm bones were fractured in 50.1 % of cases of forearm injuries and there were significantly more males than females injured (63.6 % versus 36.4%) [3]. The majority of the childhood diaphyseal forearm fractures are treated with manipulative reductions and loss of reduction was one of the most commonly reported complications [4]. Various indexing for assessment of reduction were described: cast index, padding index, Canterbury index, gap index and three-point index. The cast index (CI) is a simple and quick method of predicting the re-displacement after cast application in radius and ulna fractures in paediatric patients, particularly distal radius fractures [5]. K.B. Alemdaroglu et al. described the three-point index (TPI) in adult and paediatric radius distal end fractures and reported that the significance of the index in predicting the loss of reduction was higher than all other indices [6]. Therefore, in this study, we aimed to assess the role of cast index and three-point index as predictors of outcome of a successful closed reduction in distal both-bone forearm fractures.

MATERIALS AND METHODS

This prospective observational study was conducted at the Department of Orthopedics of Kalpana Chawla Government Medical College, Karnal, India from December 2022 to June 2024. Ethical committee clearance was taken. Informed written consent was taken from all the parents/care providers of patients included in the study. The inclusion criteria were patients under 16 years of age irrespective of sex with distal both-bone forearm fractures, managed by closed reduction and casting with acceptable reduction, pediatric patients presenting within a week of fracture. The exclusion criteria were patients with open fractures, polytrauma, vascular compromise, poor skin condition, allergy to POP, isolated radial or ulnar fractures, systemic disease (Bone metabolic disease). A total of 55 patients fulfilling the inclusion criteria were studied. All fractures were manipulated to anatomical position for close reduction under X-ray image intensification before the application of an above elbow plaster cast using Plaster of Paris with forearm in neutral position and elbow kept at 90 degrees flexion. A uniform layer of padding was applied throughout with a 50 % overlap between successive wraps. The manipulation and casting was done by orthopaedic surgeons; patients were followed up at the Kalpana Chawla Government Medical College. The principles of good forearm casting technique, i.e. interosseous molding, supracondylar molding, appropriate padding (ensuring at least two layers of padding material, with extra padding over bony prominences), evenly distributed cast material, straight ulnar border and flat posterior humeral borders, and three-point molding, were ensured. Reduction was assessed on check radiographs in standard AP and lateral views. Quality of reduction was assessed and casting indices (cast index and three-point index) of the patient were calculated at this stage. The cast index (CI) was calculated on the basis of the cast geometry at the fracture site: cast index = inner diameter of the cast at fracture site in the lateral view/ inner diameter of the fracture cast at fracture site in the AP view as shown in Figure 1. An ideal CI will be taken to be 0.8 or less.



Fig. 1. X-ray of the forearm capturing the wrist joint, lateral and anteroposterior views showing CI calculation. $CI = A/B$, A — internal anteroposterior diameter of cast excluding padding, B — internal mediolateral diameter of cast excluding padding

The three-point index was assessed as shown below in Figure 2. The three-point index considered the gap at the fracture site as well as the gaps that are proximal and distal to the fracture itself. It was calculated with a complex formula. The narrowest distal radial gap at radiocarpal or proximal carpal joint + the narrowest ulnar gap within 1 cm of the fracture site + the narrowest radial gap within the area between 3 and 7 cm proximal to the fracture line) / transverse width of bone contact between proximal and distal fragments on AP + (the narrowest distal dorsal

gap at radiocarpal or proximal carpal joint + the narrowest volar gap within 1 cm of the fracture site + the narrowest dorsal gap within the area between 3 and 7 cm proximal to the fracture line)/transverse width of contact between proximal and distal fragments on lateral radiograph and the cut-off was < 0.8.



Fig. 2. Three-point index: (1) Anteroposterior (AP) radiograph, showing measurement of distal radial gap (A), fracture site ulnar gap (B) and proximal radial gap (padding thickness) (C), sum of which was divided by sum of coronal reduced distance of radius (x1) and ulna (x2). (2) Lateral radiograph, showing measurement of distal dorsal gap (P), fracture site volar gap (Q) and proximal radial gap (R), sum of which was divided by sum of sagittal reduced distance of radius (y1) and ulna (y2). Results of calculations of AP and lateral radiographs are added to find the three-point index $(A + B + C) / (x1 + x2) + (P + Q + R) / (y1 + y2)$

The reduction was deemed satisfactory by the surgeon when there was no evidence of displacement (< 5 mm) on both planes and angulation was corrected to near anatomical position (< 5°). The decision to re-manipulate was based on standard guidelines [7] (re-angulation of more than 20°). Fractures that re-displaced significantly were re-manipulated or fixed internally. All patients were followed up at 2 weeks, 4 weeks and 6 weeks.

Statistical analysis

The Statistical analysis included profiling of patients on different demographic, laboratory and clinical parameters. Descriptive analysis of quantitative parameters was expressed as mean and standard deviation. Ordinal data were expressed as absolute number and percentage. Comparison was done between patients with and without failure of fracture reduction. Cross tables were generated and chi square test was used for testing of associations and student t-test was used for comparison of quantitative parameters. A p-value < 0.05 is considered statistically significant. All analysis was done using SPSS software, version 24.0.

RESULTS

Fifty-five patients were included in the study. Fracture reduction failure was observed in 32.7 % of the patients (Table 1).

Table 1

Failure	Number of patients	%
No	37	67.3
Yes	18	32.7
Total	55	100

In the present study, 16.4 % of patients were under 5 years of age, 47.3 % were aged between 5 to 10 years and 36.4 % were aged between 10 and 15 years. Mean age of the patients was 9.2 ± 2.6 years (range, 4 to 15 years). Age distribution was not significantly different between patients with and without fracture reduction failure (p-value = 0.76).

Boys were 81.8 % of the study population. Gender distribution was not significantly different between patients with and without fracture reduction failure (p-value = 0.34).

Mean three-point index immediately after reduction was 0.79 ± 0.01 and 0.80 ± 0.01 among those without and with reduction failure, p-value = 0.26. Further follow-up indices follow at 2 weeks among those without and with reduction failure were (0.81 ± 0.01 vs 0.79 ± 0.01 , p-value < 0.05), at 4 weeks among those without and with reduction failure (0.81 ± 0.02 vs 0.78 ± 0.02 , p-value < 0.05), and at 6 weeks among those without and with reduction failure (0.82 ± 0.04 vs 0.77 ± 0.02 , p-value < 0.05); mean TPI was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure (Table 2).

It was observed that immediately after reduction among those without and with failure, 22.2 % and 45.9 % had three-point index < 0.8, and at subsequent follow-ups at 2 weeks (16.7 % vs 59.5 %, p-value < 0.05) at 4 weeks (27.8 % vs 89.2 %, p-value < 0.01) and 6 weeks (44.4 % vs 94.6 %, p-value < 0.01); there was a significantly lower proportion of patients who had three-point index < 0.8 among those with reduction failure as compared to those without reduction failure (Table 3).

Table 2

Comparison of mean three-point index between patients with and without fracture reduction failure

Three-point index	No Failure		Failure		<i>p</i> -value*
	Mean	SD	Mean	SD	
Immediately after reduction	0.79	0.01	0.80	0.01	0.26
2 weeks	0.79	0.01	0.81	0.01	< 0.05
4 weeks	0.78	0.02	0.81	0.02	< 0.05
6 weeks	0.77	0.02	0.82	0.04	< 0.05

* – analysed using independent t test.

Table 3

Comparison of three-point index between patients with and without fracture reduction failure

Follow-up	Three-Point Index	No Failure		Failure		Total		<i>p</i> -value*
		N	%	N	%	N	%	
Immediately after reduction	< 0.8	17	45.90	4	22.20	21	38.20	0.89
	> 0.8	20	54.10	14	77.80	34	61.80	
2 weeks	< 0.8	22	59.50	3	16.70	25	45.50	< 0.05
	> 0.8	15	40.50	15	83.30	30	54.50	
4 weeks	< 0.8	33	89.20	5	27.80	38	69.10	< 0.01
	> 0.8	4	10.80	13	72.20	17	30.90	
6 weeks	< 0.8	35	94.60	8	44.40	43	78.20	< 0.01
	> 0.8	2	5.40	10	55.60	12	21.80	
Total		37	100	18	100	55	100	

* – analysed using chi-square test.

Mean CI immediately after reduction was 0.80 ± 0.01 and 0.81 ± 0.01 among those with and without reduction failure, respectively (p -value = 0.07). Further follow-up indices were at 2 weeks (0.80 ± 0.01 vs 0.79 ± 0.01 , p -value < 0.01), at 4 weeks (0.81 ± 0.02 vs 0.78 ± 0.01 , p -value < 0.05), and at 6 weeks (0.82 ± 0.04 vs 0.78 ± 0.02 , p -value < 0.05); mean CI was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure (Table 4).

Table 4

Comparison of mean cast index between patients with and without fracture reduction failure

Cast Index	No Failure		Failure		<i>p</i> -value*
	Mean	SD	Mean	SD	
Immediately after reduction	0.80	0.01	0.81	0.01	0.07
2 weeks	0.79	0.01	0.80	0.01	< 0.01
4 weeks	0.78	0.01	0.81	0.02	< 0.05
6 weeks	0.78	0.02	0.82	0.04	< 0.05

* – analysed using independent t test.

It was observed that immediately after reduction, those without and with failure, 27.8 % and 40.5 % respectively, had cast index < 0.8 and at subsequent follow-ups the rate was at 2 weeks (33.3 % vs 67.6 %, p -value < 0.05), at 4 weeks (44.4 % vs 94.6 %, p -value < 0.01) and at 6 weeks (44.4 % vs 94.6 %, p -value < 0.01); there was a significantly lower proportion of patients who had cast index < 0.8 among those with reduction failure as compared to those without reduction failure (Table 5).

Table 5

Comparison of cast index between patients with and without fracture reduction failure

Follow-up	Cast Index	No Failure		Failure		Total		<i>p</i> -value*
		N	%	N	%	N	%	
Immediately after reduction	< 0.8	15	40.50	5	27.80	20	36.40	0.35
	> 0.8	22	59.50	13	72.20	35	63.60	
2 weeks	< 0.8	25	67.60	6	33.30	31	56.40	< 0.05
	> 0.8	12	32.40	12	66.70	24	43.60	
4 weeks	< 0.8	35	94.60	8	44.40	43	78.20	< 0.01
	> 0.8	2	5.40	10	55.60	12	21.80	
6 weeks	< 0.8	35	94.60	8	44.40	43	78.20	< 0.01
	> 0.8	2	5.40	10	55.60	12	21.80	
Total		37	100	18	100	55	100	

* – analysed using chi-square test.

Mean pain score according to VAS (Visual Analog Scale) immediately after reduction was 6.7 ± 0.5 and 6.8 ± 0.6 , p -value 0.31 among those with and without reduction failure, respectively. At further follow ups it was at 2 weeks (5.5 ± 0.9 vs 4.9 ± 0.5 , p -value < 0.05), at 4 weeks (3.8 ± 1.3 vs 2.5 ± 0.7 , p -value < 0.01), and at 6 weeks (2.5 ± 1.2 vs 1.4 ± 0.6 , p -value < 0.05); mean VAS score was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure (Table 6).

Table 6

Comparison of mean pain VAS score between patients with and without fracture reduction failure

VAS	No Failure		Failure		p-value*
	Mean	SD	Mean	SD	
Immediately after reduction	6.7	0.5	6.8	0.6	0.31
2 weeks	4.9	0.6	5.5	0.9	< 0.05
4 weeks	2.5	0.7	3.8	1.3	< 0.01
6 weeks	1.4	0.6	2.5	1.2	< 0.05

* – analysed using independent t test.

It was observed that at 2 weeks the area under curve (AUC) for cast index and three-point index was 0.72 and 0.85, respectively. At 4 weeks, the area under curve for cast index and three-point index was 0.77 and 0.84, respectively, and at 6 weeks it was 0.74 and 0.86, respectively (Table 7, Fig. 3).

Thus, in the present study, CI and TPI had similar predictability for fracture reduction failure.

Table 7

Prediction of fracture reduction failure based on three-point index and cast index

Test Result Variable	Area under curve	Std. Error	Asymptotic 95 % Confidence Interval	
			Lower Bound	Upper Bound
Cast index 2 WKS	0.72	0.084	0.561	0.888
Three-point index 2 WKS	0.85	0.054	0.743	0.956
Cast index 4 WKS	0.77	0.075	0.624	0.917
Three-point index 4 WKS	0.84	0.057	0.732	0.957
Cast index 6 WKS	0.84	0.057	0.734	0.96
Three-point index 6 WKS	0.86	0.051	0.76	0.959

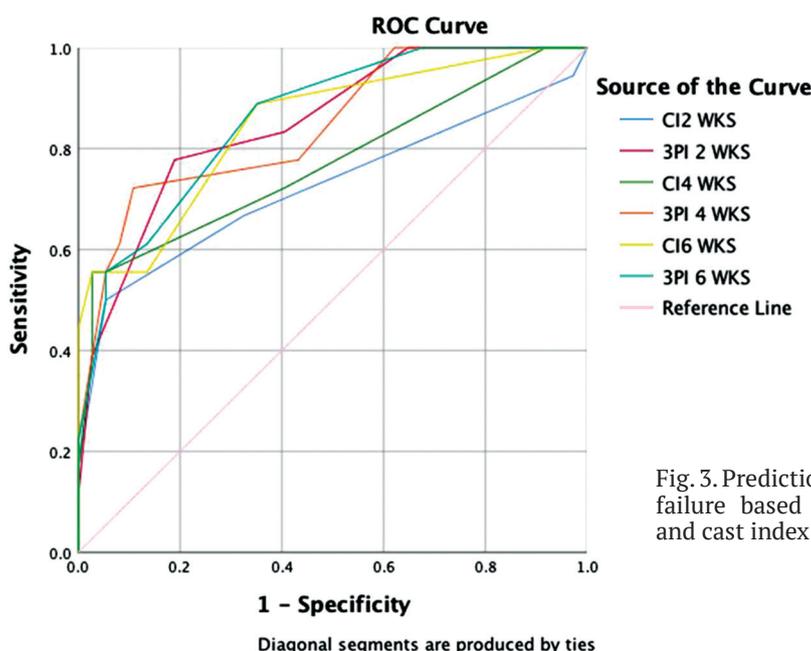


Fig. 3. Prediction of fracture reduction failure based on three-point index and cast index

DISCUSSION

Fracture reduction failure rate

In 55 patients of the study, fracture reduction failure was observed in 32.7 % which was similar to the finding observed in the study done by E. Alagöz et al. The study investigated the factors affecting the loss of reduction in pediatric diaphyseal forearm fractures and compared the three-point index (TPI) with the cast index,

padding index, Canterbury index and gap index. In their study, 52 out of 159 patients (32.7 %) experienced loss of reduction during the follow-up [8]. Other studies showed different results in comparison to our study. E. Ajmera et al. assessed the rate of re-displacement in pediatric forearm fractures treated by cast by calculating the cast index. In their study, re-displacement was seen in 10 % of the cases [9]. In the study by A.K. Sipani et al., out of 69 distal forearm fractures 7 (10 %) were re-displaced and were re-manipulated [10]. D. Ravier et al. assessed which index is the most reliable in assessing cast adequacy in preventing re-displacements in a pediatric population. They reported loss of reduction in 54.8 % of the fractures [11].

The failure rates depend upon a number of factors which are beyond our scope of study. R. Arora et al. analyzed the role of risk factors and above casting indices in predicting significant re-displacement of pediatric forearm fractures treated by closed reduction and cast. In their study, thirteen (11.5 %) patients had significant re-displacement; all of them required re-manipulation [12].

Three-point index

It was observed that the mean three-point index immediately after reduction was 0.79 ± 0.01 and 0.80 ± 0.01 among those without and with reduction failure, respectively, p -value = 0.26 and at further follow ups at 2 weeks (0.81 ± 0.01 vs 0.79 ± 0.01 , p -value < 0.05), 4 weeks (0.81 ± 0.02 vs 0.78 ± 0.02 , p -value < 0.05), and 6 weeks (0.82 ± 0.04 vs 0.77 ± 0.02 , p -value < 0.05); mean three-point index was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure.

Our findings were similar to the studies done by P. Kharbamon et al., E. Alagöz et al., S. Iltar et al., R. Arora et al., which also concluded that if the three-point index is more than 0.8 than there was requirement of re-manipulation.

In the study by P. Kharbamon et al., the three-point index changed insignificantly from 0.81 ± 0.08 at first week post-operatively to 0.77 ± 0.18 six weeks post-operatively [13].

In the study by E. Alagöz et al., 78.8 % of those with loss of reduction had three-point index ≥ 0.8 , while only 15.9 % among those without loss of reduction had the three-point index ≥ 0.8 . This association was statistically significant (p -value < 0.01). Although the accuracy of the three-point index was higher than the other parameters, the authors concluded that no parameter alone could provide a definite prediction [8].

In their study, S. Iltar et al. compared the three-point index with the cast, padding, and Canterbury indices and reported that three point index's sensitivity and specificity were higher than all other indices [14].

In a recent study, S. Asadollahi et al. found that cast, padding, gap and three-point indices all have a strong correlation with re-displacement [15].

Cast index

The cut-off level of cast index as given by H.Q. Sheikh et al. [16] was 0.77 for re-displacement and 0.92 for second procedure by U.K. Debnath et al. [17], whereas in our study this level was 0.8. The probable reason for this difference may be the difference in padding material used by us compared to their study. E.R. Bohm et al. found no difference in re-displacement rates of below elbow versus above elbow casts based on cast index above or below 0.70 [18]. H.Q. Sheikh et al. hypothesized that cast index of less than 0.8 is more difficult to achieve in the proximal forearm but that this does not necessarily adversely affect the risk of fracture re-displacement.

This is based on the fact that the proximal forearm has more soft tissue as compared with the distal forearm and therefore a cast that is more elliptical in cross section is less likely. However, a less elliptical proximal forearm cast (i.e., one with a higher cast index) may still provide adequate three-point fixation. Though not investigated in the present study, weight of the children also has an effect on the cast index. The study by A.S. Kamat et al. concluded that in addition to obesity, excessive padding and soft tissue swelling could allow re-displacement [19]. Similar observations were made by A. Malviya et al. who suggested that in young normally chubby children there is very little control over this otherwise useful tool [20].

In the present study, mean cast index immediately after reduction was 0.80 ± 0.01 and 0.81 ± 0.01 among those with and without reduction failure, p -value = 0.07. Further follow ups at 2 weeks (0.80 ± 0.01 vs 0.79 ± 0.01 , p -value < 0.01), 4 weeks (0.81 ± 0.02 vs 0.78 ± 0.01 , p -value < 0.05), and 6 weeks (0.82 ± 0.04 vs 0.78 ± 0.02 , p -value < 0.05), showed that the mean cast index was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure.

R. Shaw et al. reported that the mean cast index of the re-displacement group was 0.84, which significantly differs ($p < 0.001$) from the control group at 0.68 [21]. In another study by V. Agarwala et al., the mean cast index was 0.72 for distal forearm fractures. Mean cast index in displaced distal fractures was calculated to be 0.85. Mean cast index for un-displaced distal fractures was 0.7. Out of 83 distal forearm fractures

9 were re-displaced and were re-manipulated while 4 (out of 9) had to undergo operative treatment [22]. In the study by A. Ajmera et al., the mean cast index in the proximal, middle and distal forearm was 0.92, 0.86 and 0.80 respectively. Re-displacement was seen in only 3 (10 %) cases with cast index of 0.75, 0.97 and 1.004 and the mean cast index in these re-displacement cases was 0.908 (range 0.75 to 1.004). The change in cast index at 2, 4 and 6 weeks was not significantly different. Re-displacement was in one case of distal forearm fracture and two cases were of middle forearm fracture. This showed that the re-displacement rate is not associated with the level of fractures, but is directly proportional to cast index: the higher is the cast index, the higher is the chance of re-displacement [9].

VAS pain score

In the present study, mean VAS score immediately after reduction was 6.7 ± 0.5 and 6.8 ± 0.6 , p -value 0.31 among those with and without reduction failure. Further follow ups at 2 weeks (5.5 ± 0.9 vs 4.9 ± 0.5 , p -value < 0.05), 4 weeks (3.8 ± 1.3 vs 2.5 ± 0.7 , p -value < 0.01), and 6 weeks (2.5 ± 1.2 vs 1.4 ± 0.6 , p -value < 0.05) showed that the mean VAS score was significantly higher in those with reduction failure as compared to those without failure.

To the best of our knowledge, no previous study has assessed pain after successful closed reduction in distal both-bone forearm fractures.

Limitations

There are a few limitations of our study: We could not observe the patients for a longer period of time to know re-modelling in the long term. We did not take in to consideration the severity of fracture, type of anesthesia used (conscious sedation versus General Anesthesia) and the fracture configuration while assessing the outcomes. We also did not collect information about anthropometric parameters like child weight and diameter of the forearm.

CONCLUSION

Based on the results of our study, we conclude that both three-point index and cast index were found to be significantly higher in patients with reduction failure. Based on the area under curve, cast index and three-point index had similar predictability for fracture and reduction failure. Pain was significantly higher in patients with reduction failure. Thus, the three-point index and cast index are clinically useful tools to assess the quality of cast molding following closed reduction of pediatric forearm fractures and to predict re-displacement in distal forearm fractures.

Conflict of interest Not declared.

Funding Not declared.

REFERENCES

1. Naranje SM, Erali RA, Warner WC Jr, Sawyer JR, Kelly DM. Epidemiology of Pediatric Fractures Presenting to Emergency Departments in the United States. *J Pediatr Orthop.* 2016;36(4):e45-e48. doi: 10.1097/BPO.0000000000000595
2. Joeris A, Lutz N, Wicki B, Slongo T, Audigé L. An epidemiological evaluation of pediatric long bone fractures - a retrospective cohort study of 2716 patients from two Swiss tertiary pediatric hospitals. *BMC Pediatr.* 2014;14:314. doi: 10.1186/s12887-014-0314-3
3. Ryan LM, Teach SJ, Searcy K, Singer SA, Wood R, Wright JL, Chamberlain JM. Epidemiology of pediatric forearm fractures in Washington, DC. *J Trauma.* 2010;69(4 Suppl):S200-S205. doi: 10.1097/TA.0b013e3181f1e837
4. Bhatia M, Housden PH. Re-displacement of paediatric forearm fractures: role of plaster moulding and padding. *Injury.* 2006;37(3):259-268. doi: 10.1016/j.injury.2005.10.002
5. Mutimer J, Devane P, Horne J, Kamat A. The cast index: a simple radiological predictor of plaster cast failure in paediatric distal forearm fractures. *Orthop Procs.* 2010;92-B(SUPP_IV):598-598. doi: 10.1302/0301-620X.92BSUPP_IV.0920598a
6. Alemdaroğlu KB, İltar S, Aydoğan NH, et al. Three-point index in predicting redisplacement of extra-articular distal radial fractures in adults. *Injury.* 2010;41(2):197-203. doi: 10.1016/j.injury.2009.08.021
7. Friberg KS. Remodelling after distal forearm fractures in children. III. Correction of residual angulation in fractures of the radius. *Acta Orthop Scand.* 1979;50(6 Pt 2):741-749. doi: 10.3109/17453677908991304
8. Alagöz E, Güleç MA. Factors affecting re-displacement in pediatric forearm fractures and the role of cast indices. *Jt Dis Relat Surg.* 2020;31(1):95-101. doi: 10.5606/ehc.2020.71523
9. Ajmera A, Jain S, Jain M. Evaluation of Cast Index in Predicting the Outcome of Pediatric Forearm Fractures. *Orthop JIMPC.* 2020;26(1):30-33. doi: 10.5281/zenodo.3969791
10. Sipani AK, Agarwala V, Dhurwe A. Cast index in predicting outcome of pediatric forearm fractures. *Int J Orthop Sci.* 2020;6(2):10-14. doi: 10.22271/ortho.2020.v6.i2a.2010
11. Ravier D, Morelli I, Buscarino V, et al. Plaster cast treatment for distal forearm fractures in children: which index best predicts the loss of reduction? *J Pediatr Orthop B.* 2020;29(2):179-186. doi: 10.1097/BPB.0000000000000678
12. Arora R, Mishra P, Aggarwal AN, et al. Factors Responsible for Redisplacement of Pediatric Forearm Fractures Treated by Closed Reduction and Cast: Role of casting indices and three point index. *Indian J Orthop.* 2018;52(5):536-547. doi: 10.4103/ortho.IJOrtho_382_17

13. Kharbamon P, Sheth BA, Pawar P, et al. Importance of calculating various casting indices in predicting radiological outcomes of paediatric forearm fractures. *Int J Res Orthop*. 2020;6(5):1016-1021. doi: 10.18203/issn.2455-4510. IntJResOrthop20203724
14. Iltar S, Alemdaroglu KB, Say F, Aydoğan NH. The value of the three-point index in predicting redisplacement of diaphyseal fractures of the forearm in children. *Bone Joint J*. 2013;95-B(4):563-567. doi: 10.1302/0301-620X.95B4.31143
15. Asadollahi S, Pourali M, Heidari K. Predictive factors for re-displacement in diaphyseal forearm fractures in children-role of radiographic indices. *Acta Orthop*. 2017;88(1):101-108. doi: 10.1080/17453674.2016.1255784
16. Sheikh HQ, Malhotra K, Wright P. Cast index in predicting outcome of proximal pediatric forearm fractures. *Indian J Orthop*. 2015;49(4):398-402. doi: 10.4103/0019-5413.159609
17. Debnath UK, Guha AR, Das S. Distal forearm fractures in children: Cast index as predictor of re-manipulation. *Indian J Orthop*. 2011;45(4):341-346. doi: 10.4103/0019-5413.80322
18. Bohm ER, Bubbar V, Yong Hing K, Dzus A. Above and below-the-elbow plaster casts for distal forearm fractures in children. A randomized controlled trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(1):1-8. doi: 10.2106/JBJS.E.00320
19. Kamat AS, Pierse N, Devane P, et al. Redefining the cast index: the optimum technique to reduce redisplacement in pediatric distal forearm fractures. *J Pediatr Orthop*. 2012;32(8):787-91. doi: 10.1097/BPO.0b013e318272474d
20. Malviya A, Tsintzas D, Mahawar K, et al. Gap index: a good predictor of failure of plaster cast in distal third radius fractures. *J Pediatr Orthop B*. 2007;16(1):48-52. doi: 10.1097/01.bpb.0000236232.57269.ec
21. Shaw R, Dutta PK, Chandra M, et al. Is Gap Index Better Than Cast Index as a Predictor of Redisplacement of Paediatric Forearm and Extra-Articular Distal Radius Fracture Treated by Plaster Casting. *J Evolution Med Dent Sci*. 2021;10(5):258-264. doi: 10.14260/jemds/2021/58
22. Agarwala V, Newme K, Dhar A. Re-displacement and cast index in distal forearm fractures in children. *Int J Orthop Sci*. 2022;8(1):737-740. doi: 10.22271/ortho.2022.v8.i1j.3093

The article was submitted 20.07.2024; approved after reviewing 30.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Статья поступила 20.07.2024; одобрена после рецензирования 30.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

Information about the authors:

Kuljit Kumar — Professor, Department of Orthopedics, koolguy0062008@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0007-6462-4102>;

Chetan Katariya — DNB Resident, Department of Orthopedics, katariyachetan96@gmail.com;

Mohit Jindal — Associate Professor, Department of Orthopedics, drmohitjindalortho@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1699-456X>;

Pranav Gupta — Assistant Professor, Department of Orthopedics, pranavchd88@gmail.com.

Научная статья

УДК 616-053.2:616.831-009.11-02:618.3/5

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-636-643>



Основные этиологические факторы и коморбидная патология тяжелых форм детского церебрального паралича

В.В. Евреинов^{1✉}, Т.А. Жирова², Я.В. Зуева¹

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Уральский институт травматологии и ортопедии имени В.Д. Чаклина, Екатеринбург, Россия

Автор, ответственный за переписку: Вадим Викторович Евреинов, Evreinov2020@mail.ru

Аннотация

Введение. Наибольшее количество факторов, способствовавших развитию детского церебрального паралича (ДЦП), относятся к пре- и интранатальному периодам. Преждевременные роды и низкий вес при рождении являются наиболее важными предикторами ДЦП, сопряжены со стойкими дефектами головного мозга, двигательными расстройствами.

Цель работы — оценить основные этиологические факторы тяжелых форм ДЦП и коморбидную патологию детей с выраженными двигательными расстройствами.

Материалы и методы. Ретроспективное обсервационное исследование включало 170 пациентов с тяжелыми формами церебрального паралича, разделённых на две группы (по 85 человек) в зависимости от двигательных расстройств: GMFCS IV, GMFCS V. Оценивали перинатальные факторы риска ДЦП, корреляционные связи между перинатальными факторами риска ДЦП, выраженными моторными нарушениями и росто-весовыми показателями, коморбидную патологию детей на момент поступления в травматолого-ортопедический стационар.

Результаты. Пренатальные факторы риска в 71 % случаев были ответственны за развитие ДЦП у детей. В группе GMFCS IV срок гестации имел обратную корреляционную связь с преждевременными родами ($R = -0,53$; $R_2 = 28$ %). В группе GMFCS V расстройства, обусловленные укорочением срока беременности, были взаимосвязаны с длительностью антенатального периода ($R = -0,79$; $R_2 = 62$ %), а также прямо коррелировали с родоразрешениями путем кесарева сечения ($R = 0,58$; $R_2 = 34$ %). Среди коморбидной патологии наиболее часто выявляли заболевания глаз и нарушения психологического развития.

Обсуждение. Низкие росто-весовые показатели пациентов были обусловлены коморбидной патологией, а не фенотипическими конституциональными особенностями. Представляется логичным обратная корреляционная связь нарушений, обусловленных сроком гестации, малой массой тела при рождении, с длительностью беременности, риском развития дыхательных расстройств, и прямая корреляция с родоразрешениями путем кесарева сечения. Тяжелые сопутствующие заболевания чаще диагностировали у пациентов с GMFCS V, что свидетельствует о более масштабных перинатальных катастрофах в ЦНС и взаимосвязи сформировавшейся патологии с выраженными двигательными расстройствами.

Заключение. Основные факторы риска развития ДЦП у пациентов с выраженными моторными нарушениями GMFCS IV–V связаны с пре- и интранатальными периодами. Коморбидная патология пациентов с тяжелыми формами ДЦП обусловлена грубыми повреждениями головного мозга и двигательными расстройствами, сформировавшимися на этом фоне.

Ключевые слова: этиологические факторы, коморбидная патология, дети, ДЦП

Для цитирования: Евреинов В.В., Жирова Т.А., Зуева Я.В. Основные этиологические факторы и коморбидная патология тяжелых форм детского церебрального паралича. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):636-643. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-636-643. EDN: BZPTTN.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-636-643>



Main etiological factors and comorbid pathology in severe cerebral palsy

V.V. Evreinov^{1✉}, T.A. Zhirova², Ya.V. Zueva¹

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Ural Institute of Traumatology and orthopedics named after V.D. Chaklin, Ekaterinburg, Russian Federation

Corresponding author: Vadim V. Evreinov, Evreinov2020@mail.ru

Abstract

Introduction The largest number of factors contributing to the development of cerebral palsy (CP) relate to the pre- and intranatal periods. Premature birth and low birth weight are the most important predictors of cerebral palsy and are associated with persistent brain and motor disorders.

Purpose To evaluate the main etiological factors of severe cerebral palsy and comorbid pathology in children with severe motor disorders.

Material and methods A retrospective observational study included 170 patients with severe forms of cerebral palsy, divided into two groups (85 subjects each) depending on motor disorders: GMFCS IV, GMFCS V. Perinatal risk factors for severe cerebral palsy were assessed, correlations between perinatal risk factors for expressed movement disorders and height/weight indicators, comorbid pathology in children at the time of admission to the trauma and orthopaedic hospital.

Results Prenatal risk factors were responsible for the development of cerebral palsy in children in 71 % of cases. In the GMFCS IV group, gestational age had an inverse correlation with preterm birth ($R = -0.53$; $R^2 = 28\%$). In the GMFCS V group, disorders caused by a shorter gestational age were interrelated with the duration of the antenatal period ($R = -0.79$; $R^2 = 62\%$), and also directly correlated with delivery by cesarean section ($R = 0.58$; $R^2 = 34\%$). Among the comorbid pathologies, eye diseases and psychological development disorders were most often detected.

Discussion Low height/weight parameters of patients were due to comorbid pathology, rather than phenotypic constitutional features. Inverse correlation between the disorders caused by the gestational age, low birth weight and duration of pregnancy, risk of developing respiratory disorders, and a direct correlation with cesarean section seem logical. Severe comorbid diseases were more frequently diagnosed in patients with GMFCS V, indicating more extensive perinatal catastrophes in the central nervous system and the relationship between the developed pathology and severe motor disorders.

Conclusions The main risk factors for the development of cerebral palsy in patients with severe GMFCS IV–V motor impairments are associated with the pre- and intranatal periods. Comorbid pathology of patients with severe forms of cerebral palsy is caused by severe brain damage and movement disorders that have developed against this background.

Keywords: etiological factors, comorbid pathology, children, cerebral palsy

For citation: Evreinov VV, Zhirova TA, Zueva YaV. Main etiological factors and comorbid pathology in severe cerebral palsy. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):636-643. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-636-643

ВВЕДЕНИЕ

Наиболее частыми этиологическими факторами, способствующими развитию тяжелых спастических форм детского церебрального паралича (ДЦП), являются асфиксия, геморрагический или ишемический инсульт, инфекции, пороки развития центральной нервной системы (ЦНС), родовая травма [1, 2]. При этом преждевременные роды (23–27 недель гестации) и низкий вес при рождении (менее 2500 г) являются наиболее важными предикторами ДЦП, сочетаются со стойкими дефектами головного мозга (кистозные или полостные), грубыми двигательными расстройствами, дисфагией, неонатальными судорогами и дыхательной недостаточностью [2–4]. Заболевания матери (21–30,5 %) до зачатия (системные заболевания, прием психотропных препаратов и т.д.) и во время беременности (транзиторная гипотироксинемия, гестационный диабет, маточные кровотечения, преэклампсия и т.д.) также повышают риск развития церебрального паралича у ребенка [5, 6].

Низкие росто-весовые показатели пациентов с тяжелыми моторными расстройствами на фоне ДЦП, выявляемые при рождении, сохраняются с возрастом, становятся наиболее заметными у подростков и могут достигать z-показателей меньше –2 [2]. Помимо этого, у таких детей чаще выявляются эпилепсия (35–62 %), умственная отсталость (40–70 %), психические нарушения (более 50 %), дизартрия (40 %), нарушение зрения (от 40 до 75 %), потеря слуха (4–13 %), орофарингеальная дисфагия (40–90 %), недостаточность питания (60–90 %), заболевания мочеполовой системы (до 60 %), хронический болевой синдром (32–74 %) [7, 8].

Таким образом, понимание этиологических причин церебрального паралича позволяет проводить прегравидарную подготовку женщин к беременности, осуществлять потенциальную первичную профилактику неврологических расстройств у новорожденных, тогда как представление о вероятной коморбидной патологии делает возможным наметить раннюю терапию детей с ДЦП, определять стратегию реабилитации и план социальной интеграции таких пациентов.

Цель работы — оценить основные этиологические факторы тяжелых форм ДЦП и коморбидную патологию детей с выраженными двигательными расстройствами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Ретроспективное наблюдательное исследование включало 170 пациентов (60 девочек и 110 мальчиков) с тяжелыми формами церебрального паралича, спастическими вывихами (подвывихами) бедер, по поводу чего проводили реконструктивные или паллиативные вмешательства на тазобедренных суставах.

Работа выполнена в НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова в период с октября 2021 г. по январь 2024 г.

Критерии включения:

- возраст от 5 до 17 лет;
- тяжелые формы ДЦП (IV–V функциональный уровень по GMFCS);
- одно- или двухсторонние спастические вывихи (подвывихи) бедер;
- реконструктивные или паллиативные вмешательства на тазобедренном суставе.

Пациенты разделены на две группы по 85 человек (30 девочек и 55 мальчиков) в каждой в соответствии с классификацией двигательных расстройств GMFCS (*англ.*: Gross Motor Function Classification System). Дети с выраженными моторными нарушениями, неспособные контролировать положение тела и передвигаться без помощи родителей (опекунов), отнесены к V функциональному уровню (группа GMFCS V), тогда как больные, использовавшие для перемещения технические средства реабилитации и самостоятельно сидящие в кресле-каталке, — к IV уровню (группа GMFCS IV) [9].

Возрастные и росто-весовые характеристики групп пациентов представлены в таблице 1.

Таблица 1

Возрастные и росто-весовые показатели пациентов в группах, Ме [Q1; Q3]

Показатели		Группа GMFCS IV	Группа GMFCS V	P
Возраст	гестационный, мес.	31 [28; 32]	31 [28; 36]	0,06
	на момент оперативного лечения, лет	9 [6; 11]	9 [7; 11]	0,47
Масса, кг	при рождении	1,5 [1,3; 1,8]	1,7 [1,3; 2,7]	0,04
	на момент госпитализации	22 [17; 29]	18 [15; 23]	0,001
Рост, см	при рождении	41 [39; 43]	41 [36; 48]	0,13
	на момент госпитализации	*122 (16)	*120 (16)	0,34
Индекс Кетле, кг/м ²	при рождении	9,4 [8,4; 10,8]	10,1 [9,1; 11,6]	0,03
	на момент госпитализации	15,5 [13,9; 17,7]	13,3 [12,4; 15,1]	< 0,001

Примечание: Ме — медиана; [Q1; Q3] — межквартильный интервал; * — среднее значение и стандартное отклонение (СО)

В группе GMFCS IV спастическая диплегия (болезнь Литтла) выявлена у 57 (67 %) человек, спастическая тетраплегия у 28 (33 %) человек, тогда как в группе GMFCS V у 16 (19 %) и 69 (81 %) пациентов соответственно ($p < 0,001$) [10].

Выраженность дисфагии оценивали по классификации EDACS (англ.: Eating and Drinking Ability Classification System), определяющей способность принимать пищу и жидкость в повседневной жизни [11]. В группе GMFCS IV 24 (28 %) ребенка были отнесены к I уровню, 36 (42 %) — ко II уровню, 25 (29 %) — к III уровню, 2 (2 %) — к IV уровню, тогда как в группе GMFCS V: 12 (14 %), 19 (22 %), 38 (45 %), 16 (19 %), соответственно, и статистически значимо отличались ($p < 0,001$).

Критерии оценки:

- перинатальные факторы риска тяжелых форм ДЦП;
- корреляционные связи между перинатальными факторами риска ДЦП, выраженными двигательными расстройствами по GMFCS, росто-весовыми показателями детей;
- коморбидная патология на момент поступления в травматолого-ортопедический стационар.

Статистическую обработку материала осуществляли с помощью программы Stat Plus 7. При подчинении числовых значений критериям гауссовского распределения (Колмогорова – Смирнова / Лиллифорса), количественные признаки описывали с помощью среднего и стандартного отклонения (СО). В случаях, когда оцениваемые показатели не отвечали параметрам нормального распределения, рассчитывали медиану (Me) и межквартильный интервал [Q1; Q3]. Для сравнения групп применяли однофакторный дисперсионный анализ, либо непараметрический U-критерий Манна – Уитни. При сравнении долей использовали критерий χ^2 . Во всех случаях уровень значимости α , при котором отвергалась нулевая гипотеза, был принят равным 0,05. Наличие связи между переменными определяли по коэффициенту парной линейной корреляции (R), а силу связи — по шкале Чеддока. Долю дисперсии оценивали по коэффициенту детерминации (R²). Исследование одобрено этическим комитетом учреждения (протокол № 2 (70) от 21 октября 2021 г.) и проведено в соответствии с этическими стандартами, изложенными в Хельсинкской декларации.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Пренатальные факторы риска в 71 % случаев были ответственны за развитие церебрального паралича у детей, тогда как интранатальные — в 21 %, а постнатальные — в 8 % случаев. К основным предикторам ДЦП внутриутробного периода относились хирургические или самопроизвольные аборты в анамнезе матери, кровотечения и анемия во время беременности, гестозы, инфекции, передающиеся преимущественно половым путем (ИППП), аномалии органов таза, патологические состояния плода. Наиболее значимыми этиологическими факторами во время родов являлись малый срок гестации и вес при рождении, родоразрешения посредством кесарева сечения, дыхательные и сердечнососудистые расстройства у новорожденного. Среди факторов, которые могли привести к повреждению головного мозга ребенка во внеутробном периоде, значились сепсис и гемолитическая болезнь (табл. 2).

Таблица 2

Перинатальные факторы риска ДЦП у детей в группах

Факторы риска ДЦП (код по МКБ 10)	Группа				P
	GMFCS IV, n = 85		GMFCS V, n = 85		
	абс.	%	абс.	%	
Пренатальные					
Нарушения свертываемости (D68)	3	3,5	0		0,08
Беременность с абортным исходом в анамнезе (O00–O08)	41	48,2	36	42,3	0,44
Отеки, протеинурия и гипертензивные расстройства во время беременности (O10–O16)	35	41,2	45	52,9	0,12
Кровотечение в ранние сроки беременности (O20)	49	57,6	45	52,9	0,53
Инфекция мочеполовых путей при беременности (O23)	9	10,5	12	14,1	0,48
Многоплодная беременность (O30)	14	16,5	5	5,9	0,02
Неправильное предлежание плода (O32)	1	1,2	6	7	0,05
Установленная или предполагаемая аномалия органов таза матери (O34)	14	16,5	11	12,9	0,51
Установленные или предполагаемые патологические состояния плода (O36)	14	16,5	10	11,7	0,37
Многоводие (O40)	6	7	0		0,01
Нарушения со стороны амниотической жидкости и плодных оболочек (O41)	6	7	6	7	1

Перинатальные факторы риска ДЦП у детей в группах

Факторы риска ДЦП (код по МКБ 10)	Группа				P
	GMFCS IV, n = 85		GMFCS V, n = 85		
	абс.	%	абс.	%	
Предлежание плаценты (O44)	2	2,4	6	7	0,14
Преждевременная отслойка плаценты (O45)	17	20	15	17,6	0,69
Инфекционные и паразитарные болезни матери, осложняющие беременность (O98)	11	12,9	14	16,5	0,51
Анемия, осложняющая беременность (O99.0)	16	18,8	19	22,3	0,57
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ, осложняющие беременность (O99.2)	3	3,5	7	8,2	0,19
Внутриутробная гипоксия (P20)	13	15,3	6	7	0,08
Болезни органов дыхания, осложняющие беременность (O99.5)	17	20	8	9,4	0,05
Восстановление и сохранение детородной функции (Z31)	8	9,4	1	1,2	0,01
Проблемы, связанные с образом жизни матери (Z72)	1	1,2	2	2,4	0,56
Интранатальные					
Преждевременный разрыв плодных оболочек, начало родов после 24-часового безводного периода (O42.1)	13	15,3	11	12,9	0,66
Преждевременные роды и родоразрешение (O60)	81	95,3	68	80	0,00
Родоразрешение посредством кесарева сечения, с наложением щипцов или с применением вакуум-экстрактора (O81–O82)	64	75,3	66	77,6	0,71
Расстройства, связанные с укорочением срока беременности и малой массой тела при рождении (P07)	80	94,1	64	75,3	< 0,001
Дыхательные и сердечнососудистые нарушения, характерные для перинатального периода (P21–P29)	77	90,6	82	96,5	0,12
Внутричерепное нетравматическое кровоизлияние у плода и новорожденного (P52)	24	28,2	19	22,3	0,37
Постнатальные					
Бактериальный сепсис новорожденного (P36)	7	8,2	6	7	0,77
Гемолитическая болезнь плода и новорожденного (P55)	1	1,2	1	1,2	1

На основании корреляционного анализа выявлена умеренная обратная связь между выраженностью двигательных расстройств по GMFCS и индексом массы тела на момент поступления в травматолого-ортопедический стационар ($R = -0,32$). Коэффициент детерминации (R^2) зависимой переменной (ИМТ) равнялся 10 %. Сила связи по Чеддоку среди перинатальных факторов риска ДЦП и основными моторными нарушениями либо отсутствовала, либо была очень слабой. Также не было зарегистрировано взаимосвязи в обеих группах между индексом Кетле (индекс массы тела ИМТ) при рождении и индексом массы тела при поступлении в Центр имени Илизарова.

В группе GMFCS IV срок гестации детей прямо коррелировал ($R = 0,59$; $R^2 = 35\%$) с индексом массы тела при рождении и имел обратную корреляционную связь с преждевременными родами ($R = -0,53$; $R^2 = 28\%$), риском развития дыхательных, сердечнососудистых расстройств в период новорожденности ($R = -0,43$; $R^2 = 18\%$) (табл. 3). В группе GMFCS V расстройства, обусловленные укорочением срока беременности, малой массой тела при рождении, были взаимосвязаны с длительностью антенатального периода ($R = -0,79$; $R^2 = 62\%$), а также прямо коррелировали с родоразрешениями путем кесарева сечения ($R = 0,58$; $R^2 = 34\%$) (табл. 4).

Таблица 3

Коэффициенты корреляции показателей в группе GMFCS IV, n = 85

Показатели	O60	P07	P21–P29	Срок гестации, мес.	ИМТ при рождении, кг/м ²
Преждевременные роды и родоразрешение (O60)	1				
Расстройства, связанные с укорочением срока беременности и малой массой тела при рождении (P07)	0,43	1			
Дыхательные и сердечнососудистые нарушения, характерные для перинатального периода (P21–P29)	0,24	0,23	1		
Срок гестации, мес.	-0,53	-0,35	-0,43	1	
ИМТ при рождении, кг/м ²	-0,52	-0,51	-0,19	0,59	1

Таблица 4

Коэффициенты корреляции показателей в группе GMFCS V, n = 85

Показатели	O32	O36	O40	O60	O81–82	P07	P20	Срок гестации, нед.	ИМТ при рождении, кг/м ²
Неправильное предлежание плода (O32)	1								
Установленные или предполагаемые патологические состояния плода (O36)	-0,03	1							
Многоводие (O40)	-0,05	-0,02	1						
Преждевременные роды и родоразрешение (O60)	0,03	-0,08	0,50	1					
Родоразрешение посредством кесарева сечения, с наложением щипцов или с применением вакуум экстрактора (O81–82)	0,13	0,06	-0,05	0,27	1				
Расстройства, связанные с укорочением срока беременности и малой массой тела при рождении (P07)	0,16	0,07	-0,16	0,15	0,58	1			
Внутриутробная гипоксия (P20)	0,42	0,49	-0,04	-0,02	0,12	0,14	1		
Срок гестации, мес.	-0,21	0,12	0,16	-0,20	-0,55	-0,79	-0,09	1	
ИМТ при рождении, кг/м ²	-0,19	-0,05	-0,07	-0,10	-0,28	-0,29	-0,13	0,40	1

В группах сравнения среди коморбидной патологии выявляли заболевания глаз и нарушения психологического развития, тогда как у пациентов с крайне тяжелыми двигательными расстройствами (V уровень по GMFCS) наиболее часто диагностировали болезни мочеполовой, нервной (эпилепсия, гидроцефалия и т.д.), эндокринной систем, расстройства питания и нарушения обмена веществ (табл. 5).

Таблица 5

Коморбидная патология у пациентов в группах

Коморбидная патология	Группа				P
	GMFCS IV, n = 85		GMFCS V, n = 85		
	абс.	%	абс.	%	
Болезни глаза и его придаточного аппарата	72	84,7	66	77,4	0,24
Болезни кожи и подкожной клетчатки	1	1,2	1	1,2	1
Болезни крови, кроветворных органов и отдельные нарушения, вовлекающие иммунный механизм	3	3,6	3	3,6	1
Болезни мочеполовой системы	26	30,6	56	65,8	< 0,001
Болезни нервной системы	38	44,7	52	61,2	0,03
Болезни органов дыхания	10	11,7	10	11,7	1
Болезни органов пищеварения	22	25,8	55	64,7	< 0,001
Болезни системы кровообращения	10	25,9	15	17,6	0,27
Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ	48	56,5	67	78,8	0,004
Врожденные аномалии, деформации и хромосомные нарушения	8	9,4	14	16,5	0,17
Нарушения психологического развития	76	89,4	75	88,2	0,8

ОБСУЖДЕНИЕ

В нашем исследовании наибольшее количество факторов, повышавших вероятность развития ДЦП у ребенка, относилось к периоду эмбрионального развития, что согласуется с крупными исследованиями в этой области [12–15]. Гипоксически-ишемические повреждения нейронов и внутричерепные кровоизлияния являлись причиной формирования эпилептических очагов в головном мозге, тяжелых интеллектуальных отклонений, спастической диплегии и тетраплегии, псевдобульбарных расстройств, орофарингеальной дисфагии. На этом фоне низкие росто-весовые показатели пациентов в группах, диагностируемые при рождении и сохранявшиеся с возрастом, вероятно, были обусловлены коморбидной патологией, выраженными двигательными ограничениями, низким поступлением нутриентов, дефицитом энергии, расстройством метаболизма, а не фенотипическими конституциональными особенностями [16–21].

Развитию преждевременных родов часто способствуют острые воспалительные заболевания органов малого таза женщины, аборт в анамнезе, послеоперационный рубец на матке [22, 23]. В таких случаях с целью снижения неонатальной смертности акушеры-гинекологи используют хирургические методы родоразрешения [24]. У новорожденного на фоне морфологически незрелых легких может нарушиться газообмен, развиться метаболический ацидоз, дыхательная недостаточность, что приведет к гипоксической ишемии миокарда и головного мозга ребенка [25–27]. Таким образом, представляется логичным выявленная в нашей работе обратная корреляционная связь нарушений, обусловленных сроком гестации, малой массой тела при рождении с длительностью беременности, преждевременными родами, риском развития дыхательных, сердечнососудистых расстройств и прямая корреляция с родоразрешениями путем кесарева сечения.

На основании данных Центра по контролю заболеваний США, смертность детей со сроком гестации 22–24 недели составляет 64 %, а у выживших неврологические расстройства выявляются в 43 % случаев [25, 28]. Экстремально недоношенные дети в 80 % случаев имеют поражения белого вещества головного мозга в виде перивентрикулярной лейкомаляции или последствий кровоизлияний, тогда как доношенные — дефект серого вещества [12, 15]. На этом фоне двусторонние спастические формы ДЦП фиксировали в 31,4 % случаев, умственную отсталость с IQ < 50 в 32,1 % случаев, тяжелые нарушения зрения в 12,3 % случаев [15, 29, 30]. В нашем исследовании церебральное нарушение зрения и ретинопатия недоношенных представляли собой основные заболевания глаз у детей с тяжелыми ограничениями моторных функций [31]. С равной частотой установлены и психологические расстройства, что свидетельствует о поражении схожих отделов головного мозга. При этом болезни мочеполовой, пищеварительной, эндокринной систем, расстройства питания и нарушения обмена веществ, гидроцефалию, эпилепсию чаще констатировали у пациентов с GMFCS V, что свидетельствует о более масштабных перинатальных катастрофах, произошедших в ЦНС, а также о взаимосвязи сформировавшейся патологии с выраженными двигательными расстройствами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные факторы риска развития ДЦП у пациентов с выраженными моторными нарушениями GMFCS IV–V связаны с пре- и интранатальными периодами.

Коморбидная патология пациентов с тяжелыми формами ДЦП обусловлена грубыми повреждениями головного мозга и двигательными расстройствами, сформировавшимися на этом фоне.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Brandenburg JE, Fogarty MJ, Sieck GC. A Critical Evaluation of Current Concepts in Cerebral Palsy. *Physiology* (Bethesda). 2019;34(3):216–229. doi: 10.1152/physiol.00054.2018
2. Ruiz Brunner MLM, Cuestas E, Heinen F, Schroeder AS. Growth in infants, children and adolescents with unilateral and bilateral cerebral palsy. *Sci Rep*. 2022;12(1):1879. doi: 10.1038/s41598-022-05267-y
3. Vitrikas K, Dalton H, Breish D. Cerebral Palsy: An Overview. *Am Fam Physician*. 2020;101(4):213–220.
4. Novak I, Morgan C, Adde L, et al. Early, Accurate Diagnosis and Early Intervention in Cerebral Palsy: Advances in Diagnosis and Treatment. *JAMA Pediatr*. 2017;171(9):897–907. doi: 10.1001/jamapediatrics.2017.1689
5. Abd Elmagid DS, Magdy H. Evaluation of risk factors for cerebral palsy. *Egypt J Neurol Psychiatr Neurosurg*. 2021;57(1). doi: 10.1186/s41983-020-00265-1
6. Paul S, Nahar A, Bhagawati M, Kunwar AJ. A Review on Recent Advances of Cerebral Palsy. *Oxid Med Cell Longev*. 2022;2022:2622310. doi: 10.1155/2022/2622310
7. Рябых Т.В., Томов А.Д., Попков Д.А. Особенности соматического статуса у детей с детским церебральным параличом при оперативном ортопедическом лечении. *Гений ортопедии*. 2016;(3):52–57. doi: 10.18019/1028-4427-2016-3-52-57
8. Попков Д.А., Чибиров Г.М., Кожевников В.В., Гвоздев Н.С. Многоуровневые ортопедические вмешательства у детей со спастическим параличом. *Гений ортопедии*. 2021;27(4):475–480. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-4-475-480
9. Palisano R, Rosenbaum P, Walter S, et al. Development and reliability of a system to classify gross motor function in children with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 1997;39(4):214–223. doi: 10.1111/j.1469-8749.1997.tb07414.x
10. Шалькевич Л.В. Детский церебральный паралич: использование современных классификационных систем. *Медицинские новости*. 2021;(1):19–23.
11. Sellers D, Mandy A, Pennington L, et al. Development and reliability of a system to classify the eating and drinking ability of people with cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol*. 2014;56(3):245–251. doi: 10.1111/dmcn.12352
12. Arnaud C, Ehlinger V, Delobel-Ayoub M, et al. Trends in Prevalence and Severity of Pre/Perinatal Cerebral Palsy Among Children Born Preterm From 2004 to 2010: A SCPE Collaboration Study. *Front Neurol*. 2021;12:624884. doi: 10.3389/fneur.2021.624884
13. Sadowska M, Sarecka-Hujar B, Kopyta I. Cerebral Palsy: Current Opinions on Definition, Epidemiology, Risk Factors, Classification and Treatment Options. *Neuropsychiatr Dis Treat*. 2020;16:1505–1518. doi: 10.2147/NDT.S235165

14. Fahey MC, Maclennan AH, Kretzschmar D, et al. The genetic basis of cerebral palsy. *Dev Med Child Neurol.* 2017;59(5):462-469. doi: 10.1111/dmcn.13363
15. Horber V, Sellier E, Horridge K, et al. The Origin of the Cerebral Palsies: Contribution of Population-Based Neuroimaging Data. *Neuropediatrics.* 2020;51(2):113-119. doi: 10.1055/s-0039-3402007
16. Бояринцев В.В., Евсеев М.А. *Метаболизм и нутритивная поддержка хирургического пациента: Руководство для врачей.* СПб.: Онли-Пресс; 2017:260.
17. Иванов Д.О., Строкова Т.В., Камалова А.А. и др. *Диагностика и коррекция нутритивного статуса у детей с детским церебральным параличом. Учебно-методическое пособие.* СПб.: СПбГПМУ; 2020:100. Доступно по: <https://e.lanbook.com/book/174379>. Ссылка активна на 22.03.2024.
18. Пак Л.А., Макарова С.Г., Чумбадзе Т.Р., Фисенко А.П. Нарушения нутритивного статуса и их коррекция у детей с детским церебральным параличом. *Российский педиатрический журнал.* 2019;22(1):23-27. doi: 10.18821/1560-9561-2019-22-1-23-27
19. Sousa KT, Ferreira GB, Santos AT, et al. Assessment of nutritional status and frequency of complications associated to feeding in patients with spastic quadriplegic cerebral palsy. *Rev Paul Pediatr.* 2020;38:e2018410. doi: 10.1590/1984-0462/2020/38/2018410
20. Uday S, Shaw N, Krone R, Kirk J. Hypopituitarism in children with cerebral palsy. *Arch Dis Child.* 2017;102(6):559-561. doi: 10.1136/archdischild-2016-311012
21. Costa A, Martin A, Arreola V, et al. Assessment of Swallowing Disorders, Nutritional and Hydration Status, and Oral Hygiene in Students with Severe Neurological Disabilities Including Cerebral Palsy. *Nutrients.* 2021;13(7):2413. doi: 10.3390/nu13072413
22. Condrat CE, Filip L, Gherghel M, et al. Maternal HPV Infection: Effects on Pregnancy Outcome. *Viruses.* 2021;13(12):2455. doi: 10.3390/v13122455
23. Chen X, Lu Y, Chen T, Li R. The Female Vaginal Microbiome in Health and Bacterial Vaginosis. *Front Cell Infect Microbiol.* 2021;11:631972. doi: 10.3389/fcimb.2021.631972
24. Зиядинов А.А., Сулима А.Н., Рыбалка А.Н. Причины кесарева сечения при преждевременных родах. *Таврический медико-биологический вестник.* 2015;18(1):44-47.
25. Ream MA, Lehwald L. Neurologic Consequences of Preterm Birth. *Curr Neurol Neurosci Rep.* 2018;18(8):48. doi: 10.1007/s11910-018-0862-2
26. Poryo M, Hess S, Stock L, et al. Myocardial Ischemia in a Preterm Born Baby. *Klin Padiatr.* 2023;235(1):48-49. doi: 10.1055/a-1723-8353
27. Özek E, Kersin SG. Intraventricular hemorrhage in preterm babies. *Turk Pediatri Ars.* 2020;55(3):215-221. doi: 10.14744/TurkPediatriArs.2020.66742
28. Younge N, Goldstein RF, Cotten CM. Survival and Neurodevelopment of Periviable Infants. *N Engl J Med.* 2017;376(19):1890-1891. doi: 10.1056/NEJMc1703379
29. Vitrikas K, Dalton H, Breish D. Cerebral Palsy: An Overview. *Am Fam Physician.* 2020;101(4):213-220.
30. Michael-Asalu A, Taylor G, Campbell H, et al. Cerebral Palsy: Diagnosis, Epidemiology, Genetics, and Clinical Update. *Adv Pediatr.* 2019;66:189-208. doi: 10.1016/j.yapd.2019.04.002
31. İdil ŞA, Altınbay D, Şahlı E, et al. Ophthalmologic approach to babies with cerebral visual impairment. *Turk J Pediatr.* 2021;63(1):1-10. doi: 10.24953/turkijped.2021.01.001

Статья поступила 14.03.2024; одобрена после рецензирования 21.03.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 14.03.2024; approved after reviewing 21.03.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Вадим Викторович Евреинов — кандидат медицинских наук, врач анестезиолог-реаниматолог, Evreinov2020@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0964-2718>;

Татьяна Александровна Жирова — доктор медицинских наук, врач-методист, Satokenia70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6911-0812>;

Яна Владимировна Зуева — врач травматолог-ортопед, black_boom@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0491-2070>.

Information about the authors:

Vadim V. Evreinov — Candidate of Medical Sciences, anesthesiologist-reanimatologist, Evreinov2020@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0964-2718>;

Tatyana A. Zhirova — Doctor of Medical Sciences, methodologist, Satokenia70@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-6911-0812>;

Yana V. Zueva — orthopaedic surgeon, black_boom@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0008-0491-2070>.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-644-650>

Short-term functional outcome of total hip arthroplasty for avascular necrosis of femoral head and influence of patient-related factors

Khoa V. Vu¹, Quang Nguyen², Lan T.P. Luong³, Thieu Q. Nguyen⁴, Loi B. Cao⁵, Anh T. Le⁶✉

¹ Orthopaedic and Outpatient Clinic, Vietnam-Germany Friendship Hospital, Ha Noi, Vietnam

² Ha Tinh TTH Hospital, Ha Tinh, Vietnam

³ University of Medicine & Pharmacy, Vietnam National University, Ha Noi, Vietnam

⁴ National Institute of Malariology, Parasitology, and Entomology (NIMPE), Ha Noi, Vietnam

⁵ National Institute of Malariology, Parasitology and Entomology, Ha Noi, Vietnam

⁶ Vietnam Military Medical University, Ha Noi, Vietnam

Corresponding author: Anh T. Le, anh_lt@vmmu.edu.vn

Abstract

Introduction Avascular necrosis of the femoral head (ANFH) is a phenomenon vascular supply disruption lead to death of bone cells around the femoral head. The disease is a severe health issue all over the world. Within 2 years about 80 % to 85 % of symptomatic cases will result in collapse of the femoral head. Recovery of hip function after total hip arthroplasty (THA) may be influenced by many factors that vary among different racial/ethnic groups. Most findings in this field have been from Western developed nations, and not much information from developing Asian countries is available.

This study **aimed** to determine the six-month functional outcome and patient-related factors that predict functional recovery in patients with avascular necrosis of the femoral head (ANFH) undertaking total hip arthroplasty (THA).

Methods Between January 2022 and December 2023 there were 143 patients participating in this prospective study. Demographic, medical history and clinical findings were collected from their medical records. The six-month functional outcome was evaluated using the Harris hip score (HHS). The mean age of the participants was 55.90 ± 11.49 years, and the majority (86.7 %) were male. Most patients had excellent (43.4 %) or good outcome (51.7 %).

Discussion Our study had some limitations: the length of the follow-up after surgery is short (6 months), that hospital-related factors like the type and volume of the hospital have not been analyzed. Nonetheless, previous observations suggest that most of the improvement in physical function occurs during the first six months following surgery and remains the same for a long time. However, our sample has typical demographic and clinical characteristics of patients with THA for ANFH, suggesting that determinants of the 6-month functional outcome in the current study could apply to other patients undergoing this surgery.

Results The determinants of excellent outcome were a higher preoperative HHS (odds ratio (OR): 4.369, 95 % confidence interval (CI) = 1.854 – 10.299; $p < 0.001$) and absence of comorbidity (OR: 2.440, 95 % CI = 1.071 – 5.557, $p = 0.034$). No demographic (age, gender, body mass index), medical history (using of steroids, alcohol consumption or smoking), or any other clinical parameter (stage or side of the affected hip, time until surgery) had a significant influence on functional outcome.

Conclusion Earlier surgery during functional decline and better management of comorbidity may help improve THA outcomes for patients with avascular necrosis of the femoral head.

Keywords: total hip arthroplasty, avascular necrosis of femoral head, functional recovery, Harris hip score, Vietnam

For citation: Khoa V Vu, Quang Nguyen, Lan TP Luong, Thieu Q Nguyen, Loi B Cao, Anh T Le. Short-term functional outcome of total hip arthroplasty for avascular necrosis of femoral head and influence of patient-related factors. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):644-650. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-644-650

Научная статья

УДК 616.718.4-002.4:616.728.2-77-089.843:615.036

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-644-650>

Ближайшие функциональные результаты артропластики тазобедренного сустава при аваскулярном некрозе головки бедренной кости и влияние факторов, связанных с пациентами

Khoa V. Vu¹, Quang Nguyen², Lan T.P. Luong³, Thieu Q. Nguyen⁴, Loi B. Cao⁵, Anh T. Le⁶✉¹ Orthopaedic and Outpatient Clinic, Vietnam-Germany Friendship Hospital, Ha Noi, Vietnam² Ha Tinh TTH Hospital, Ha Tinh, Vietnam³ University of Medicine & Pharmacy, Vietnam National University, Ha Noi, Vietnam⁴ National Institute of Malariology, Parasitology, and Entomology (NIMPE), Ha Noi, Vietnam⁵ National Institute of Malariology, Parasitology and Entomology, Ha Noi, Vietnam⁶ Vietnam Military Medical University, Ha Noi, Vietnam**Автор, ответственный за переписку:** Anh T. Le, anh_lt@vmmu.edu.vn

Аннотация

Введение. Аваскулярный некроз головки бедренной кости (АНГБК) — это заболевание, при котором нарушение гемодинамики приводит к гибели костных клеток вокруг головки бедренной кости. АНГБК является серьезной проблемой здравоохранения во всем мире. Разрушение головки бедренной кости в течение двух лет регистрируют в 80–85 % случаев. На восстановление функции тазобедренного сустава после тотальной артропластики может влиять множество факторов, различных для расовых/этнических групп. Большинство исследований в этой области проведено в развитых странах Запада, а информации по развивающимся странам Азии не так много.

Цель работы — прогнозирование результатов функционального восстановления пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости (АНГБК), перенесших тотальную артропластику тазобедренного сустава (ТАТС), на основе шестимесячных наблюдений и факторов, связанных с пациентами.

Материалы и методы. В проспективном исследовании за период с января 2022 года по декабрь 2023 года приняли участие 143 пациента. Демографические данные, анамнез и клинические данные получены из медицинских карт. Шестимесячные функциональные результаты оценены с использованием шкалы Харриса для тазобедренного сустава (HHS). Средний возраст участников составил ($55,90 \pm 11,49$) года, 86,7 % пациентов — мужчины. У большинства пациентов отмечены отличный (43,4 %) или хороший (51,7 %) результаты.

Результаты. Факторами, определяющими отличный результат, были более высокий предоперационный HHS (коэффициент шансов (OR): 4,369, 95 % доверительный интервал (95 % ДИ = 1,854 – 10,299; $p < 0,001$)) и отсутствие сопутствующих заболеваний (OR: 2,440, 95 % ДИ = 1,071 – 5,557, $p = 0,034$). Никакие демографические показатели (возраст, пол, индекс массы тела), анамнез (применение стероидов, употребление алкоголя или курение) и другие клинические параметры (стадия или сторона пораженного бедра, время до операции) не оказали существенного влияния на функциональный результат.

Обсуждение. Исследование имело ряд ограничений: небольшая продолжительность наблюдения за пациентами после операции (6 мес.), отсутствие анализа типов больниц, в которых проведены операции. Предыдущие наблюдения показали, что в основном функциональные улучшения происходят в течение первых шести месяцев после операции и сохраняются в течение длительного времени. Наша выборка имеет типичные демографические и клинические характеристики пациентов, перенесших ТАТС по поводу АНГБК. Это позволяет предположить, что результаты данного исследования могут быть применимы и к другим пациентам, перенесшим эту операцию.

Заключение. Операция, выполненная в раннем периоде, при начальных стадиях снижения функциональности конечности, и своевременное и адекватное лечение сопутствующих заболеваний могут обеспечить хорошие результаты тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у пациентов с асептическим некрозом головки бедренной кости.

Ключевые слова: тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава, аваскулярный некроз головки бедренной кости, функциональное восстановление, шкала Харриса для оценки состояния тазобедренного сустава, Вьетнам

Для цитирования: Khoa V Vu, Quang Nguyen, Lan TP Luong, Thieu Q Nguyen, Loi B Cao, Anh T Le. Ближайшие функциональные результаты артропластики тазобедренного сустава при аваскулярном некрозе головки бедренной кости и влияние факторов, связанных с пациентами. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):644-650. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-644-650. EDN: IOHJL.

© Khoa V. Vu, Quang Nguyen, Lan T.P. Luong, Thieu Q. Nguyen, Loi B. Cao, Anh T. Le, 2024

INTRODUCTION

Avascular necrosis of the femoral head (ANFH) is a phenomenon vascular supply disruption lead to death of bone cells around the femoral head [1, 2]. The disease is a severe health issue all over the world. In the United States, about 10,000 to 20,000 new cases are reported each year [1]. In Japan, the mean ageadjusted incidence rate is 2.51 cases per 100,000 person-years [3]. The natural history of ANFH is progression to collapse of the hips [2]. Within 2 years about 80 % to 85 % of symptomatic cases will result in collapse of the femoral head [4]. When ANFH has reached this advanced stage, total hip arthroplasty (THA) is the treatment of choice and there are no other suggested procedures [2]. Click or tap here to enter text.. One of the most important outcomes of THA is function recovery which may be influenced by many factors [2]. These factors may vary in different racial/ethnic groups [5]. However, most findings in this field have been from Western developed nations, and not much information from developing Asian countries is available [6–8].

Vietnam is a developing country in South East Asia. The prevalence of ANFH in Vietnam remains unknown, but it is expected to be high due to the high rates of alcohol consumption or smoking, well-known risk factors of the disease [6–8]. Compared to those from developed countries, Vietnamese patients may have different demographic, clinical characteristics as well as anatomical parameters of the hip joint [11, 12]. Consequently, the outcome and factors correlated to the functional outcome of THA may be different from those in developed countries. There have been some preliminary works on results of THA in Vietnam [13], but little is known about factors that may have influence the functional outcome. Therefore, we carried out this research to determine functional outcomes and patient-related factors that predict functional results of THA for ANFH in Vietnamese patients.

MATERIAL AND METHODS

This prospective survey was conducted in a general hospital, Ha Tinh TTH hospital, between January 2022 and December 2023. It received ethical clearance from the review board of TTH hospital (18/QD-TTH). Written informed consent was obtained from all patients or their legal representatives after receiving an explanation of the study. This study is part of a thesis work for the degree of Doctor of Philosophy in Health Studies at the National Institute of Malariology, Parasitology, and Entomology (NIMPE) of Vietnam.

The inclusion criteria were patients with advanced ANFH, ARCO stages III or IV (ARCO, Association Research Circulation Osseous), who underwent primary cementless THA. Patients who were not medically fit for surgery or had a history of THA for more than 12 weeks were excluded. Patients' information including demographic (gender, age, body mass index (BMI), medical history (use of steroids, alcohol consumption or smoking), and clinical data (time of pain onset, the side and stages of hips affected, the preoperative function, comorbidity) were collected using a case record form. Comorbidities listed in this analysis included cancer, cardiac disease, endocrine disease (diabetes mellitus, thyroid disease), cardiovascular disease, gastrointestinal disease, hematologic disease, hepatobiliary disease, infectious disease, neurological disease, respiratory disease, joint disease, sciatica or chronic back problem as described elsewhere [7, 8].

A conventional protocol was applied to all participants. All comorbidities were treated before the surgery. In patients with both hips affected, staged bilateral THA was performed at an interval of 6–12 weeks. After the surgery, rehabilitation specialists instructed all patients to perform functional rehabilitation. The pre-operative and 6-month functional outcome was evaluated using Harris hip score (HHS).

Definition

Patients were categorized as underweight (< 18.5), normal weight (18.5–23), overweight and obesity (\geq 23) based on Asian criteria for BMI (kg/m²) [14]. The time of pain to THA < 24 months was considered early surgery and \geq 24 months was late [15]. The functional outcome was rated as excellent for HHS of 90–100 points, good for 80–90 points, fair for 70–79 points, and poor for lower than 60 [15]. For continuous variables such as age and preoperative HHS that did not have predefined cutoff values, the mean values were used as the cut point.

Data analysis

Statistical analysis was performed using SPSS statistical software version 16.0. Continuous variables were reported as means and standard deviations (SD) while frequencies and percentages were used to express categorical variables. To find out the factors predicting the excellent functional outcome Pearson's chi-square tests and, when appropriate, Fisher exact tests were used for univariate analysis. The independent variables with a significant association from univariate analysis were entered into a multivariable linear regression model. The p-value lower than 0.05 was considered significant in all analyses.

RESULTS

There were 143 patients with a median age of 55.90 years (range, 28–85 years) included in the study. Most of the patients (80.4 %) were between 41 and 70 years old. Among the participants, 4.27 % had one comorbidity. Sciatica (11.89 %), hypertension (11.19 %), and diabetes mellitus (DM; 4.90 %) were the most frequent comorbidities. Regarding the operation, 89.7 % of the patients underwent unilateral THA, and 68.5 % of them had early surgery.

The mean HHS observed at 6-month post-surgery was 89.22 %. Most patients (95.1 %) had excellent or good outcome (Table 2).

Table 1

Baseline data of the study population ($n = 143$)

	Parameter	Value (N, %, CI 95 % or mean \pm SD)
Demographics factors		
	Age (years)	55.90 \pm 11.49
	Min – max	28 – 85
Gender	Male	124 (86.7)
	Female	19 (13.3)
BMI	Underweight	11 (7.69)
	Normal weight	93 (65.03)
	Overweight and obese	39 (27.28)
Medical history	Steroid use	102 (71.3 %)
	Alcohol abuse	104 (72.72)
	Smoke	95 (66.43)
Clinical data		
	Comorbidity*	49 (34.27)
	Time to surgery (months)	18.59 \pm 15.38 (1 – 72)
	Early management	98 (68.5)
	Late management	45 (31.5)
Type of treatment	Unilateral THA	114 (89.7)
	Bilateral THA	29 (20.3)
Stage on MRI	III	69 (48.3)
	IV	74 (51.7)
	HHS	51.22 \pm 3.39 (40 – 64)

* – Morbidity: sciatica 17 (11.89 %), hypertension 18 (11.19 %), diabetes mellitus 7 (4.90 %), gout 5 (3.50 %), liver disease 5 (3.5 %), chronic obstructive pulmonary disease 1 (0.7 %), polyarthritis 2 (1.4 %), thyroid carcinoma 1 (0.7 %).

Table 2

Physical function at 6 months after total hip replacement ($n = 143$)

	Number/points	Percent
Excellent	62	43.4
Good	74	51.7
Fair	4	2.8
Poor	3	2.1
HHS (mean \pm SD)	89.22	6.06
Min-max	66	100

The univariate analysis showed that age, concomitant morbidity, waiting time for surgery and pre-operative HHS significantly correlated with functional outcome. However, only higher pre-operative HHS (odds ratio (OR): 4.369, 95 % confidence interval (1.854 – 10.299); $p < 0.001$) and absence of comorbidity (OR: 2.440, 95 % CI = 1.071 – 5.557, $p = 0.034$) were the factors predicting excellent function on multivariate analysis. No significant association was found between other parameters and functional recovery (Table 3).

Table 3

Factors predicting excellent functional outcome at 6 months after total hip replacement ($n = 143$)

Factors	Univariate analysis		Multivariate analysis		
	OR (CI 95 %)	p	OR (CI 95 %)	p	
Demographics factors					
	Age group*	2.266 (1.154 – 4.452)	0.019	2.050 (0.960 – 4.378)	0.064
	Gender [†]	1.366 (0.504 – 3.704)	0.624		
	BMI [‡]	1.089 (0.543 – 2.182)	0.861		
Medical history	Steroid use	1.562 (0.753 – 3.239)	0.265		
	Alcohol	0.653 (0.306 – 1.396)	0.344		
	Smoke	0.792 (0.391 – 1.604)	0.593		
Clinical findings	Stage	1.596 (0.820 – 3.106)	0.181		
	Time to surgery [†]	3.957 (1.765 – 8.867)	< 0.001	2.249 (0.882 – 5.736)	0.090
	Type of surgery [#]	0.779 (0.344 – 1.765)	0.675		
	Pre-operative HHS**	5.483 (2.576 – 11.667)	< 0.001	4.369 (1.854 – 10.299)	< 0.001
	Comorbidity ^{††}	2.267 (1.093 – 4.702)	0.033	2.440 (1.071 – 5.557)	0.034

* – Age (≤ 55 vs > 55 years); [†] – Gender: female vs. male; [‡] – Underweight and normal ones compared to overweight patients, patients with normal BMI was the reference group; ^{||} – ARCO stages III vs. IV; [†] – early management compared to late management; [#] – unilateral THA vs bilateral THA; ** – 50 vs. > 50 HHS; ^{††} – patients without comorbidity vs. with comorbidity

DISCUSSION

Baseline characteristics

The present study was conducted at a general hospital in Ha Tinh province, a province in central Vietnam. The mean age of our sample was 55.90 years, and most patients were male (81.9%) which agrees with distribution of age and gender in patients with ANFH [17, 18]. The average preoperative HHS was 51.22 (range, 40 – 64). In previous studies, THA is usually indicated for patients with HHS lower than 40 [18, 19]. However, others report THA for patients with an HHS of more than fifty as in our study [20, 21].

Functional outcome

The first aim of the current study was to investigate the functional outcome of primary THA in patients with AFHN in a Vietnamese cohort. Like many previous studies, our results demonstrate that THA had good outcomes with more than 90 % of patients rated as excellent or good recovery [19, 22]. The average post-operative HHS in our study (89.26) was also in the range of postoperative scores previously reported (from 85 to 93) [18, 19].

Factors predicting functional outcome

The second aim of the current study was to identify factors that may predict excellent functional outcomes after THA for the treatment of ANFH. This study corroborates many previous studies showing no association between demographic parameters including age, gender, weight status and the functional outcome [20, 23]. Age and gender are patient-related factors that are useful for clinicians to determine the appropriate type of surgery [24]. It has been suggested that the optimal age for THA is about 60 to 75 years [25], but many investigators have found that the operation has good outcomes regardless of patients' age [26, 27]. Similarly, the lack of association between weight status and THA outcome in our sample follow the trend previously described [28, 29]. It is generally accepted that THA should not be withheld from patients who are overweight or obese [30, 31].

Regarding medical history variables, our results concur with studies suggesting that use of steroids, alcohol consumption and smoking have no influence on the functional outcome of THA [6, 32, 33]. Use of steroids is considered the leading cause of atraumatic ANFH [1]. In addition, patients with ANFH are more likely to be exposed to corticosteroid use [34]. Steroid use may result in a high rate of complications and reoperation of THA [35]. Nevertheless, functional outcome is similar to patients with no history of using steroids [35, 36]. Alcohol abuse is another common risk factor for atraumatic AVN, especially in younger patients [37, 38]. However, H.R. Johansson et al. (2011) found that alcohol abuse is not associated with poor THA outcomes [6].

Among the clinical findings, pre-operative HHS and comorbidity were independently associated with six-month functional recovery of our patients (Table 3). The strong association between pre-operative HHS and functional recovery has been addressed in many studies [21, 23, 31, 32]. C. Röder et al. (2007) reported a significant relationship between higher pre- and post-operative walking capacity and range of hip flexion when analyzing data from 12,925 patients (13,766 total hip arthroplasties) registered in the International Documentation and Evaluation System European between 1967 and 2002 [39]. In a recent review, the preoperative function is the determinant of THA outcomes with the highest amount of evidence [40]. Likewise, the association between comorbidity and THA outcome in our patients is supported by several earlier observations [8, 41, 42]. A recent review shows a significant negative association between comorbidity and functional outcome in patients undertaking THA in almost all studies under review (11/13 studies) [40].

In the present study, the influence of other clinical variables including the stage of the disease, the time to THA and the side of the affected hip on functional outcome is not significant. M. Yang et al. (2023) found that patients with ARCO stage III had a significantly shorter operative time, hospital stay length, and reduced intraoperative bleeding volume [25]. Still, there were no significant differences in postoperative HHS ($p = 0.062$) compared with patients with ARCO stage IV [25]. C.A. Jones et al. (2001) have shown that time until surgery did not affect function at 6 months among patients with THA [42]. The literature review shows that bipolar THA has similar results to unipolar THA [43]. In other words, evidence in our study suggests that earlier operation in the disease process and better management of comorbidity should be implemented to improve THA outcomes in patients with advanced ANFH [7, 41, 44].

Limitation

Our study had some limitations. Firstly, the length of the follow-up after surgery is short (6 months). Nonetheless, previous observations suggest that most of the improvement in physical function occurs during the first six months following surgery [8] and remains the same for a long time [17, 44]. The second limitation

is that hospital-related factors like the type and volume of the hospital have not been analyzed. However, our sample has typical demographic and clinical characteristics of patients with THA for ANFH, suggesting that determinants of the 6-month functional outcome in the current study could apply to other patients undergoing this surgery.

CONCLUSION

This study suggests that total hip arthroplasty for the treatment of avascular necrosis of the femoral head in Vietnam has good outcome. There is a significant association between pre-operative function and comorbidity and functional outcome. This data may be useful both for providing a precise prognosis and a more adequate intervention strategy, e.g. early operation in the course of functional decline and better management of comorbidity for patients with this debilitating disease.

Conflict of interest The authors declare that there were no conflicts of interest in this study and agree to submit the manuscript for possible publication in *Genij Ortopedii*.

Financial disclosure The authors received no financial support for the research, authorship, and/or publication of this article.

REFERENCES

- Petek D, Hannouche D, Suva D. Osteonecrosis of the femoral head: pathophysiology and current concepts of treatment. *EFORT Open Rev.* 2019;4(3):85-97. doi: 10.1302/2058-5241.4.180036
- Konarski W, Poboży T, Śliwczyński A, et al. Avascular Necrosis of Femoral Head-Overview and Current State of the Art. *Int J Environ Res Public Health.* 2022 Jun 15;19(12):7348. doi: 10.3390/ijerph19127348
- Yamaguchi R, Yamamoto T, Motomura G, et al. Incidence of nontraumatic osteonecrosis of the femoral head in the Japanese population. *Arthritis Rheum.* 2011;63(10):3169-3173. doi: 10.1002/art.30484
- Mont MA, Hungerford DS. Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(3):459-474. doi: 10.2106/00004623-199503000-00018
- Alvarez PM, McKeon JF, Spitzer AI, et al. Race, Utilization, and Outcomes in Total Hip and Knee Arthroplasty: A Systematic Review on Health-Care Disparities. *JBJS Rev.* 2022;10(3). doi: 10.2106/JBJS.RVW.21.00161
- Johannson HR, Zywił MG, Marker DR, et al. Osteonecrosis is not a predictor of poor outcomes in primary total hip arthroplasty: a systematic literature review. *Int Orthop.* 2011;35(4):465-473. doi: 10.1007/s00264-010-0979-7
- Wang W, Morrison TA, Geller JA, et al. Predicting short-term outcome of primary total hip arthroplasty: a prospective multivariate regression analysis of 12 independent factors. *J Arthroplasty.* 2010;25(6):858-864. doi: 10.1016/j.arth.2009.06.011
- MacWilliam CH, Yood MU, Verner JJ, et al. Patient-related risk factors that predict poor outcome after total hip replacement. *Health Serv Res.* 1996 Dec;31(5):623-638.
- Lincoln M. Alcohol and drinking cultures in Vietnam: A review. *Drug Alcohol Depend.* 2016;159:1-8. doi: 10.1016/j.drugalcdep.2015.10.030
- Forouzanfar MH, Alexander L, Anderson HR, et al. Global, regional, and national comparative risk assessment of 79 behavioural, environmental and occupational, and metabolic risks or clusters of risks in 188 countries, 1990-2013: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2013. *Lancet.* 2015;386(10010):2287-2323. doi: 10.1016/S0140-6736(15)00128-2
- Nguyen DH, Nguyen TT, Le KT, et al. Morphological Characteristics of the Vietnamese Adult Human Acetabulum Using Multiplanar Reconstruction Computed Tomography in Total Hip Replacement Surgery. *Orthop Rev (Pavia).* 2024;16:94242. doi: 10.52965/001c.94242
- Edwards K, Leyland KM, Sanchez-Santos MT, et al. Differences between race and sex in measures of hip morphology: a population-based comparative study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2020;28(2):189-200. doi: 10.1016/j.joca.2019.10.014
- Lê Q-T, Nguyen T-H. 'Preminary Results of Surgical Results of Total Hip Joint Replacement at the 7A Military Hospital. *Saudi Journal of Medicine.* 2020;5(1)1-5. doi: 10.36348/sjm.2020.v05i01.001
- WHO Expert Consultation. Appropriate body-mass index for Asian populations and its implications for policy and intervention strategies. *Lancet.* 2004;363(9403):157-163. doi: 10.1016/S0140-6736(03)15268-3
- Andronic O, Weiss O, Shoman H, et al. What are the outcomes of core decompression without augmentation in patients with nontraumatic osteonecrosis of the femoral head? *Int Orthop.* 2021;45(3):605-613. doi: 10.1007/s00264-020-04790-9
- Harris WH. Traumatic arthritis of the hip after dislocation and acetabular fractures: treatment by mold arthroplasty. An end-result study using a new method of result evaluation. *J Bone Joint Surg Am.* 1969;51(4):737-755.
- Röder C, Parvizi J, Eggli S, et al. Demographic factors affecting long-term outcome of total hip arthroplasty. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(417):62-73. doi: 10.1097/01.blo.0000096812.78689.f0
- Singh V, Bhide S, Patidar A, et al. Clinical and functional outcome of uncemented total hip replacement in patients with avascular necrosis of femoral head. *Orthop J MPC.* 2022;28(1):44-47.
- Prabhulingreddy Patil, Eswara Reddy G, Manoj Kumar R, Ravishankar J. A prospective study to evaluate the clinical and functional outcome of uncemented total hip replacement in avascular necrosis of femoral head in adults. *Nat J Clin Orthop.* 2019;3(2):10-16 doi: 10.33545/orthor.2019.v3.i2a.03
- Kawai T, Kataoka M, Goto K, et al. Patient- and Surgery-Related Factors that Affect Patient-Reported Outcomes after Total Hip Arthroplasty. *J Clin Med.* 2018;7(10):358. doi: 10.3390/jcm7100358
- Ollivier M, Frey S, Parratte S, et al. Pre-operative function, motivation and duration of symptoms predict sporting participation after total hip replacement. *Bone Joint J.* 2014;96-B(8):1041-1046. doi: 10.1302/0301-620X.96B8.32813

22. Mont MA, Salem HS, Piuizzi NS, et al. Nontraumatic Osteonecrosis of the Femoral Head: Where Do We Stand Today?: A 5-Year Update. *J Bone Joint Surg Am.* 2020;102(12):1084-1099. doi: 10.2106/JBJS.19.01271
23. Păunescu F, Didilescu A, Antonescu DM. Factors that may influence the functional outcome after primary total hip arthroplasty. *Clujul Med.* 2013;86(2):121-127.
24. Zhang X, Shi G, Sun X, et al. Factors Influencing the Outcomes of Artificial Hip Replacements. *Cells Tissues Organs.* 2018;206(4-5):254-262. doi: 10.1159/000500518
25. Yang M, Li X, Chu K, et al. Comparison of Outcomes Following Total Hip Arthroplasty Between Patients Diagnosed with Association Research Circulation (ARCO) Stage III and Stage IV Osteonecrosis of the Femoral Head: A Retrospective Study of 302 Patients. *Med Sci Monit.* 2023;29:e938991. doi: 10.12659/MSM.938991
26. Flury A, Finsterwald M, Dimitriou D, et al. Should advanced age be a contraindication to total hip arthroplasty in femoral neck fracture patients? A matched-control, retrospective study. *J Orthop.* 2019;17:25-29. doi: 10.1016/j.jor.2019.08.007
27. Montin L, Leino-Kilpi H, Suominen T, Lepistö J. A systematic review of empirical studies between 1966 and 2005 of patient outcomes of total hip arthroplasty and related factors. *J Clin Nurs.* 2008;17(1):40-45. doi: 10.1111/j.1365-2702.2007.01944.x
28. Barrett M, Prasad A, Boyce L, et al. Total hip arthroplasty outcomes in morbidly obese patients: A systematic review. *EFORT Open Rev.* 2018;3(9):507-512. doi: 10.1302/2058-5241.3.180011
29. Judge A, Batra RN, Thomas GE, et al. Body mass index is not a clinically meaningful predictor of patient reported outcomes of primary hip replacement surgery: prospective cohort study. *Osteoarthritis Cartilage.* 2014;22(3):451-459. doi: 10.1016/j.joca.2013.12.018
30. Kessler S, Käfer W. Overweight and obesity: two predictors for worse early outcome in total hip replacement? *Obesity (Silver Spring).* 2007;15(11):2840-2845. doi: 10.1038/oby.2007.337
31. Johansson HR, Bergschmidt P, Skripitz R, et al. Impact of preoperative function on early postoperative outcome after total hip arthroplasty. *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2010;18(1):6-10. doi: 10.1177/230949901001800102
32. Smith GH, Johnson S, Ballantyne JA, et al. Predictors of excellent early outcome after total hip arthroplasty. *J Orthop Surg Res.* 2012;7:13. doi: 10.1186/1749-799X-7-13
33. Cushnaghan J, Coggon D, Reading I, et al. Long-term outcome following total hip arthroplasty: a controlled longitudinal study. *Arthritis Rheum.* 2007;57(8):1375-1380. doi: 10.1002/art.23101
34. Lai SW, Lin CL, Liao KF. Evaluating the association between avascular necrosis of femoral head and oral corticosteroids use in Taiwan. *Medicine (Baltimore).* 2020;99(3):e18585. doi: 10.1097/MD.00000000000018585
35. Dudkiewicz I, Covo A, Salai M, et al. Total hip arthroplasty after avascular necrosis of the femoral head: does etiology affect the results? *Arch Orthop Trauma Surg.* 2004;124(2):82-85. doi: 10.1007/s00402-003-0630-9
36. Ceibesoy O, Erdemli B, Köse KC, et al. Midterm results of total hip replacement in osteonecrosis of the hip joint. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2006;40(4):301-306. (In Turkish)
37. Mayers W, Schwartz B, Schwartz A, et al. National trends and in hospital outcomes for total hip arthroplasty in avascular necrosis in the United States. *Int Orthop.* 2016;40(9):1787-1792. doi: 10.1007/s00264-015-3089-8
38. Fukushima W, Fujioka M, Kubo T, et al. Nationwide epidemiologic survey of idiopathic osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2010;468(10):2715-2724. doi: 10.1007/s11999-010-1292-x
39. Röder C, Staub LP, Egli S, et al. Influence of preoperative functional status on outcome after total hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(1):11-17. doi: 10.2106/JBJS.E.00012
40. Buirs LD, Van Beers LW, Scholtes VA, et al. Predictors of physical functioning after total hip arthroplasty: a systematic review. *BMJ Open.* 2016;6(9):e010725. doi: 10.1136/bmjopen-2015-010725
41. Lungu E, Maftoon S, Vendittoli PA, Desmeules F. A systematic review of preoperative determinants of patient-reported pain and physical function up to 2 years following primary unilateral total hip arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016;102(3):397-403. doi: 10.1016/j.otsr.2015.12.025
42. Jones CA, Voaklander DC, Johnston DW, Suarez-Almazor ME. The effect of age on pain, function, and quality of life after total hip and knee arthroplasty. *Arch Intern Med.* 2001;161(3):454-460. doi: 10.1001/archinte.161.3.454
43. Lewis SR, Macey R, Parker MJ, et al. Arthroplasties for hip fracture in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2022;2(2):CD013410. doi: 10.1002/14651858.CD013410.pub2
44. Fortin PR, Penrod JR, Clarke AE, et al. Timing of total joint replacement affects clinical outcomes among patients with osteoarthritis of the hip or knee. *Arthritis Rheum.* 2002;46(12):3327-2230. doi: 10.1002/art.10631

The article was submitted 18.06.2024; approved after reviewing 22.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Статья поступила 18.06.2024; одобрена после рецензирования 22.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

Information about the authors:

Khoa V. Vu — MD, bskhoavd@gmail.com;

Quang Nguyen — MD, quangnguyendr@gmail.com;

Lan T. P. Luong — MD, phuonglanlt.ump@vnu.edu.vn;

Thieu Q. Nguyen — MD, PhD, thieunq@gmail.com;

Loi B. Cao — MD, PhD, Associate Professor;

Anh T. Le — PhD, MD, Associate Professor, anh_lt@vmmu.edu.vn, <https://orcid.org/0000-0002-4919-1739>.

Научная статья

УДК 616.728.2-007.248-089.843-06:616-009.7:616.748.13-089.5-031.83

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-651-658>

Быстрое восстановление после эндопротезирования тазобедренного сустава: прямой передний доступ в сочетании с PENG-блоком и блокадой латерального кожного нерва бедра

И.К. Ерёмин¹, А.А. Данильянц²✉, Н.А. Ермакова¹, У.А. Байсаров¹, З.М. Моларишвили¹,
Н.А. Семёнов¹, Н.В. Загородний^{2,3}

¹ Клиника Фомина Мичуринский, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов им. Патриса Лумумбы, Москва, Россия

³ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

Автор, ответственный за переписку: Армен Альбертович Данильянц, armendts@mail.ru

Аннотация

Введение. «Золотым» стандартом лечения поздних стадий коксартроза является эндопротезирование. Прямой передний доступ (ППД) относится к малоинвазивным оперативным вмешательствам в ортопедии. Расширенные анестезиологические пособия в сочетании с малотравматичными хирургическими методиками позволяют уменьшить послеоперационный болевой синдром и ускорить восстановление пациента.

Цель работы — сравнить сроки восстановления пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием ППД в сочетании с PENG-блоком, блокадой латерального кожного нерва бедра (ЛКНБ) и без расширенного анестезиологического пособия.

Материалы и методы. Выполнено проспективное рандомизированное сравнительное клиническое исследование, в котором приняли участие 62 пациента, распределенные на две группы: основную ($n = 9$) и контрольную ($n = 33$). В обеих группах эндопротезирование выполняли с применением ППД. При этом пациентам основной группы проводили PENG-блок и блокаду ЛКНБ. Пациентам контрольной группы расширенное анестезиологическое пособие не выполняли. В качестве критериев оценки использовали показатели интенсивности боли с применением визуальной аналоговой шкалы (ВАШ), потребления обезболивающих препаратов, степени мобилизации пациентов и длительности пребывания в стационаре.

Результаты. Показатели боли по шкале ВАШ в основной группе ниже, чем в контрольной через 6 ч. — 3,7 (3,4; 4,1) и 4,3 (4,2; 4,8) и 24 ч. после операции — 3,5 (3,3; 3,6) и 4,1 (3,9; 4,5) ($p < 0,001$). Через 48 ч. показатели сопоставимы: 3,5 (3,1; 4,1) и 3,7 (3,6; 3,9) ($p = 0,19$). Показатель количества обращений за обезболиванием в первые 24 ч. в основной группе ниже, чем в контрольной: 2 (1; 2) и 3 (2; 3) случая ($p = 0,003$). Результаты мануального мышечного теста через 6 ч. и 24 ч. сопоставимы ($p > 0,05$). Временной интервал между окончанием операции и первой ходьбой на костылях короче в основной группе — 3,1 ч. (2,9; 3,4) и 3,98 ч. (3,8; 4,2) ($p < 0,001$). Показатель длительности пребывания в стационаре ниже в основной группе: 1,5 (1,2; 2) и 2,5 (2; 3) суток ($p < 0,001$).

Обсуждение. Низкий послеоперационный болевой синдром позволяет активизировать пациентов быстрее, тем самым улучшая результаты раннего реабилитационного периода.

Заключение. Применение PENG-блока и блокады ЛКНБ при эндопротезировании с применением ППД имеет клиническую эффективность в первые 24 часа, способствуя ускорению послеоперационного восстановления пациентов.

Ключевые слова: эндопротезирование тазобедренного сустава, прямой передний доступ, блокада латерального кожного нерва бедра, PENG-block, расширенное анестезиологическое пособие

Для цитирования: Ерёмин И.К., Данильянц А.А., Ермакова Н.А., Байсаров У.А., Моларишвили З.М., Семёнов Н.А., Загородний Н.В. Быстрое восстановление после эндопротезирования тазобедренного сустава: прямой передний доступ в сочетании с PENG-блоком и блокадой латерального кожного нерва бедра. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):651-658. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-651-658. EDN: IOYKYU.

© Ерёмин И.К., Данильянц А.А., Ермакова Н.А., Байсаров У.А., Моларишвили З.М., Семёнов Н.А., Загородний Н.В., 2024



Rapid recovery after total hip arthroplasty: direct anterior approach combined with PENG block and lateral cutaneous femoral nerve block

I.K. Eremin¹, A.A. Daniliyants^{2✉}, N.A. Ermakova¹, U.A. Baysarov¹, Z.M. Molarishvili¹, N.A. Semenov¹, N.V. Zagorodniy^{2,3}

¹ Fomin Michurinsky Clinic, Moscow, Russian Federation

² Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation

³ National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics named after. N.N. Priorov, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Armen A. Daniliyants, armendts@mail.ru

Abstract

Introduction The "gold" standard for the treatment of late stages of coxarthrosis is total hip arthroplasty. Direct anterior approach (DAA) refers to minimally invasive surgical interventions in orthopaedics. Extended anesthetic measures in combination with low-traumatic surgical techniques may reduce postoperative pain and accelerate patient's recovery.

The **purpose** of the study was to compare the recovery times of patients after hip arthroplasty using DAA in combination with PENG block, lateral cutaneous femoral nerve (LCFN) block and without extended anesthetic measures.

Materials and methods A prospective randomized comparative clinical study was performed, which involved 62 patients divided into two groups: the study one ($n = 29$) and the control one ($n = 33$). In both groups, arthroplasty was performed using DAA. Patients of the study group underwent PENG block and LCFN block. The patients in the control group did not receive extended anesthesia. The evaluation criteria were pain assessment using the visual analogue scale (VAS), administration of painkillers, patient's mobility and the length of hospital stay.

Results The VAS score for pain in the study group were lower than in the control group after 6 hours — 3.7 (3.4; 4.1) and 4.3 (4.2; 4.8); 24 hours after surgery — 3.5 (3.3; 3.6) and 4.1 (3.9; 4.5) ($p < 0.001$). After 48 hours, the indices were comparable: 3.5 (3.1; 4.1) and 3.7 (3.6; 3.9) ($p = 0.19$). The rate of requests for pain relief in the first 24 hours was lower in the study group than in the control group: 2 (1; 2) and 3 (2; 3) cases ($p = 0.003$). The results of the manual muscle test after 6 hours and 24 hours were comparable ($p > 0.05$). The time interval between the end of the operation and the first walking on crutches was shorter in the study group — 3.1 hours (2.9; 3.4) and 3.98 hours (3.8; 4.2) ($p < 0.001$). The length of hospital stay was shorter in the study group: 1.5 (1.2; 2) and 2.5 (2; 3) days ($p < 0.001$).

Discussion Lower postoperative pain allows faster activation of patients, thus improving the results of the early rehabilitation period.

Conclusion The use of PENG block and LCFN block in arthroplasty with the use of DAA has clinical effectiveness in the first 24 hours, and helps to accelerate the postoperative recovery of patients.

Keywords: hip arthroplasty, direct anterior approach, lateral cutaneous femoral nerve block, PENG-block, extended anesthetic management

For citation: Eremin IK, Daniliyants AA, Ermakova NA, Baysarov UA, Molarishvili ZM, Semenov NA, Zagorodniy NV. Rapid recovery after total hip arthroplasty: direct anterior approach combined with PENG block and lateral cutaneous femoral nerve block. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):651-658. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-651-658

ВВЕДЕНИЕ

Согласно данным литературы, распространенность коксартроза в мире неуклонно растёт [1]. Старение, избыточный вес и генетическая предрасположенность являются наиболее важными факторами развития дегенеративных процессов в крупных суставах нижних конечностей [2, 3]. А. Nelson установил, что к 85 годам один из четырёх пациентов имеет выраженную клиническую картину остеоартроза тазобедренного сустава (ТБС), значительно ухудшающую качество жизни больного [4].

«Золотым» стандартом лечения поздних стадий коксартроза является эндопротезирование. По данным М. Sloan, к 2030 г. ежегодное количество таких операций в США достигнет отметки в 635 тыс. [5]. При этом ведущие ортопеды стремятся улучшить методику хирургических вмешательств. Прямой передний доступ позволяет значительно снизить послеоперационный болевой синдром, ускорить начало реабилитации, уменьшить длительность пребывания пациента в стационаре [6–8].

Послеоперационный болевой синдром — частая проблема, замедляющая процесс реабилитации пациентов, нередко требующая назначения опиоидных анальгетиков, которые могут способствовать развитию делирия, вызывать угнетение дыхания, констипацию и задержку мочеиспускания [9–11]. На этом фоне регионарные методы обезболивания позволяют сократить сроки восстановления пациентов, снизить интенсивность ноцицептивной импульсации из зоны хирургического вмешательства [12]. Наиболее простой и в то же время эффективной методикой проводниковой анестезии при эндопротезировании ТБС является блокада перикапсулярной группы нервов бедра (PENG-block) [13–17]. Этот способ анальгезии активно используют при артроскопии, первичном и ревизионном эндопротезировании тазобедренного сустава [18, 19]. Исходя из того, что блокада указанных нервов не решает проблему боли в области послеоперационной раны, ряд исследователей предложил осуществлять блокаду латерального кожного нерва бедра (ЛКНБ), отвечающего за чувствительную иннервацию кожи его переднебоковой области [20]. Позже предложено комбинировать PENG-block и блокаду ЛКНБ с целью достижения более глубокого обезболивающего эффекта [21].

Таким образом, оценка практической эффективности данных методик при эндопротезировании тазобедренного сустава и побудила нас к проведению данного исследования.

Цель работы — сравнить сроки восстановления пациентов после эндопротезирования тазобедренного сустава с использованием прямого переднего доступа в сочетании с PENG-блоком, блокадой латерального кожного нерва бедра и без расширенного анестезиологического пособия.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования. Выполнено проспективное рандомизированное сравнительное клиническое исследование. Всего в исследовании приняло участие 62 пациента (28 мужчин и 34 женщины), распределенных на 2 группы: основную ($n = 29$) и контрольную ($n = 33$).

Критерии соответствия. Первичный отбор пациентов осуществляли в соответствии со следующими критериями включения:

- мужской и женский пол, возраст от 18 до 85 лет;
- установленный диагноз: идиопатический коксартроз II–III стадии по классификации Н.С. Косинской; посттравматический коксартроз без перелома передней/задней колонны; диспластический коксартроз 1–2 степени по классификации J. Crowe; асептический некроз головки бедренной кости 3–5 стадии по классификации Steinberg.

Окончательный отбор участников проведен в соответствии со следующими критериями исключения:

- предшествующее хирургическое лечение ТБС;
- наличие таких дефектов бедренной кости как разрушение или отсутствие костномозгового канала бедренной кости, делающие невозможной корректную установку бедренного компонента эндопротеза;
- хронические воспалительные очаги любой локализации, требующие санации;
- анемия любой степени.

Условия проведения. Исследование проводили на базе отделения травматологии и ортопедии клиники Фомина в течение одного года (с января 2023 г. по январь 2024 г.). Все испытуемые были рандомизированы с использованием генератора случайных чисел и распределены либо в основную, либо в контрольную группу. Рандомизацию проводил независимый сотрудник. В дальнейшем все манипуляции выполнены одной группой хирургов и одной анестезиологической бригадой.

Методы выполнения вмешательств. Пациентам основной группы выполняли эндопротезирование через прямой передний доступ в сочетании с PENG-блоком и блокадой ЛКНБ. Расширенное анестезиологическое пособие проводили в следующем порядке: спинномозговая анестезия, PENG-блок, блокада ЛКНБ. Пациентам контрольной группы эндопротезирование осуществляли через прямой передний доступ без расширенного анестезиологического пособия. Техника эндопротезирования через ППД подробно описана авторами статьи [22].

Всем пациентам проводили премедикацию в следующем объеме: цефазолин — 2 г в разведении на 20 мл NaCl 0,9 % в/в; омег — 40 мг в/в; транексамовая кислота — 15 мг/кг в/в; латран — 4 мг в/в; дексаметазон — 8 мг в/в; мидазолам — 100 мкг/кг в/в.

Методы оценки результатов. Основным критерием являлся показатель интенсивности боли в послеоперационном периоде. Оценку боли проводили с использованием визуальной аналоговой шкалы (ВАШ) в день госпитализации, а также через 6, 24 и 48 ч. после операции.

Также в качестве критериев оценки клинической эффективности проведенной операции использовали следующие показатели:

- 1) потребление обезболивающих препаратов (кеторол, разовая доза — 0,3 мг/кг);
- 2) степень мобилизации пациента:
 - время до первой ходьбы с помощью костылей, определяемое как продолжительность между окончанием операции и первым случаем, когда пациент смог ходить с помощью костылей под контролем врача;
 - у пациентов, которым выполнялись регионарные блокады, обязательно проводили оценку наличия моторного блока четырехглавой мышцы с помощью мануального мышечного теста, в котором:
 - 0 — отсутствие сокращения и движения мышц;
 - 1 — слабое мышечное сокращение;
 - 2 — движения могут осуществляться только в горизонтальном положении;
 - 3 — пациент способен самостоятельно поднимать конечность, однако без искусственного сопротивления со стороны врача;
 - 4 — полный диапазон движений, пациент поднимает конечность с небольшим сопротивлением;
 - 5 — нормальная среднестатистическая сила;
- 3) длительность пребывания в стационаре, определяемая с момента госпитализации и до дня выписки.

Критериями для выписки пациента считали:

- готовность возврата к повседневной жизни: способность самостоятельно одеваться, вставать с кровати, сидеть и вставать со стула/туалета, самостоятельно ухаживать за собой, проходить с помощью костылей расстояние в 70 м, степень боли по ВАШ менее 3 баллов;
- корректное положение компонентов эндопротеза на послеоперационной контрольной рентгенограмме;
- отсутствие нарушений ритма и патологических изменений на ЭКГ;
- значения показателей ОАК в пределах референсных значений.

Осложнения. Осложнение определяли как любое непредвиденное событие, возникающее в ходе проведения всего хирургического вмешательства или в послеоперационном периоде, проявляющееся местным или системным ответом, которое может увеличить длительность нахождения пациента в стационаре, а также нарушить функцию ТБС.

Статистические методы. Статистический анализ проводили с использованием программы Jamovi 2.4.11. Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Шапиро – Уилка. Поскольку все исследуемые признаки в обеих группах имели распределение, отличное от нормального, количественные данные описывали с помощью медианы (Me) и межквартильного размаха. Категориальные данные описывали с указанием абсолютных значений и процентных долей. Сравнение двух групп по количественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполняли с помощью U-критерия Манна – Уитни. Сравнение двух групп по качественному показателю, распределение которого отличалось от нормального, выполняли с помощью критерия (хи-квадрат) Спирмена. Различия считали достоверными при статистической значимости $p \leq 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

В исследовании не выявлено статистических различий между двумя группами по полу, возрасту, ИМТ и распределению сторон вмешательства (табл. 1). Таким образом, отсутствие статистических различий в исследуемых группах позволяет проводить их дальнейший анализ.

Показатели боли по шкале ВАШ у пациентов, получавших расширенное анестезиологическое пособие, ниже, чем в контрольной группе через 6 и 24 ч. после оперативного вмешательства ($p < 0,001$). Однако через 48 ч. значения показателей боли сопоставимы ($p = 0,213$) (табл. 2).

Таблица 1

Исходные характеристики пациентов, принявших участие в проводимом исследовании

Показатель	Основная группа (n = 29)	Группа сравнения (n = 33)	p
Возраст, лет	64 (58; 68)	66 (64; 72)	0,074*
ИМТ	32,4 (29,8; 34,1)	30,8 (28,9; 33,5)	0,413*
Сторона вмешательства (правая/левая), абс.	16/13	15/18	0,961**
Пол (м/ж), абс.	13/16	15/18	0,961**

Примечание. Используемый метод: * – U-критерий Манна – Уитни; ** – критерий (хи-квадрат) Спирмена.

Таблица 2

Показатели болевого синдрома по ВАШ в исследуемых группах через 6, 24 и 48 часов

Исследуемая группа	Показатель боли по ВАШ, Ме (Q1; Q3)		
	через 6 ч.	через 24 ч.	через 48 ч.
Основная	3,7 (3,4; 4,1)	3,5 (3,3; 3,6)	3,5 (3,1; 4,1)
Сравнения	4,3 (4,2; 4,8)	4,1 (3,9; 4,5)	3,7 (3,6; 3,9)

Примечание. Используемый метод: медиана (Ме) и межквартильный интервал (Q1; Q3).

Показатель общего количества обращений пациентов за обезболиванием в течение первых 24 ч. после эндопротезирования ниже в основной группе – 2 (1; 2) случая, по сравнению с контрольной группой – 3 (2; 3) случая ($p = 0,003$).

Ни в одной группе не зарегистрировано послеоперационной двигательной блокады четырехглавой мышцы бедра. Результаты мануального мышечного теста после операции сопоставимы: через 6 ч. – 3 (2,5; 3) и 3 (2; 3), через 24 ч. – 5 (4,5; 5) и 5 (4; 5) в основной и в группе сравнения соответственно ($p > 0,05$).

Временной интервал между окончанием операции и первой ходьбой на костылях короче в основной группе по сравнению с контрольной – 3,1 ч. (2,9; 3,4) и 3,98 ч. (3,8; 4,2) соответственно ($p < 0,001$).

Показатель длительности пребывания в стационаре ниже в основной группе по сравнению с контрольной: 1,5 (1,2; 2) суток и 2,5 (2; 3) суток соответственно ($p < 0,001$).

В обеих группах не зарегистрировано ни одного осложнения, связанного с расширенной регионарной анестезией или проведением ЭТС через ППД. Ни в одной группе не было необходимости в назначении опиоидных анальгетиков.

ОБСУЖДЕНИЕ

Мы считаем, что более длительный анальгетический эффект у пациентов основной группы обусловлен периферическим блоком иннервирующих капсулу тазобедренного сустава чувствительных ветвей бедренного и запирательного нервов. При этом в ходе проведенного исследования становится понятно, что через 48 ч. афферентная импульсация указанной группы нервов восстанавливается, и анальгетический эффект прекращается. Преимуществом данной методики по сравнению с другими существующими регионарными блокадами этой области является отсутствие моторного блока четырехглавой мышцы бедра, что также подтверждено в данной работе. Полученные результаты согласуются с данными литературы и выводами рандомизированных клинических исследований, проведенных G. Pascarella et al., J. Hu et al. и J. Zheng et al. [9, 23–28].

Низкий уровень боли непосредственно после оперативного вмешательства позволяет пациентам быстрее встать с кровати, тем самым сокращая временной интервал между окончанием операции и первой ходьбой на костылях. Мы полагаем, что быстрая активизация пациентов после ТЭТБС оказывает положительный эффект как на ранний послеоперационный реабилитационный период, так и на степень удовлетворенности пациента хирургическим лечением. Возможность пациентов самостоятельно встать, передвигаться с помощью костылей и обслуживать себя в первые часы после операции сни-

жает необходимость в постановке мочевых катетеров и позволяет применять памперсы, что снижает риск возникновения инфекции мочеполовой системы. Другим преимуществом активного раннего реабилитационного периода является отсутствие необходимости в назначении компрессионных чулок и эластичных бинтов пациентам без наличия сопутствующей патологии сердечнососудистой системы.

В проведенном нами исследовании зафиксировано, что длительность пребывания пациентов основной группы в стационаре составляла на одни сутки меньше, чем пациентов группы сравнения. Это связано с тем, что низкий болевой синдром и быстрое послеоперационное восстановление пациентов позволяли скорее достигать критериев выписки после ТЭТБС, описанных T. Wainwright et al. [29].

В данной работе выявлено снижение показателя приема нестероидных противовоспалительных средств в первые 24 ч. после операции у пациентов основной группы, что обусловлено продолжающимся анальгетическим эффектом регионарной анестезии. Сопоставимые с полученными нами результаты продемонстрированы в рандомизированном клиническом исследовании, проведенном L. Liang et al. [30].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование позволило сделать вывод о том, что применение PENG-block в сочетании с блокадой ЛКНБ при выполнении эндопротезирования ТБС через ППД имеет клиническое преимущество в первые 24 ч. послеоперационного периода по сравнению с выполнением ЭТС через ППД без расширенного анестезиологического пособия. Полученные данные позволяют рассматривать применение расширенного анестезиологического пособия при ЭТС через ППД в качестве дополнительного способа достижения ускорения послеоперационного восстановления пациентов.

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

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

Этическая экспертиза. Все манипуляции, выполненные в исследовании с участием людей, соответствовали стандартам локального этического комитета, а также Хельсинкской декларации 1964 г. и более поздним поправкам к ней или сопоставимым этическим стандартам. Для исследования этого типа формального согласия локального этического комитета не требуется.

Информированное добровольное согласие получено.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Fan Z, Yan L, Liu H, et al. The prevalence of hip osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *Arthritis Res Ther.* 2023;25(1):51. doi: 10.1186/s13075-023-03033-7
2. Vidović T, Ewald CY. Longevity-promoting pathways and transcription factors respond to and control extracellular matrix dynamics during aging and disease. *Front Aging.* 2022;3:935220. doi: 10.3389/fragi.2022.935220
3. Giorgino R, Albano D, Fusco S, et al. Knee Osteoarthritis: Epidemiology, Pathogenesis, and Mesenchymal Stem Cells: What Else Is New? An Update. *Int J Mol Sci.* 2023;24(7):6405. doi: 10.3390/ijms24076405
4. Nelson A. Epidemiology of hip osteoarthritis: the Johnston County Osteoarthritis Project. *HSS J.* 2023;19(4):413-417. doi: 10.1177/15563316231192372
5. Sloan M, Premkumar A, Sheth NP. Projected volume of primary total joint arthroplasty in the U.S., 2014 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2018;100(17):1455-1460. doi: 10.2106/jbjs.17.01617
6. Sheth D, Cafri G, Inacio MC, et al. Anterior and anterolateral approaches for THA are associated with lower dislocation risk without higher revision risk. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(11):3401-3408. doi: 10.1007/s11999-015-4230-0
7. Rodriguez JA, Deshmukh AJ, Rathod PA, et al. Does the direct anterior approach in THA offer faster rehabilitation and comparable safety to the posterior approach? *Clin Orthop Relat Res.* 2014;472(2):455-463. doi: 10.1007/s11999-013-3231-0
8. Taunton MJ, Mason JB, Odum SM, et al. Direct anterior total hip arthroplasty yields more rapid voluntary cessation of all walking aids: a prospective, randomized clinical trial. *J Arthroplasty.* 2014;29(9 Suppl):169-172. doi: 10.1016/j.arth.2014.03.051
9. Pascarella G, Costa F, Del Buono R, et al. Impact of the pericapsular nerve group (PENG) block on postoperative analgesia and functional recovery following total hip arthroplasty: a randomised, observer-masked, controlled trial. *Anaesthesia.* 2021;76(11):1492-1498. doi: 10.1111/anae.15536
10. Baker DW. History of the joint commission's pain standards: lessons for today's prescription opioid epidemic. *JAMA.* 2017;317:1117-1118. doi: 10.1001/jama.2017.0935
11. El Moheb M, Mokhtari A, Han K, et al. Pain or no pain, we will give you opioids: relationship between number of opioid pills prescribed and severity of pain after operation in US vs non-US patients. *J Am Coll Surg.* 2020;231:639-648. doi: 10.1016/j.jamcollsurg.2020.08.771
12. Scala VA, Lee LSK, Atkinson RE. Implementing regional nerve blocks in hip fracture programs: a review of regional nerve blocks, protocols in the literature, and the current protocol at the Queen's Medical Center in Honolulu, HI. *Hawaii J Health Soc Welf.* 2019;78(11 Suppl 2):11-15.
13. Del Buono R, Padua E, Pascarella G, et al. Pericapsular Nerve Group (PENG) block: an overview. *Minerva Anesthesiol.* 2021;87(4):458-466. doi: 10.23736/s0375-9393.20.14798-9

14. Girón-Arango L, Peng PWH, Chin KJ, et al. Pericapsular nerve group (PENG) block for hip fracture. *Reg Anesth Pain Med.* 2018;43(8):859-863. doi: 10.1097/aap.0000000000000847
15. Hua H, Xu Y, Jiang M, et al. Evaluation of pericapsular nerve group (PENG) block for analgesic effect in elderly patients with femoral neck fracture undergoing hip arthroplasty. *J Healthc Eng.* 2022;2022:1-7. doi: 10.1155/2022/7452716
16. Choi YS, Park KK, Lee B, et al. Pericapsular nerve group (PENG) block versus supra-inguinal fascia Iliaca compartment block for total hip arthroplasty: a randomized clinical trial. *J Pers Med.* 2022;12(3):408. doi: 10.3390/jpm12030408
17. Zheng J, Du L, Chen G, et al. Efficacy of pericapsular nerve group (PENG) block on perioperative pain management in elderly patients undergoing hip surgical procedures: a protocol for a systematic review with meta-analysis and trial sequential analysis. *BMJ Open.* 2023;13(1):e065304. doi: 10.1136/bmjopen-2022-065304
18. Orozco S, Muñoz D, Jaramillo S, Herrera AM. Pericapsular Nerve Group (PENG) block for perioperative pain control in hip arthroscopy. *J Clin Anesth.* 2020;59:3-4. doi: 10.1016/j.jclinane.2019.04.037
19. Kukreja P, Avila A, Northern T, et al. A Retrospective Case Series of Pericapsular Nerve Group (PENG) Block for Primary Versus Revision Total Hip Arthroplasty Analgesia. *Cureus.* 2020;12(5):e8200. doi: 10.7759/cureus.8200
20. Berlioz BE, Bojaxhi E. PENG Regional Block. 2023. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publ.; 2024.
21. da Costa AO, Izolani GV, Monteiro de Souza IF, Martins Santiago BV. Continuous pericapsular nerve group (PENG) block through an elastomeric infusion system, associated with the lateral cutaneous nerve block of the thigh for total hip arthroplasty. *BMJ Case Rep.* 2022;15(3):e246833. doi: 10.1136/bcr-2021-246833
22. Ерёмин И.К., Данильянц А.А., Загородний Н.В. Сравнительная оценка клинической эффективности и безопасности применения различных хирургических доступов при выполнении эндопротезирования тазобедренного сустава. *Гений ортопедии.* 2023;29(4):438-448. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-4-438-448. EDN: YPURLP
23. Kukreja P, Uppal V, Kofskey AM, et al. Quality of recovery after pericapsular nerve group (PENG) block for primary total hip arthroplasty under spinal anaesthesia: a randomised controlled observer-blinded trial. *Br J Anaesth.* 2023;130(6):773-779. doi: 10.1016/j.bja.2023.02.017
24. Pagano T, Scarpato F, Chicone G, et al. Analgesic evaluation of ultrasound-guided Pericapsular Nerve Group (PENG) block for emergency hip surgery in fragile patients: a case series. *Arthroplasty.* 2019;1(1):18. doi: 10.1186/s42836-019-0018-0
25. Aliste J, Layera S, Bravo D, et al. Randomized comparison between pericapsular nerve group (PENG) block and suprainguinal fascia iliaca block for total hip arthroplasty. *Reg Anesth Pain Med.* 2021;46(10):874-878. doi: 10.1136/rapm-2021-102997
26. Valoriani J, Conti D, Gianesello L, Pavoni V. Combined pericapsular nerve group and lateral femoral cutaneous nerve blocks for hip fracture in a polytraumatized patient-A case report. *Saudi J Anaesth.* 2022;16(2):211-213. doi: 10.4103/sja.sja_625_21
27. Hu J, Wang Q, Hu J, et al. Efficacy of Ultrasound-Guided Pericapsular Nerve Group (PENG) Block Combined With Local Infiltration Analgesia on Postoperative Pain After Total Hip Arthroplasty: A Prospective, Double-Blind, Randomized Controlled Trial. *J Arthroplasty.* 2023;38(6):1096-1103. doi: 10.1016/j.arth.2022.12.023
28. Zheng J, Pan D, Zheng B, Ruan X. Preoperative pericapsular nerve group (PENG) block for total hip arthroplasty: a randomized, placebo-controlled trial. *Reg Anesth Pain Med.* 2022;47(3):155-160. doi: 10.1136/rapm-2021-103228
29. Wainwright TW, Gill M, McDonald DA, et al. Consensus statement for perioperative care in total hip replacement and total knee replacement surgery: Enhanced Recovery After Surgery (ERAS®) Society recommendations. *Acta Orthop.* 2020;91(1):3-19. doi: 10.1080/17453674.2019.1683790
30. Liang L, Zhang C, Dai W, He K. Comparison between pericapsular nerve group (PENG) block with lateral femoral cutaneous nerve block and supra-inguinal fascia iliaca compartment block (S-FICB) for total hip arthroplasty: a randomized controlled trial. *J Anesth.* 2023;37(4):503-510. doi: 10.1007/s00540-023-03192-6

Статья поступила 21.02.2024; одобрена после рецензирования 27.05.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 21.02.2024; approved after reviewing 27.05.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Иван Константинович Ерёмин — врач травматолог-ортопед, eremindocor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0992-0706>;

Армен Альбертович Данильянц — ординатор, armendts@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6692-0975>;

Наталья Андреевна Ермакова — врач анестезиолог-реаниматолог, заведующая отделением, dr.anesthesiaandreevna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6084-0082>;

Усман Ахиятович Байсаров — врач травматолог-ортопед, maas_zn@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9434-8736>;

Зураб Малхазиевич Моларишвили — врач травматолог-ортопед, zurab2mail.ru@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-8436-8575>;

Никита Александрович Семёнов — врач травматолог-ортопед, senikitaal@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5818-9063>;

Николай Васильевич Загородний — доктор медицинских наук, профессор, чл.-корр. РАН, заведующий кафедрой, заведующий отделением, zagorodniy51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>.

Information about the authors:

Ivan K. Eremin — orthopaedic surgeon, eremindocor@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0992-0706>;

Armen A. Daniliyants — resident, armendts@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6692-0975>;

Natalya A. Ermakova — anesthesiologist-reanimatologist, Head of the Department, dr.anesthesiaandreevna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-6084-0082>;

Usman A. Baysarov — orthopaedic surgeon, maas_zn@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-9434-8736>;
Zurab M. Molarishvili — orthopaedic surgeon, zurab2mail.ru@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-8436-8575>;
Nikita A. Semenov — orthopaedic surgeon, senikitaal@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0006-5818-9063>;
Nikolay V. Zagorodniy — Doctor of Medical Sciences, Professor, Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, Head of the Department, zagorodniy51@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-6736-9772>.

Вклад авторов:

Ерёмин И.К. — хирургическое лечение пациентов, идея и разработка концепции статьи, редактирование текста статьи, поиск и анализ публикаций по теме исследования.

Данильянц А.А. — интерпретация полученных данных, статистическая обработка данных, поиск и анализ публикаций по теме исследования, подготовка и написание текста статьи.

Ермакова Н.А. — анестезиологическое ведение пациентов, поиск и анализ публикаций по теме исследования, идея и разработка концепции статьи.

Байсаров У.А. — хирургическое лечение пациентов, поиск и анализ публикаций по теме исследования.

Моларишвили З.М. — хирургическое лечение пациентов, поиск и анализ публикаций по теме исследования.

Семенов Н.А. — хирургическое лечение пациентов, поиск и анализ публикаций по теме исследования.

Загородний Н.В. — идея и разработка концепции статьи, окончательное редактирование статьи.

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

Научная статья

УДК 616.728.2/.3-77-089.843]:616-071/.072.8-052

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-659-669>

Клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов, поступивших на эндопротезирование суставов

А.Х. Джигкаев^{1,2}, А.М. Тынтерова², И.И. Козенков², Э.В. Хайбулин², Е.В. Трофимова²,
К.Ю. Попадьян², К.В. Гунбин², А.Г. Гончаров²✉

¹ Федеральный центр высоких медицинских технологий, Калининград, Россия

² Балтийский федеральный университет имени Иммануила Канта, Калининград, Россия

Автор, ответственный за переписку: Андрей Геннадьевич Гончаров, agoncharov59@mail.ru

Аннотация

Введение. Количество операций по эндопротезированию тазобедренных и коленных суставов в России и в мире в целом ежегодно возрастает. Большинство лиц, поступающих на лечение, составляют женщины пожилого или старческого возраста.

Цель работы — оценить клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов, поступающих на эндопротезирование коленного или тазобедренного сустава.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 448 пациентов, поступивших для планового оперативного вмешательства в объеме эндопротезирования коленного или тазобедренного сустава в отделение травматологии и ортопедии Федерального центра высоких медицинских технологий (ЦМВТ, Калининградская область). Пациентам осуществляли измерение антропометрических показателей, уточняли анамнез и наличие сопутствующих заболеваний. Перед операцией оценивали результаты общего и биохимического анализов крови. Нейропсихологическое исследование включало оценку когнитивной и исполнительной функций, уровней дистресса, депрессии, тревоги и соматизации.

Результаты. Практически у всех исследуемых пациентов выявлено ожирение различной степени. Типичным сочетанием сопутствующей патологии у добровольцев являлась гипертоническая болезнь 2 стадии 2–3 степени риска, хронический гастрит в стадии ремиссии. У половины добровольцев выявлены умеренные и высокие уровни дистресса, депрессии, тревоги и соматизации. У значительного числа волонтеров установлено снижение когнитивной функции от умеренного до высокого уровня. Показатели биохимического и общего анализа крови у пациентов за редким исключением незначительно отклонялись от общепринятых показателей половозрастной нормы. Выявлены изменения в лейкоцитарных индексах.

Обсуждение. Лейкоцитарные индексы свидетельствуют о наличии воспалительного процесса у большинства пациентов, связанного с основным заболеванием — остеоартритом. В формирование «провоспалительного статуса» вносят свой вклад митохондриальная дисфункция, старение иммунной системы. Широкая представленность когнитивных нарушений у волонтеров связана с возрастным статусом и наличием коморбидной патологии, в первую очередь, сердечнососудистыми заболеваниями. Наличие дистресса и тревоги ассоциировано с эмоциональным реагированием на хирургическое вмешательство.

Заключение. Описанные в статье факторы могут повлиять на длительность и течение реабилитационного процесса. Имеющийся у пациентов «провоспалительный статус» может осложнить заживление послеоперационной раны. Установленные нарушения со стороны нейропсихологического статуса в период послеоперационной реабилитации могут оказать существенное влияние на восстановление физического состояния пациента и процессы трудовой и социально-бытовой адаптации.

Ключевые слова: ортопедия, остеоартрит, эндопротезирование суставов, клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов

Для цитирования: Джигкаев А.Х., Тынтерова А.М., Козенков И.И., Хайбулин Э.В. Трофимова Е.В., Попадьян К.Ю., Гунбин К.В., Гончаров А.Г. Клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов, поступивших на эндопротезирование суставов. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):659-669. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-659-669. EDN: JТОМСU.

© Джигкаев А.Х., Тынтерова А.М., Козенков И.И., Хайбулин Э.В. Трофимова Е.В., Попадьян К.Ю., Гунбин К.В., Гончаров А.Г., 2024

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-659-669>

Clinical, functional and neuropsychological status of joint replacement patients

A.H. Dzhigkaev^{1,2}, A.M. Tynterova², I.I. Kozenkov², E.V. Khaibulin², E.V. Trofimova², K.Yu. Popadin², K.V. Gunbin², A.G. Goncharov²✉

¹ Federal Center for High Medical Technologies, Kaliningrad, Russian Federation

² Immanuel Kant Baltic Federal University, Kaliningrad, Russian Federation

Corresponding author: Andrey G. Goncharov, agoncharov59@mail.ru

Abstract

Introduction The number of hip and knee replacement surgeries is increasing annually in Russia and worldwide. The majority of patients receiving joint arthroplasties are elderly women.

The **objective** was to assess the clinical, functional and neuropsychological status of patients undergoing total knee or hip replacement.

Material and methods The study included 448 patients admitted for elective surgery of total knee or hip replacement at the Department of Traumatology and Orthopedics of the Federal Center for High Medical Technologies (CHMT, Kaliningrad Region). Anthropometric parameters of the patients were measured, the medical history and concomitant diseases recorded. Common blood count and biochemistry test were evaluated preoperatively. Neuropsychological examination included assessment of cognitive and executive functions, levels of distress, depression, anxiety and somatization.

Results Almost all patients studied were found to have varying degrees of obesity. A typical combination of concomitant pathology in volunteers was stage 2 hypertension, risk degree 2–3, and chronic gastritis in remission. Half of the volunteers showed moderate and high levels of distress, depression, anxiety and somatization. A significant number of volunteers showed moderate to high levels of cognitive decline. Age- and sex-related blood counts were slightly different from the normal ranges for a CBC and biochemistry. Changes in leukocyte count were detected.

Discussion Leukocyte counts indicated the osteoarthritis induced inflammatory process in most patients. Mitochondrial dysfunction and aging of the immune system contributed to the “proinflammatory status.” The high rate of cognitive impairment in volunteers was associated with age and comorbidity, cardiovascular conditions, in particular. Distress and anxiety were associated with emotional reactions to surgery.

Conclusion The factors reported can affect the duration and course of rehabilitation. The “pro-inflammatory status” of patients can complicate the healing of a postoperative wound. Neuropsychological disorders noted during postoperative rehabilitation can have a significant impact on physical recovery, social and professional adaptation.

Keywords: orthopedics, osteoarthritis, joint replacement, clinical, functional and neuropsychological status of patients

For citation: Dzhigkaev AH, Tynterova AM, Kozenkov II, Khaibulin EV, Trofimova EV, Popadin KYu, Gunbin KV, Goncharov AG. Clinical, functional and neuropsychological status of joint replacement patients. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):659-669. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-659-669

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартриты (ОА) — группа разнородных полиэтиологических заболеваний суставов — являются одной из основных причин инвалидизации лиц пожилого и старческого возраста. Частота клинических проявлений этого заболевания в популяции нарастает по мере увеличения возраста, и в группе лиц старше 85 лет ОА диагностируется у 85–90 % населения [1]. Соответственно, наряду с остеопорозом, ОА относят к возраст ассоциированным заболеваниям. Основной морфологической картиной этого заболевания является поражение всех элементов сустава: суставного хряща, менисков, синовиальной оболочки, околосуставных мышц и др. В основе патогенеза первичного гонартроза/коксартроза лежит хроническое, ассоциированное с возрастом, воспаление, приводящее к накоплению повреждений в органах и тканях [2]. В формировании «провоспалительного статуса» пациентов, по-видимому, существенный вклад вносит и развивающаяся с возрастом митохондриальная дисфункция, приводящая к каспаз-1 зависимой продукции провоспалительных интерлейкинов-1 β (IL-1 β) и 18 (IL-18) [3]. На ранних этапах заболевания основным терапевтическим подходом к лечению ОА является противовоспалительная терапия, направленная на стабилизацию дегенеративно-дистрофического процесса [4, 5]. Когда возможности противовоспалительной терапии ОА оказываются исчерпанными, используют хирургические методы лечения пациентов с этой патологией. Эндопротезирование коленного или тазобедренного суставов достаточно широко применяют при терминальной стадии артрозов. Ежегодно в мире выполняют более 2 млн. (в РФ около 150 тыс.) таких операций, и количество их в обозримой перспективе будет нарастать [6]. Особенностью контингента пациентов, поступающих на оперативное лечение по замене суставов, является пожилой или старческий возраст, большинство составляют женщины. Принимая во внимание высокую социальную значимость ОА, связанную с возможной утратой трудоспособности, прогнозируемый рост количества операций по эндопротезированию суставов, специфичность половозрастного состава пациентов нам представляется важным изучить клинико-лабораторный, социально-психологический и когнитивный статус пациентов, поступающих на оперативное лечение. Полученные данные могут повлиять на тактику ведения таких больных и последующую реабилитацию.

Цель работы — оценить клинико-функциональный и нейропсихологический статус пациентов, поступающих на эндопротезирование коленного или тазобедренного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Контингент обследованных

В исследовании приняли участие 448 пациентов, поступившие с диагнозом «посттравматический или первичный гонартроз / коксартроз 3 стадии». Диагноз установлен на основании жалоб, клинической картины и данных рентгенологического обследования. Оперативное вмешательство проводили по стандартной методике с установкой эндопротезов коленного сустава на костный цемент из полиметилметакрилата. Фиксацию эндопротезов тазобедренного сустава проводили тремя способами в зависимости от возраста, плотности костной ткани и индивидуальных особенностей строения вертлужной впадины и канала бедренной кости. Всем пациентам при эндопротезировании коленного сустава имплантировали эндопротезы фирм Smith&Nephew (США), Zimmer (США). Импланты тазобедренных суставов также были зарубежных производителей — Smith&Nephew (США), Zimmer (США), Aescularp (Германия). Операции проводили под комбинированной эпидуральной анестезией (нейроаксиальной анестезией). Послеоперационный период у пациентов протекал гладко, без осложнений. Выписка из стационара — на 7–8-е сутки после оперативного вмешательства.

Возраст пациентов составил ($64,77 \pm 10,29$) года. Пациентов в возрасте до 65 лет включительно было 46,13 %, старше — 53,87 %. Основная масса обследованных — это добровольцы в возрастной группе от 50 до 70 лет (59,73 %). По половой принадлежности распределение составило: 68,88 % женщины и 31,12 % мужчины.

Методы исследования

В отделении пациентам проводили измерение роста, веса, измеряли артериальное давление, частоту сердечных сокращений и дыхания, уточняли анамнез, наличие сопутствующих заболеваний, профессиональный статус. Силу мышц оценивали по стандартной методике с помощью ручного динамометра МЕГЕОН 34090 с точностью до 0,1 кг.

При лабораторных исследованиях оценивали результаты анализов до проведения операции: общий анализ крови, общий биохимический анализ. У всех пациентов дополнительно были рассчитаны лейкоцитарные индексы [7]:

1) SIRI (англ.: Systemic Inflammation Response Index — индекс системного воспалительного ответа) = абс. количество нейтрофилов \times абс. количество моноцитов \div абс. количество лимфоцитов;

- 2) SII (*англ.*: Systemic Inflammation Index — индекс системного воспаления) = количество нейтрофилов × количество тромбоцитов ÷ количество лимфоцитов;
- 3) AISI (*англ.*: Aggregate Inflammation Systemic Index — совокупный системный индекс воспаления) = количество нейтрофилов × количество моноцитов × количество тромбоцитов ÷ количество лимфоцитов;
- 4) IIR (*англ.*: Index Immunoreactivity). При использовании индекса иммунореактивности (IIR Index) учитывается сумма % эозинофилов и % лимфоцитов крови, которая делится на количество % моноцитов;
- 5) лейкоцитарный индекс интоксикации (ЛИИ) по В. К. Островскому = (количество миелоцитов в % + юные нейтрофилы в % + палочкоядерные нейтрофилы в % + сегментоядерные нейтрофилы в % + плазмоциты в %) / (моноциты в % + количество лимфоцитов в % + эозинофилы в % + базофилы в %);
- 6) индекс алергизации (ИА) = (количество лимфоцитов в % + 10 × (количество эозинофилов в % + 1)) / (количество нейтрофилов в % + количество моноцитов в % + количество базофилов в %).

Нейропсихологическое исследование с оценкой показателей когнитивной функции проводили на 4–6 день после операции. Общий балл когнитивного снижения верифицировали в соответствии с Монреальской шкалой оценки когнитивных функций (*англ.*: Montreal Cognitive Assessment, MoCA). Эпизодическую память исследовали путем оценки повторения 10 слов (тест Лурия). Для оценки исполнительной функции применяли методику словесно-цветовой интерференции с использованием теста Струпа. Речевую функцию исследовали с помощью субшкал MoCA (тесты на повторение двух синтаксически сложных предложений, беглость речи) и оценки семантической обработки информации (понимание идиом). Для оценки перцепции использовали тест для исследования предметного гнозиса (Бостонский тест называния). С целью оценки праксиса применяли тесты на конструктивный праксис (тест срисовывания 4-х геометрических фигур) и идеаторный праксис (выполнение сложных движений, включающих серию простых действий). Для исследования уровня внимания использовали Тест Бурдона. В качестве объективизации когнитивной функции всем пациентам проводили нейрофизиологическое исследование показателей амплитуды и латентности акустических эндогенных вызванных потенциалов (ВП) — P300 с симметричных областей левого и правого полушарий коры головного мозга в лобных и центральных отведениях.

Топическая представленность P300 (гиппокамп, теменная, верхневисочная и латеральная орбитофронтальная кора) позволила оценить перераспределение внимания, объем задействованной оперативной памяти, исполнительную функцию, когнитивную «гибкость» в цепочке «стимул–задача–ответ», управление двигательной реакцией на внешние стимулы.

Для усиления и усреднения ВП использовали аппаратный комплекс «Энцефалан-131-03». Оценку уровня дистресса, депрессии, тревоги и соматизации в баллах проводили посредством четырехмерно-го опросника (*англ.*: The Four-Dimensional Symptom Questionnaire, 4DSQ)

Статистическая обработка материала

Статистическую обработку полученных данных проводили с использованием стандартного пакета прикладных программ SPSS Statistics V23.0 for Windows, библиотек Pandas и SciPy. Количественные показатели оценивали на предмет соответствия нормальному распределению с помощью критерия Колмогорова – Смирнова. Количественные показатели, имеющие нормальное распределение, описывали с помощью средних арифметических величин (M) и стандартных отклонений (SD), показатели с распределением, отличным от нормального, — с помощью значений медианы, а также 1 и 3 квартилей (Q1, Q3). Оценка связей между лейкоцитарными индексами рассчитывали с помощью коэффициента ранговой корреляции Спирмена.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Социально-психологическая характеристика исследуемой группы

Около 80 % наших добровольцев были пенсионного возраста, однако примерно 50 % продолжали трудовую деятельность. По степени тяжести и степени напряженности условий труда все виды профессиональной деятельности наших волонтеров находились в рамках 1-го (оптимальный) и 2-го (допустимый) классов трудового процесса. Физическим трудом (ранее или в момент исследования) занимались 67 % испытуемых, что подразумевает повышенную мышечную нагрузку на опорно-двигательный аппарат. В структуре лиц, занимавшихся физическим трудом, можно выделить группы: с преимущественно механизированным трудом (механизаторы с/х машин, водители, сварщики, токари, специалисты по обслуживанию техники) — 26 %, полуавтоматическое и автоматическое производство (работники конвейерного производства) — 17 %, работники с/х производства (полеводы, работники тепличных

хозяйств) — 24 %. Среди пациентов, занятых интеллектуальным трудом (33 % исследуемой группы), можно выделить: операторов, занятых управлением технологическими процессами и машинами, — 8 %, управленцев, учителей и преподавателей ВУЗов, бухгалтеров, продавцов — 12 %, работников творческой сферы (музыканты, архитекторы, дизайнеры, конструкторы) — 2 %, медицинских работников (врачи, средний медицинский персонал) — 11 %. Практически все испытуемые отмечали, что в процессе трудовой деятельности испытывали повышенное психоэмоциональное напряжение, что подтверждено результатами нейропсихологического тестирования в настоящем исследовании. Анализ результатов оценки показателей 4DSQ выявил наличие дистресса высокого уровня у 16,67 % (> 20 баллов), умеренного уровня (10–20 баллов) — у 34,83%, низкого уровня — у остальных пациентов. Высокий уровень депрессии (> 5 баллов) верифицирован у 13,22 % пациентов, умеренный (2–5 баллов) — в 41,0 % случаев. Тревожность зарегистрирована у 51,32 % пациентов и соответствовала умеренному уровню (8–12 баллов). Оценка уровня соматизации выявила у 11,0 % пациентов высокий уровень (> 20 баллов), у 31,43 % — умеренный уровень (10–20 баллов).

Оценка когнитивных функций у добровольцев исследуемой группы

Структура когнитивных нарушений в исследуемой когорте пациентов характеризовалась проявлением умеренных когнитивных расстройств (MoCA — 20–25 баллов) у 170 (37,91 %) пациентов. Снижение когнитивной функции до уровня деменции (MoCA < 20 баллов) отмечено у 4,7 % пациентов в возрасте старше 65 лет. Результаты развернутого нейропсихологического тестирования продемонстрировали преимущественное снижение мнестической, регуляторных и нейродинамических функций. Диагностика слухоречевой памяти (повторение 10 слов без интерферирующего воздействия) выявила снижение памяти у 201 (44,93 %) больных до $(6,28 \pm 1,20)$ балла (в норме 7–10 слов). Анализ результатов тестирования пациентов с применением теста Струпа выявил сниженный низкий уровень исполнительной функции у 301 (67,24 %) пациента до $(11,34 \pm 3,50)$ балла (максимальное значение — 20 баллов). Речевая функция, в основном затрагивающая аспекты беглости речи, была снижена у 115 (25,74 %) пациентов до $(2,32 \pm 2,6)$ балла (в норме — 3 балла), в основном в группе пациентов старшей возрастной категории (старше 65 лет). Снижение в сфере семантической обработки информации до $(2,5 \pm 2,4)$ балла (в норме — 3 балла) в 11,8 % случаев и восприятия до $(22,61 \pm 1,30)$ балла (максимальное значение — 24 балла) у 14,35 % пациентов также было отмечено у пациентов старше 65 лет, имеющих общее когнитивное снижение по MoCA < 22 баллов. Конструктивный праксис был незначительно снижен до 4,3 балла у 116 (25,93 %) больных, что соответствовало неправильному копированию в среднем одной фигуры из четырех представленных. Идеаторный праксис был снижен у 102 (22,82 %) пациентов до 4,4 балла, что отражало невыполнение одной из пяти предложенных инструкций. Функция внимания была снижена у 43,99 % пациентов и соответствовала 4,05 балла (норма — 5 баллов). Наибольшее увеличение латентности когнитивного вызванного потенциала P300, выходящее за рамки нормальных показателей (> 450 мс), отмечалось в центральных (C3–A1) и лобных (F4–A2) отведениях у 53,4 % пациентов с когнитивным снижением.

Сопутствующие заболевания у добровольцев исследуемой группы

В ходе исследования проанализирована структура сопутствующих патологий, установленных у добровольцев. У 67 (14,96 %) человек из 448 в историях болезни нет указаний на наличие сопутствующих заболеваний (помимо основного диагноза — артроза коленного или тазобедренного сустава). Ведущее рейтинговое место среди заболеваний, распространенных в исследуемой группе, принадлежит болезням системы кровообращения: гипертоническая болезнь разных степеней и риска (75 %), ишемическая болезнь сердца (14 %), варикозное расширение вен нижних конечностей (56 %) и др. Патология со стороны сердечнососудистой системы отмечена у 243 (54,2 %) пациентов. Второе место в структуре коморбидной патологии (53,8 % больных) занимали болезни органов пищеварения, выявленные у 240 (53,6 %) больных. Среди диагнозов этой группы заболеваний наиболее часто указаны различные формы гастритов (возможно, это связано с тем, что все пациенты перед поступлением в клинику проходят гастроскопию). Болезни эндокринной системы, расстройства питания и нарушения обмена веществ отмечены у 68 (17,8 %) пациентов, из них 46 (12,1 %) больных страдали сахарным диабетом 2 типа, 9 (2,2 %) — сахарным диабетом 1 типа, 13 (3,5 %) больных имели другую эндокринную патологию. У 24 пациентов (5,36 %) в анамнезе отмечены новообразования (опухоли молочной железы, полипы ЖКТ и др.). Болезни мочеполовой системы имели 4,69 % волонтеров, болезни костно-мышечной системы — 16 пациентов (3,58 %). Кроме того, у 9 (2,4 %) пациентов выявлены единичные случаи инфекционных заболеваний, — хронические инфекционные гепатиты и болезни органов дыхания в стадии ремиссии. В единичных случаях выявлены заболевания нервной системы, болезни крови, офтальмологические заболевания. Наиболее типичным сочетанием сопутствующей патологии у наших добровольцев является гипертоническая болезнь 2 стадии 2–3 степени риска, хронический гастрит в стадии ремиссии.

Антропометрические показатели

Практически у всех пациентов исследуемой группы (более 91,2 %) выявлено ожирение различной степени. В среднем индекс массы тела (ИМТ) составил $(32,66 \pm 2,54)$ ед., что существенно превышает рекомендуемые нормальные значения этого показателя ($N = 1,85-25,0$). Наличие избыточного веса существенно повышает нагрузку не только на сердечнососудистую систему, но и на опорно-двигательный аппарат (в первую очередь, коленные и тазобедренные суставы). Кроме того, жировая ткань является источником провоспалительных цитокинов, что только усугубляет течение основного заболевания [8]. Оценка мышечной силы добровольцев показала, что в среднем показатели для исследуемой группы составили у мужчин $(47,42 \pm 11,78)$ кг и у женщин $(23,15 \pm 7,29)$ кг, что соответствует нормативным показателям для жителей России $(43,4 \pm 11,1)$ кг (М), $(27,6 \pm 6,1)$ кг (Ж). В возрастной группе старше 65 лет средние значения измерений были в границах у мужчин $(41,41 \pm 10,57)$ кг, а у женщин $(20,99 \pm 6,67)$ кг, что также вписывается в рамки возрастной нормы $(37,8 \pm 10,0)$ и $(24,8 \pm 5,8)$ (у мужчин и женщин соответственно). Важно отметить, что в старшей возрастной группе у 7,4 % мужчин и 23,95 % женщин выявлены показатели мышечной силы ниже так называемых «пороговых значений» (для мужчин 24 кг, для женщин 17 кг) [9]. Артериальное давление при поступлении у 24,5 % пациентов было выше референсных значений на 7–8 % и находилось в границах 140–155 мм рт. ст. Частота дыхательных движений и сердечных сокращений находились в границах физиологической нормы и составляли соответственно 14–18 вдохов в мин. и 68–82 сердечных сокращения в мин.

Группы крови и показатели общего анализа крови

Наличие у добровольцев той или иной группы крови практически совпадает с данными по распределению групп крови среди граждан России (<https://dop-mosreg.ru/rasprostranennost-gruppy-krovi-v-rossii>). Среди наших пациентов число лиц с отрицательным резус-фактором составляло 17,1 %, что выше среднестатистических данных по РФ (13,96 %). Возможно, это связано с тем, что в целом в Калининградской области количество лиц с отрицательным резус-фактором составляет 21,1 % (данные ГБУЗ «Станция переливания крови Калининградской области»).

Показатели общего анализа крови у наших пациентов за редким исключением незначительно отклонялись от общепринятых показателей половозрастной нормы. Поэтому мы предприняли попытку провести сравнительную оценку так называемых «новых» маркеров системного воспаления, которые, по существу, являются индексами, то есть расчетными показателями системного воспаления (SIRI, AISI, SII, IIR), а также гематологических маркеров, основанных на количестве лейкоцитов и их подтипов (ИА, ЛИИ). Данные индексы могут быть рассчитаны в рамках общего анализа крови с лейкоцитарной формулой, что делает их финансово доступными в рутинной клинической практике, поэтому они легко выполнимы. В последние годы показано, что эти индексы более точно предсказывают неблагоприятный прогноз у пациентов с самой разнообразной патологией по сравнению с гематологическими маркерами, основанными на количестве лейкоцитов и их подтипов (нейтрофилов, лимфоцитов и моноцитов) [10–15].

Медианное значение индекса системного воспалительного ответа (SIRI) в исследуемой группе составило 0,68 ед. ($Q_1 - 0,46$, $Q_3 - 1,03$). Важно отметить, что у только у 28,34 % испытуемых этот индекс был в границах описанной нормы 0,4–0,6 ед., у 14,06 % его значения были ниже 0,4 ед., а во всех остальных случаях (57,6 %) существенно превышали рекомендуемые значения. Расчет совокупного системного индекса воспаления (AISI) показал следующие значения: медиана — 170,95, $Q_1 - 109,23$ и $Q_3 - 280,81$. У 67,05 % добровольцев он превышал нормативные значения (51,10–125,57 ед.). В пределах физиологической нормы AISI отмечен у 28,8 % пациентов и ниже нее — у 4,15 %. Наблюдаемые значения индекса системного воспаления (SII) в исследуемой когорте составили: медиана — 414,67, $Q_1 - 304,86$, $Q_3 - 551,49$. Нормативные значения составляют 450–890 ед., у 28,11 % добровольцев он находился в этих границах. У 31,11 % этот показатель был выше нормативных значений, а у остальных (40,76 %) ниже нижней границы нормы. Нормальные значения лейкоцитарного индекса интоксикации (ЛИИ), рассчитанного в модификации по В.К. Островскому, находятся в промежутке от 1,0 до 1,6 ед. Легкой степени эндогенной интоксикации соответствуют показатели $(2,8 \pm 0,64)$ ед., средней степени — $(4,3 \pm 1,5)$ ед., тяжелой степени — $(8,1 \pm 0,34)$ ед. У большинства пациентов (82,2 %) отмечена легкая или средняя степень интоксикации, а у 13,6 % — тяжелая. Распределение индекса иммунореактивности (IIR) составило: медиана — 5,56, $Q_1 - 4,07$, $Q_3 - 7,23$. Повышенное значение IIR можно трактовать как увеличение иммунологической активности. Индекс иммунореактивности в норме составляет 18,1–37,4, у большей части пациентов (75,35 %) он был существенно снижен. В пределах нормативных значений отмечен у 21,89 %, выше всего у 2,76 % добровольцев. Эти результаты сопоставимы с данными по индексу алергизации (ИА). При алергических реакциях количество эозинофилов и лимфоцитов увеличивается в 56–86 % случаев. Анализ формулы крови позволяет вывести индекс для выявления алергической реакции — ИА. Колебания ИА у нормальных людей составляют от 0,68 до 1,08, тогда как у пациентов с различными формами алергических реакций увеличиваются

до 2,37–2,97. В нашем исследовании большинство пациентов имеет сниженный ИА (медиана — 1,08, Q1 — 0,85, Q3 — 1,45), что клинически подтверждается достаточно редко встречающимися жалобами на проявления аллергического синдрома. Медианное значение СОЭ у наших добровольцев составляло 11,00 (Q1 — 7,00, Q3 — 20,00), что вписывается в половозрастные границы нормативных значений.

Основные биохимические показатели у добровольцев исследуемой группы

При поступлении в клинику все пациенты помимо общего анализа крови сдавали анализ на биохимию крови, который включал основные показатели, позволяющие оценить работу внутренних органов. Уровень креатинина в исследуемой нами группе практически у всех пациентов находился в пределах половозрастной нормы, в среднем составлял $(81,41 \pm 21,82)$ мкмоль/л. Показатель общего билирубина у взрослых в норме составляет у женщин 3,4–17,1 мкмоль/л, у мужчин 3,7–18,5 мкмоль/л. В среднем в исследуемой группе этот показатель соответствовал $(13,65 \pm 6,69)$ мкмоль/л. У 18,2 % пациентов уровень билирубина превышал границы половозрастной нормы, достигая значений 30,5–40,6 мкмоль/л (медиана — 12,25, Q1 — 9,30, Q3 — 16,18). Аналогичные результаты получены и в отношении трансфераз. Медиана аспаратаминотрансферазы (АСТ) у наших пациентов составила 21,40 (Q1 — 17,10, Q3 — 27,95), медиана аланинаминотрансферазы (АЛТ) — 20,60 (Q1 — 16,00, Q3 — 28,85). Превышение значения этих показателей было отмечено у 10,7–14,84 % добровольцев. Как отмечалось выше, у части наших пациентов диагностирован сахарный диабет второго типа, все они получают терапию, соответственно, только у 15,5 % отмечен повышенный уровень глюкозы в крови, достигающий значений 10,0–12,5 ммоль/л. Медианное значение этого показателя в группе составило 5,65 ммоль/л (Q1 — 5,20, Q3 — 6,39). Уровень холестерина в сыворотке крови у пациентов исследуемой группы в основном был в пределах возрастной нормы $(5,80 \pm 1,40)$ ммоль/л, но у 8,52 % добровольцев отмечена гиперхолестеринемия более 8,0 ммоль/л. В целом, почти все наши пациенты не имели существенных отклонений в биохимическом анализе и, соответственно, не имели противопоказаний к хирургическому лечению.

ОБСУЖДЕНИЕ

Выявленные в ходе проведения динамометрии у части пациентов значения мышечной силы ниже пороговых значений, по мнению ряда авторов, являются диагностическим критерием развития саркопении [16] и ассоциированы с повышенным риском смерти, в первую очередь, от сердечнососудистых заболеваний [9, 17, 18, 19]. Результаты биохимических исследований, по-видимому, связаны с тем, что проведению оперативного вмешательства предшествует период (иногда достаточно длительный) подготовки, который включает проведение курсов терапии, физиотерапии, реабилитационных мероприятий, нацеленных на достижение состояния ремиссии коморбидных заболеваний, допускающих проведение хирургической операции по замене коленного или тазобедренного суставов.

Дискутабельным остается вопрос о применении лейкоцитарных индексов в качестве индикаторов тяжести и течения воспалительного процесса у пациентов с ОА. С одной стороны, в настоящем исследовании продемонстрирована определенная значимость данных маркеров на фоне референсных значений показателей общего анализа крови. С другой стороны, на значения лейкоцитарных индексов, по-видимому, оказывают влияние длительный, иногда неконтролируемый, прием НПВС и наличие сопутствующих заболеваний, ассоциированных с хроническим воспалением, таких как сахарный диабет, ожирение, некоторые заболевания ЖКТ. В исследуемой группе установлено снижение индекса иммунной реактивности на фоне высоких показателей индекса интоксикации и низких значений ИА, что также, возможно, связано со значительными дозами принимаемых пациентами нестероидных противовоспалительных лекарственных препаратов с целью снижения болевого синдрома. Важно отметить, что эти показатели тесно связаны между собой и находятся в прямой или обратной зависимости. Сила связи по шкале Чеддока варьирует в границах от «заметной» до «весьма высокой» ($p < 0,05$). В целом, оценка лейкоцитарных индексов свидетельствует о формировании у наших добровольцев «провоспалительного статуса», который характеризуется, в первую очередь, усилением продукции провоспалительных цитокинов. В меньшей степени повышаются уровни белков острой фазы воспаления, простагландины и факторы коагуляции. В формировании такого состояния принимают участие как минимум три тесно сопряженных между собой группы факторов: митохондриальная дисфункция, связанная, в первую очередь, с нарушением процессов митофагии, хронический эмоциональный стресс, возрастной воспалительный дисбаланс иммунной системы. Возрастной воспалительный статус иммунной системы объясняется тем, что в процессе жизни ответ иммунной системы, основным защитным механизмом которой является воспалительная реакция, становится избыточным. Такие изменения связывают с хронической стимуляцией иммунной системы, вирусами и бактериями, измененной микробиотой, повышенным количеством сенесцентных клеток, продуктами деградации межклеточного матрикса, накоплением с возрастом жировой ткани, что в итоге приводит к усилению продукции провоспалительных цитокинов [20]. Кроме того, в формирование «провоспалительного статуса» существенный вклад вносит развивающаяся с возрастом митохондриальная дисфункция. Она является результатом

нарушения процесса митофагии — утилизации дефектных митохондрий. Неполноценное удаление поврежденных митохондрий приводит к гиперактивации воспалительных сигнальных путей и впоследствии — к хроническому системному воспалению и развитию воспалительных заболеваний [21]. Ранее на небольшой выборке добровольцев (48 человек) нами проведено изучение митохондриальной дисфункции, которую мы оценивали по количеству копий митохондриального генома в постмитотических клетках мышечной ткани. В нашем исследовании продемонстрировано превышение критического порога гетероплазмы мтДНК в трети образцов мышечной ткани, при котором доминантным становится патологический фенотип с заметными биохимическими отклонениями в функционировании системы окислительного фосфорилирования (OXPHOS) [22]. В формировании провоспалительного статуса также вносит свой вклад хронический эмоциональный стресс, для которого характерны фазные изменения в иммунной системе. На начальных этапах на фоне снижения секреции провоспалительной группы цитокинов (IL-1 β , IL-6, TNF- α и IFN- γ) усиливается продукция противовоспалительных цитокинов (IL-10 и IL-13, TGF- β). Затем после перестройки активности ядерного цитоплазматического белка «карра-В» (содержащегося в Т-лимфоцитах, моноцитах / макрофагах) запускается механизм усиления экспрессии генов воспалительных цитокинов [23, 24]. Длительное (хроническое) влияние стрессорных факторов приводит к нарушению гомеостатической связи между нейроэндокринной и иммунной системами, что приводит к развитию «провоспалительного статуса» [25, 26, 27]. В нашем случае длительно действующими стрессорными факторами, как минимум, являются снижение работоспособности в результате существенного ограничения подвижности и хронический болевой синдром. Прямым подтверждением этого положения является диагностированное нами наличие у всех добровольцев проявлений дистресса разной степени тяжести, что согласуется с данными исследований, посвященных оценке психоэмоциональных нарушений у пациентов с хроническим болевым синдромом различной этиологии [28, 29].

Структура когнитивного дефицита характеризовалась проявлением умеренных нарушений у трети пациентов и деменции в 4,7 % случаев, что соответствует данным популяционных исследований, демонстрирующих распространенность деменции среди лиц в возрасте старше 60 лет до 6 % и недементных расстройств — от 12 до 41 % [30, 31]. Широкая представленность когнитивных нарушений в исследуемой категории пациентов связана с рядом причин. Во-первых, когнитивный фенотип с преимущественным нарушением памяти и регуляторных функций непосредственно связан с возрастным показателем (53,8 % пациентов старше 65 лет) и опосредован морфологическими и функциональными изменениями структур головного мозга пожилых пациентов [32]. Во-вторых, немаловажное значение имеет коморбидная патология, представленная в настоящем исследовании эндокринными (17,99 %) и сердечнососудистыми (55,81 %) заболеваниями, которые являются потенциальными предикторами развития когнитивных нарушений, преимущественно сосудистого характера с проявлением дизрегуляторного синдрома и снижения внимания [33]. Немаловажным фактором в развитии и прогрессировании когнитивного дефицита являются психоэмоциональные нарушения, характеризующиеся умеренным уровнем аффективных расстройств, соматизации и дистресса у половины обследуемых пациентов. Дистресс и тревога, наиболее часто встречающиеся у пациентов, ассоциированы с особенностями эмоционального реагирования в период ожидания хирургического вмешательства и отражаются на результатах тестирования когнитивной гибкости и внимания. Представленность речевых, перцепционных и семантических нарушений в группе пациентов старшей возрастной категории наряду со снижением памяти в большей степени отражает дегенеративный компонент старения, характерный для течения болезни Альцгеймера и других нейродегенеративных заболеваний [34, 35]. Однако, несмотря на полученные результаты, для верификации когнитивных нарушений дегенеративной или смешанной природы, необходимо проведение более масштабных когортных исследований с включением стандартного нейровизуализационного обследования. Удлинение волны P300 наряду с клиническим фенотипом когнитивного снижения позволяет рассматривать параметры латентности и амплитуды P300 в качестве объективизирующего метода оценки когнитивных функций.

Успешное восстановление функции прооперированного коленного или тазобедренного сустава в значительной степени определяется качественным проведением реабилитационных мероприятий. При этом необходимо учитывать ряд описанных в статье факторов, которые могут повлиять на длительность и течение восстановительного процесса. К таким факторам можно отнести пожилой возраст большей части пациентов и наличие сопутствующей патологии, избыточный вес и, соответственно, высокую нагрузку на оперированный сустав, «провоспалительный статус», характеризующийся преобладанием провоспалительных цитокинов в сыворотке, наличие дистресса и когнитивных нарушений у части пациентов. Реабилитационные мероприятия у наших добровольцев должны включать предоперационную подготовку к реабилитации и несколько этапов послеоперационного восстановления. Главной целью первого (дооперационного) этапа должно быть улучшение кровообращения в пораженном суставе, повышение мышечного тонуса нижних конечностей, тем более, что в нашем исследовании отмечено, что значительная часть наших испытуемых страдает нарушениями венозного кровообращения нижних конечностей. Однако перед операцией наши пациенты находятся в стационаре в среднем одни сутки, значит, соот-

ветствующие физиотерапевтические процедуры необходимо проводить на догоспитальном этапе. Послеоперационная реабилитация включает в себя три этапа, ее длительность может составлять до одного года. На первом этапе основной задачей является борьба с болью и инфекционными осложнениями. Апробированные в настоящей работе новые маркеры системного воспаления хорошо зарекомендовали себя в прогнозировании инфекционных осложнений в послеоперационном периоде у лиц с хирургической патологией [36, 37, 38, 39]. Их применение требует дальнейших углубленных исследований, тем более, что расчет индексов выполняется на основании стандартного общего анализа крови. На втором и третьем этапе реабилитации помимо послеоперационной физиотерапии, массажа и кинезотерапии, нацеленных на восстановление функции оперированного сустава, важнейшим компонентом является формирование мотивации пациента к активному участию в реабилитационном процессе для возвращения к обычному образу жизни. Многочисленные исследования последних лет, посвященные оценке воздействия когнитивных и психоэмоциональных расстройств на послеоперационный функциональный статус пациента, демонстрируют негативное влияние таких исходных нарушений как депрессия, сниженная мотивация, дистресс, регулирующая и мнестическая дисфункции на прогноз восстановления физического состояния пациента и процессов трудовой и социально-бытовой адаптации [40, 41, 42]. В нашем исследовании отмечен высокий удельный вес волонтеров с нарушениями когнитивной функции и в состоянии дистресса, поэтому в рамках планового операционного вмешательства скрининг когнитивных и психоэмоциональных нарушений является неотъемлемой частью предоперационной подготовки пациентов. Проведение нейрофизиологических и нейропсихологических исследований позволит оценить риск развития стойких послеоперационных когнитивных расстройств. А знание предоперационного нейропсихологического статуса может способствовать более точному прогнозированию риска развития грубых когнитивных расстройств как в ближайшем, так и в отдаленном послеоперационном периоде. Верифицированные когнитивные и психоэмоциональные нарушения при поступлении пациента на плановое хирургическое лечение позволят оптимизировать методы послеоперационной реабилитации и расширить рамки восстановительного потенциала.

Выявленная в настоящем исследовании значимость показателей динамометрии и лейкоцитарных индексов представляет собой интерес в рамках планирования проведения дальнейших исследований, нацеленных на верификацию маркеров системного воспаления и мышечной дисфункции у пациентов с остеоартритом. Сформированная база данных в дальнейшем будет сопоставлена и проанализирована с результатами по оценке уровня гетероплазмии в митохондриальной ДНК в мышечной ткани наших добровольцев. Полученные результаты, возможно, могут быть использованы для диагностики патологий старческого возраста и процесса здорового старения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выборочная оценка клинично-функционального и нейропсихологического статуса пациентов, поступающих на эндопротезирование коленного или тазобедренного суставов, позволила выявить основные показатели, которые могут в послеоперационном периоде повлиять на успешность реабилитационного процесса у пациентов пожилого возраста. Это показатели динамометрии ниже пороговых значений, избыточная масса тела, наличие снижения нейропсихологических функций и формирование «провоспалительного статуса».

Верифицированные маркеры различной модальности наряду с коморбидной патологией позволят сформировать оптимальные диагностические и терапевтические стратегии ведения пациентов в послеоперационном периоде. Выявление таких факторов как депрессия, дистресс и когнитивный дефицит, значительно суживающих рамки восстановительного потенциала, требуют вовлечения в процесс реабилитации специалистов нейропсихологической службы для коррекции психосоматического состояния пациента в послеоперационном периоде.

Источник финансирования. Исследование выполнено за счет средств гранта Российского научного фонда (проект № 21-75-20145).

Информированное согласие. При поступлении в клинику все испытуемые дали информированное согласие на участие в исследовании.

Этическая экспертиза. На проведение исследования получены положительные заключения независимого этического комитета ФГАО ВО БФУ им. И. Канта (№ 25 от 30.06.2021 г.) и Этического комитета ФГБУ «ФЦВМТ» МЗ РФ (№ 553 от 07.07.2021 г.).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Allen KD, Thoma LM, Golightly YM. Epidemiology of osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2022;30(2):184-195. doi: 10.1016/j.joca.2021.04.020
2. Зоткин Е.Г., Дыдыкина И.С., Лиля А.М. Воспалительная теория старения, возраст-ассоциированные заболевания и остеоартрит. *РМЖ*. 2020;(7):33-38.

3. Ганковская Л.В., Артемьева О.В., Намазова-Баранова Л.С. *Иммунологические аспекты старения и возраст-ассоциированная патология*. М.: Союз педиатров России; 2021:154.
4. Гонартроз. *Клинические рекомендации*. М.; 2021. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/гонартроз-кп-рф-2021/17005> (дата обращения: 27.08.2024).
5. Коксартроз. *Клинические рекомендации*. М.; 2021. URL: <https://diseases.medelement.com/disease/коксартроз-кп-рф-2021/17004> (дата обращения: 27.08.2024).
6. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А. и др. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):84-93. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93
7. Савченко А.А., Кудлай Д.А., Кудрявцев И.В. и др. *Технологии диагностики и коррекции иммунометаболических нарушений. Клиническая иммунология для практических врачей*. Красноярск: АС-КИТ; 2023:454.
8. Todosenko N, Khaziakhmatova O, Malashchenko V, et al. Adipocyte- and Monocyte-Mediated Vicious Circle of Inflammation and Obesity (Review of Cellular and Molecular Mechanisms). *Int J Mol Sci*. 2023;24(15):12259. doi: 10.3390/ijms241512259
9. Капустина А.В., Шальнова С.А., Куценко В.А. и др. Оценка мышечной силы с помощью кистевой динамометрии в российской популяции среднего и пожилого возраста и ее ассоциации с показателями здоровья. *Кардиоваскулярная терапия и профилактика*. 2023;22(8S):3792. doi: 10.15829/1728-8800-2023-3792. EDN: LSHNBA.
10. Шварц В.А., Ле Т.Г., Энгиноев С.Т. и др. Ассоциация новых маркеров системного воспаления с риском развития впервые возникшей послеоперационной фибрилляции предсердий при использовании колхицина у пациентов при операции на открытом сердце. *Анналы аритмологии*. 2023;20(1):22-33. doi: 10.15275/annaritmol.2023.1.3.
11. Громов М.И., Рысев А.В., Журавлев Ю.Ф. и др. Лейкоцитарный индекс интоксикации по В.К. Островскому как критерий оценки бактериальной инфекции. *Вестник хирургии имени И.И. Грекова*. 2023;182(2):53-58. doi: 10.24884/0042-4625-2023-182-2-53-58.
12. Xia Y, Xia C, Wu L, et al. Systemic Immune Inflammation Index (SII), System Inflammation Response Index (SIRI) and Risk of All-Cause Mortality and Cardiovascular Mortality: A 20-Year Follow-Up Cohort Study of 42,875 US Adults. *J Clin Med*. 2023;12(3):1128. doi: 10.3390/jcm12031128
13. Erre GL, Buscetta G, Mangoni AA, et al. Diagnostic accuracy of different blood cells-derived indexes in rheumatoid arthritis: A cross-sectional study. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(44):e22557. doi: 10.1097/MD.00000000000022557
14. Yang Y, Zhu J, Zhang M, et al. Systemic inflammation response index predicts the postoperative recurrence of chronic rhinosinusitis with nasal polyps: a retrospective study in the Chinese population. *Eur Arch Otorhinolaryngol*. 2024;281(1):207-217. doi: 10.1007/s00405-023-08182-8
15. García-Núñez A, Jiménez-Gómez G, Hidalgo-Molina A, et al. Inflammatory indices obtained from routine blood tests show an inflammatory state associated with disease progression in engineered stone silicosis patients. *Sci Rep*. 2022;12(1):8211. doi: 10.1038/s41598-022-11926-x
16. Murphy CH, McCarthy SN, McMorrow AM, et al. Prevalence and determinants of sarcopenia in community-dwelling older adults in Ireland. *Aging Clin Exp Res*. 2023;35(8):1651-1660. doi: 10.1007/s40520-023-02453-4
17. Wu Y, Wang W, Liu T, Zhang D. Association of grip strength with risk of all-cause mortality, cardiovascular diseases, and cancer in community-dwelling populations: a meta-analysis of prospective cohort studies. *J Am Med Dir Assoc*. 2017;18(6):551.e17-551.e35. doi: 10.1016/j.jamda.2017.03.011
18. García-Hermoso A, Cavero-Redondo I, Ramírez-Vélez R, et al. Muscular strength as a predictor of all-cause mortality in an apparently healthy population: a systematic review and meta-analysis of data from approximately 2 million men and women. *Arch Phys Med Rehabil*. 2018;99(10):2100-2113.e5. doi: 10.1016/j.apmr.2018.01.008
19. Scherbov S, Spitzer S, Steiber N. Thresholds for clinical practice that directly link handgrip strength to remaining years of life: estimates based on longitudinal observational data. *BMJ Open*. 2022;12(7):e058489. doi: 10.1136/bmjopen-2021-058489
20. Franceschi C, Bonafè M, Valensin S, et al. Inflamm-aging. An evolutionary perspective on immunosenescence. *Ann N Y Acad Sci*. 2000;908:244-254. doi: 10.1111/j.1749-6632.2000.tb06651.x
21. Dabravolski SA, Nikiforov NG, Zhuravlev AD, et al. Role of the mtDNA Mutations and Mitophagy in Inflammaging. *Int J Mol Sci*. 2022;23(3):1323. doi: 10.3390/ijms23031323
22. Гончаров А.Г., Татаркина М.А., Лобанова В.В. и др. Митохондриальная дисфункция как вероятный механизм запуска воспалительных заболеваний суставов. *Российский иммунологический журнал*. 2023;26(4):501-506. doi: 10.46235/1028-7221-13991-MDA
23. Прохоренко И.О., Германова В.Н., Сергеев О.С. Стресс и состояние иммунной системы в норме и патологии. Краткий обзор литературы Прохоренко. *Вестник медицинского института "РЕАВИЗ": реабилитация, врач и здоровье*. 2017;(1):82-90.
24. Cohen S, Janicki-Deverts D, Doyle WJ, et al. Chronic stress, glucocorticoid receptor resistance, inflammation, and disease risk. *Proc Natl Acad Sci U S A*. 2012;109(16):5995-5999. doi: 10.1073/pnas.1118355109
25. Hassamal S. Chronic stress, neuroinflammation, and depression: an overview of pathophysiological mechanisms and emerging anti-inflammatories. *Front Psychiatry*. 2023;14:1130989. doi: 10.3389/fpsy.2023.1130989
26. Karvandi MS, Sheikhzadeh Hesari F, Aref AR, Mahdavi M. The neuroprotective effects of targeting key factors of neuronal cell death in neurodegenerative diseases: The role of ER stress, oxidative stress, and neuroinflammation. *Front Cell Neurosci*. 2023;17:1105247. doi: 10.3389/fncel.2023.1105247
27. Vignjević Petrinović S, Milošević MS, Marković D, Momčilović S. Interplay between stress and cancer-A focus on inflammation. *Front Physiol*. 2023;14:1119095. doi: 10.3389/fphys.2023.1119095
28. Bartolomucci A, Palanza P, Sacerdote P, et al. Social factors and individual vulnerability to chronic stress exposure. *Neurosci Biobehav Rev*. 2005;29(1):67-81. doi: 10.1016/j.neubiorev.2004.06.009
29. Masafi S, Saadat SH, Tehranchi K, et al. Effect of Stress, Depression and Type D Personality on immune system in the incidence of coronary artery disease. *Open Access Maced J Med Sci*. 2018;6(8):1533-1544. doi: 10.3889/oamjms.2018.217
30. Qin F, Luo M, Xiong Y, et al. Prevalence and associated factors of cognitive impairment among the elderly population: A nationwide cross-sectional study in China. *Front Public Health*. 2022;10:1032666. doi: 10.3389/fpubh.2022.1032666

31. Левин О.С. Преддементные нейрокогнитивные нарушения у пожилых. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2019;119(9-2):10-17. doi: 10.17116/jnevro201911909210
32. Грибанов А.В., Джос Ю.С., Дерябина И.Н. с соавт. Старение головного мозга человека: морфофункциональные аспекты. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова. Спецвыпуски*. 2017;117(1-2):3-7. doi: 10.17116/jnevro2017117123-7.
33. Табеева Г.Р. Нейрокогнитивное старение и когнитивные расстройства. *Журнал неврологии и психиатрии им. С.С. Корсакова*. 2019;119(6):160-167. doi: 10.17116/jnevro2019119061160
34. Семенова Т.Н., Гузанова Е.В., Сорокина Т.А. Особенности речевых нарушений и их диагностики при нейродегенеративных заболеваниях. *Практическая медицина*. 2019;17(3):23-27. doi: 10.32000/2072-1757-2019-3-23-27
35. Iadecola C, Gottesman RF. Cerebrovascular Alterations in Alzheimer Disease. *Circ Res*. 2018;123(4):406-408. doi: 10.1161/CIRCRESAHA.118.313400
36. Mannion JD, Rather A, Fisher A, et al. Systemic inflammation and acute kidney injury after colorectal surgery. *BMC Nephrol*. 2024;25(1):92. doi: 10.1186/s12882-024-03526-w
37. Ren JY, Wang D, Zhu LH, et al. Combining systemic inflammatory response index and albumin fibrinogen ratio to predict early serious complications and prognosis after resectable gastric cancer. *World J Gastrointest Oncol*. 2024;16(3):732-749. doi: 10.4251/wjgo.v16.i3.732
38. Yuksel A, Velioglu Y, Korkmaz UTK, et al. Systemic immune-inflammation index for predicting poor outcome after carotid endarterectomy: A novel hematological marker. *Vascular*. 2024;32(3):565-572. doi: 10.1177/17085381221141476
39. Liang C, Zheng R, Liu X, et al. Predictive value of hematological parameters in cirrhotic patients with open umbilical hernia repair. *Hernia*. 2024;28(1):119-126. doi: 10.1007/s10029-023-02908-7
40. Viramontes O, Luan Erfe BM, Erfe JM, et al. Cognitive impairment and postoperative outcomes in patients undergoing primary total hip arthroplasty: A systematic review. *J Clin Anesth*. 2019;56:65-76. doi: 10.1016/j.jclinane.2019.01.024
41. Kitsis P, Zisimou T, Gkiatas I et al. Postoperative delirium and postoperative cognitive dysfunction in patients with elective hip or knee arthroplasty: a narrative review of the literature. *Life (Basel)*. 2022;12(2):314. doi: 10.3390/life12020314
42. Vajapey SP, McKeon JF, Krueger CA, Spitzer AI. Outcomes of total joint arthroplasty in patients with depression: A systematic review. *J Clin Orthop Trauma*. 2021;18:187-198. doi: 10.1016/j.jcot.2021.04.028

Статья поступила 15.06.2024; одобрена после рецензирования 24.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 15.06.2024; approved after reviewing 24.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Ахсарбек Хазбечирович Джигкаев — кандидат медицинских наук, заведующий отделением, доцент кафедры, dzigkaev.ah@kldcardio.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1637-1803>, SPIN: 4072-9811;

Анастасия Михайловна Тынтерова — кандидат медицинских наук, доцент кафедры, antynterova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1743-4713>, SPIN: 2999-5812;

Иван Иванович Козенков — младший научный сотрудник, ikozenkov@kantiana.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4706-4653>, SPIN: 7377-2178;

Эльдар Вадимович Хайбулин — лаборант-исследователь, khaibulin.98@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8454-3734>;

Елена Витальевна Трофимова — аспирант, младший научный сотрудник, trofimova_elena@vk.com, <https://orcid.org/0009-0003-9286-4374>, SPIN: 3391-5198;

Константин Юрьевич Попадьян — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, konstantinpopadin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2117-6086>, SPIN: 3029-4740;

Константин Владимирович Гунбин — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, genkvg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1851-8169>, SPIN: 6638-9367;

Андрей Геннадьевич Гончаров — кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник, agoncharov59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6967-8838>, SPIN: 7159-0402.

Information about the authors:

Akhsarbek H. Dzhigkaev — Candidate of Medical Sciences, Head of Department, Associate Professor, dzigkaev.ah@kldcardio.ru, <https://orcid.org/0009-0009-1637-1803>, SPIN: 4072-9811;

Anastasia M. Tynterova — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, antynterova@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1743-4713>, SPIN: 2999-5812;

Ivan I. Kozenkov — Junior Researcher, ikozenkov@kantiana.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4706-4653>, SPIN: 7377-2178;

Eldar V. Khaibulin — Research Assistant, khaibulin.98@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0009-8454-3734>;

Elena V. Trofimova — Post-graduate student, Junior Researcher, trofimova_elena@vk.com, <https://orcid.org/0009-0003-9286-4374>, SPIN: 3391-5198;

Konstantin Yu. Popadin — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, konstantinpopadin@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2117-6086>, SPIN: 3029-4740;

Konstantin V. Gunbin — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher, genkvg@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0003-1851-8169>, SPIN: 6638-9367;

Andrey G. Goncharov — Candidate of Medical Sciences, Senior Researcher, agoncharov59@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-6967-8838>, SPIN: 7159-0402.

Научная статья

УДК 579.61:616.71-018.46-002:615.849.19

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676>



Антибактериальное действие полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa*, ведущих возбудителей остеомиелита

И.В. Шипицына✉, Е.С. Спиркина

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

Для корреспонденции: Ирина Владимировна Шипицына, ivschimik@mail.ru

Аннотация

Введение. Изучение антибактериального эффекта фотодинамической терапии (ФДТ) в отношении ведущих возбудителей хронического остеомиелита — одно из перспективных направлений на сегодняшний день.

Цель работы — оценить антибактериальный эффект в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* при использовании лазера АЛОД-01 в присутствии фотодитазина.

Материалы и методы. Объект исследования — суточные музейные культуры грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, принадлежащих к двум таксонам: *Staphylococcus aureus* (№ 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (№ 27853). Антибактериальный эффект после воздействия лазером в присутствии фотодитазина на микробные клетки исследуемых культур оценивали по отсутствию роста микроорганизмов в зоне действия пучка.

Результаты. При воздействии лазером совместно с фотодитазином (концентрация 0,5–1,0 мг/мл) на *S. aureus* в течение двух минут при 200–300 Дж в зоне действия пучка наблюдали бактерицидный эффект. Отсутствие роста бактерий на всей поверхности чашки Петри было достигнуто при световом воздействии в 400 Дж в течение 5 мин. и концентрацией фотодитазина — 1,0 мг/мл. Воздействие лазера в течение 2 мин. в присутствии фотодитазина в концентрации 0,5 мг/мл и 1 мг/мл не оказывало антибактериального эффекта в отношении штаммов *P. aeruginosa*. На чашке наблюдали сплошной рост микроорганизмов. Увеличение световой дозы и времени воздействия способствовало снижению роста микробных клеток. Бактерицидный эффект получен только по центру чашки при обработке бактериальной суспензии фотодитазином в концентрации 5 мг/мл.

Обсуждение. Эффективность ФДТ зависит от вида микроорганизма, анатомического местоположения очага инфекции, а также свойств фотосенсибилизатора и используемого лазера. В зависимости от строения клеточной стенки наблюдается различная восприимчивость бактерий к фотодинамическим эффектам.

Заключение. Штаммы *S. aureus* могут быть успешно фотоинактивированы с применением фотодитазина. Для штаммов *P. aeruginosa* не удалось найти режим, при котором рост микробных клеток отсутствовал на всей чашке. Фотодинамическая реакция возникает только при действии адекватных доз световой энергии на фотосенсибилизаторы в присутствии кислорода в среде, при этом фотодинамическое повреждение носит локальный характер, и бактерицидный эффект лимитируется зоной светового воздействия.

Ключевые слова: фотодинамическая терапия, фотодитазин, хронический остеомиелит, бактерицидный эффект

Для цитирования: Шипицына И.В., Спиркина Е.С. Антибактериальное действие полупроводникового лазера в отношении бактерий *S. aureus* и *P. aeruginosa*, ведущих возбудителей остеомиелита. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):670-676. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676. EDN: OILPLH.

Original article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676>



Antibacterial effect of semiconductor laser radiation against the strains of *S. aureus* and *P. aeruginosa*, leading pathogens in osteomyelitis

I.V. Shipitsyna✉, E.S. Spirkina

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

Corresponding author: Irina V. Shipitsyna, ivschimik@mail.ru

Abstract

Introduction The study of the antibacterial effect of photodynamic therapy against the leading pathogens of chronic osteomyelitis is one of the promising directions today.

Purpose of the work was to evaluate the antibacterial effect against the strains of *Staphylococcus aureus* and *Pseudomonas aeruginosa* with the ALOD-01 laser system in the presence of photodithazine.

Materials and methods The object of the study was 24-hour archival cultures of gram-positive and gram-negative microorganisms belonging to two taxa: *Staphylococcus aureus* (25923), *Pseudomonas aeruginosa* (27853). The antibacterial effect after the exposure to laser radiation in the presence of photodithazine on the microbial cells of the studied cultures was assessed by the absence of microorganism growth in the area of the light beam.

Results Laser exposure in combination with photodithazine (concentration 0.5–1.0 mg/ml) on *S. aureus* for two minutes at 200–300 J achieved a bactericidal effect in the beam area. A bactericidal effect on the entire surface of the Petri dish was achieved with light exposure of 400 J for 5 minutes and a photodithazine concentration of 1.0 mg/ml. Laser exposure for 2 minutes in the presence of photodithazine at a concentration of 0.5 mg/ml and 1 mg/ml did not have an antibacterial effect on *P. aeruginosa* strains. Continuous growth of microorganisms was observed on the dish. Increasing the light dose and exposure time contributed to a decrease in the growth of microbial cells. A bactericidal effect was obtained only in the center of the dish in treating the bacterial suspension with photodithazine at a concentration of 5 mg/ml.

Discussion The effectiveness of PDT depends on the type of microorganisms, the anatomical location of the infection site, as well as the properties of the photosensitizer and the laser used. Depending on the structure of the cell wall, different susceptibility of bacteria to photodynamic effects is observed.

Conclusion *S. aureus* strains can be successfully photoinactivated using photodithazine. For *P. aeruginosa* strains, it was not possible to find a regime in which microbial cell growth was absent throughout the dish. The photodynamic reaction occurs only when adequate doses of light energy act on the photosensitizer in the presence of oxygen in the medium, while the photodynamic damage is local and the bactericidal effect is limited by the zone of light exposure.

Keywords: photodynamic therapy, photodithazine, chronic osteomyelitis, antimicrobial effect

For citation: Shipitsyna IV, Spirkina ES. Antibacterial effect of semiconductor laser radiation against the strains of *S. aureus* and *P. aeruginosa*, leading pathogens in osteomyelitis. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):670-676. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-670-676

ВВЕДЕНИЕ

Общепризнанным методом лечения хронического остеомиелита является хирургический. Тем не менее, по данным ряда авторов, неудовлетворительные результаты при лечении пациентов с костно-суставной патологией, осложненной гнойной инфекцией, наблюдаются у 25–30 % больных, рецидивы заболевания встречаются в 25–68 % случаев [1–4].

Большую роль в развитии хронического остеомиелита играет бактериальная инфекция. При поступлении в стационар из ран больных хроническим остеомиелитом наиболее часто выделяют грамположительные микроорганизмы, в основном, *Staphylococcus aureus*. Присоединение госпитальной микрофлоры (*Pseudomonas aeruginosa*, *Enterobacter cloacae*, *Klebsiella pneumoniae* и др.) в процессе лечения усугубляет течение патологического процесса [4]. С помощью стандартной антибактериальной терапии не всегда удается добиться полной элиминации возбудителя из очага. В связи с чем продолжается поиск новых методов и средств, позволяющих добиться положительных результатов в лечении данной категории пациентов.

В настоящее время в клинической практике широко используют метод фотодинамической терапии (ФДТ), основанный на применении фотосенсибилизаторов (ФС) и низкочастотного лазерного излучения [5–8]. В микробных клетках происходит образование синглетного кислорода и свободных радикалов, оказывающих на них токсическое воздействие [6]. Метод относится к малоинвазивным и нетоксичным в отношении здоровых клеток, что позволяет применять его в различных областях медицины: онкологии, гинекологии, отоларингологии и др. [9–22].

Так как наиболее частыми представителями микрофлоры ран больных хроническим остеомиелитом на сегодняшний день являются *S. aureus* и *P. aeruginosa*, изучение возможностей применения ФДТ в качестве альтернативного метода стандартной антибиотикотерапии при лечении данной категории пациентов можно считать актуальным.

Цель работы — оценить антибактериальный эффект в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* и *Pseudomonas aeruginosa* при использовании лазера АЛОД-01 в присутствии фотодитазина.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Материалом для исследования послужили суточные музейные культуры грамположительных и грамотрицательных микроорганизмов, принадлежащих к двум таксонам: *Staphylococcus aureus* (№ 25923), *Pseudomonas aeruginosa* (№ 27853).

Эксперимент проходил в два этапа. На первом оценивали влияние облучения светом с помощью лазерной установки АЛОД-01 («АЛКОМ медика», Россия) (длина волны (λ) 660 нм, выходная мощность до 3Вт) на жизнеспособность микробных клеток в отсутствие препарата. Для этого на поверхность питательного агара (Агар Мюллера – Хинтона) в чашках Петри, засеянного газонном суточных культур исследуемых микроорганизмов с определенной концентрацией микробных клеток на 1 мл мясоептонного бульона (МПБ), воздействовали полупроводниковым лазером в течение установленного опыта времени. Параметры лазерного излучения и исходные концентрации суточных культур микроорганизмов представлены в таблице 1. Результат оценивали через 24 ч. по наличию или отсутствию роста в месте воздействия лазером.

Таблица 1

Параметры лазерного излучения

Время облучения (t), мин.	Высота воздействия световода (h), см	Мощность излучения (P), Вт	Прицельный пучок, %	Световая доза, Дж	Концентрация микробных клеток на 1 мл	Объем вносимой суспензии (V), мл
2	18	1,7	25	200	5×10^7	50
2	18	2,4	25	300	5×10^7	50
5	18	2,5	90	400	2×10^7	20
5	5	2,5	90	400	1×10^6	20

На втором этапе в суспензию суточных культур исследуемых микроорганизмов добавляли раствор ФС с известной концентрацией. По истечении 30 мин. делали газон на поверхности питательного агара (Агар Мюллера – Хинтона) и воздействовали полупроводниковым лазером в течение установленного опыта промежутка времени с заданными параметрами излучения (табл. 2). Фотодитазин является фотосенсибилизатором второго поколения, предназначенным для флюоресцентной диагностики (ФД) и ФДТ злокачественных опухолей.

Таблица 2

Характеристика этапов исследования

Концентрация фотодитазина, мг/мл	Время облучения (t), мин.	Соотношение по объему (V)	Световая доза, Дж	Высота (h), см.	Мощность излучения (P), Вт.	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	Концентрация микробных клеток на 1 мл
0,5	2	1:1	300	18	1,7	25	50	5×10 ⁷
1,0	2	1:1	200	18	2,4	25	50	5×10 ⁷
1,0	2	1:1	200	18	1,7	25	50	5×10 ⁷
1,0	5	1:1	300	5	2,5	90	50	2×10 ⁷
1,0	5	1:1	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:2	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:3	400	18	2,5	90	50	1×10 ⁶
5,0	5	1:3	400	5	2,5	90	50	1×10 ⁶
1,0	5	1:3	400	5	2,5	90	50	1×10 ⁶

Анализ полученных данных проводили с помощью программы Gnumeric 1.12.17.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Воздействие светом с помощью лазерной установки на микробные клетки исследуемых культур в отсутствие фотодитазина не оказывало бактерицидного эффекта. На чашках Петри наблюдали сплошной рост микроорганизмов (табл. 3).

Таблица 3

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на микробные клетки в отсутствие ФС

Воздействие лазера в отсутствие фотодитазина	Время (t), мин.	Световая доза, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	КОЕ/мл (MFar)	Результат	
								<i>S. aureus</i>	<i>P. aeruginosa</i>
Л-, ФС-	-	-	-	-	-	50	0,5	Сплошной рост	
Л+, ФС-	2	200	18	1,7	25	50	0,5		
Л+, ФС-	2	300	18	2,4	25	50	0,5		
Л+, ФС-	5	400	18	2,5	90	20	0,2		
Л+, ФС-	5	400	5	2,5	90	20	0,01		

Примечание: Л – лазер, ФС – фотосенсибилизатор.

При воздействии лазером совместно с фотодитазином (концентрация 0,5–1,0 мг/мл) на *S. aureus* в течение 2 мин. при 200–300 Дж достигнут бактерицидный эффект в зоне действия пучка (табл. 4). Действие лазера носило локальный характер. По краям чашки наблюдали незначительный рост микробных клеток. Бактерицидный эффект на всей поверхности чашки Петри достигнут при световом воздействии в 400 Дж в течение 5 мин. и концентрацией ФС 1,0 мг/мл.

Таблица 4

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на музейные культуры *S. aureus* в присутствии фотодитазина

Воздействие лазера в присутствии фотодитазина	Время (t), мин.	Световая доза, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт.	Прицельный пучок, %	Объем суспензии (V), мкл	КОЕ/мл (MFar)	Результат
Л+, ФС+ 0,5 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	По центру роста нет, единичные колонии по краям
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	300	18	2,4	25	50	0,5	Отсутствует рост в зоне действия пучка, по краям частичный рост в виде нескольких изолированных колоний
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	300	5	2,5	90	50	0,02	Бактерицидный эффект
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	

Примечание: Л – лазер; ФС – фотосенсибилизатор.

При действии лазера совместно с фотодитазином на микробные культуры *P. aeruginosa* в зависимости от режима излучения получены неоднозначные результаты. Так, воздействие лазера в течение двух мин. в присутствии фотодитазина в концентрации 0,5 мг/мл и 1 мг/мл не оказывало антибактериального эффекта. На чашке наблюдали сплошной рост микроорганизмов. Увеличение световой дозы и времени воздействия способствовало снижению роста микробных клеток (табл. 5). Бактерицидный эффект получен по центру чашки при обработке бактериальной суспензии фотодитазином в концентрации 5 мг/мл. По краям наблюдали единичные колонии.

Таблица 5

Воздействие полупроводникового лазера АЛОД-01 на музейные культуры *P. aeruginosa* в присутствии ФС

Воздействие лазера в присутствии фотодитазина	Время (t), мин.	Количество энергии, Дж	Высота (h), см	Мощность (P), Вт	Прицельный пучок, %	Объем вносимой суспензии (V), мкл	КОЕ /мл (MFar)	Результат
Л+, ФС+ 0,5 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	Сплошной рост
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	300	18	2,4	25	50	0,5	По центру частичное угнетение роста
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	2	200	18	1,7	25	50	0,5	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	300	5	2,5	90	50	0,02	В районе действия пучка значительное угнетение роста
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:1)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	В области наибольшей концентрации препарата отсутствует рост (диаметр 10 мм)
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:2)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	Стерильная зона диаметром 12 мм
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:3)	5	400	18	2,5	90	50	0,01	
Л+, ФС+ 1,0 мг/мл (1:3)	5	400	5	2,5	90	50	0,01	Частичный рост, единичные колонии по центру, сплошной рост по краям
Л+, ФС+ 5,0 мг/мл (1:1)	5	400	5	2,5	90	50	0,01	Стерильная зона по центру, единичные колонии по краям

Примечание: Л – лазер; ФС – фотосенсибилизатор.

Установлено, что полупроводниковый лазер АЛОД-01 вне зависимости от выбранного режима сам по себе не оказывал антибактериального эффекта. Использование лазера совместно с фотодитазином значительно уменьшало количество микробных клеток, а в отношении штаммов *Staphylococcus aureus* способствовало выраженному бактерицидному эффекту (концентрация фотодитазина – 1,0 мг/мл и дозы излучения 400 Дж, время воздействия – 2 мин). Для штаммов *Pseudomonas aeruginosa* не удалось найти режим, при котором рост микробных клеток отсутствовал на всей чашке. Однако использование фотодитазина в максимальной концентрации (5 мг/мл), времени воздействия лазера 5 мин. и дозы излучения 400 Дж способствовало точечной гибели микроорганизмов.

ОБСУЖДЕНИЕ

Существующая проблема распространения антибиотико-резистентных штаммов способствует поиску новых методик и лекарственных препаратов для лечения гнойных инфекций. В настоящее время ФДТ относится к перспективным направлениям [9, 12, 14–16, 20–24]. Важное преимущество этого метода перед антибиотикотерапией заключается в отсутствии токсичности фотосенсибилизаторов в отношении здоровых тканей [5, 12, 20].

Установлено, что эффективность ФДТ зависит от вида микроорганизма, анатомического местоположения очага инфекции, а также свойств фотосенсибилизатора и используемого лазера [8, 13–17, 24–30]. Механизмы, лежащие в основе действия лазерного облучения на бактериальные штаммы, до конца не изучены [5, 25]. Различная восприимчивость к фотодинамическим эффектам грамотрицательных и грамположительных бактерий связана со строением их клеточных стенок. Пептидогликановый слой бактериальной клеточной стенки *S. aureus* обладает гораздо более высокой проницаемостью (например, для антибиотиков), чем наружная мембрана грамотрицательных бактерий.

В одной из работ авторы изучали влияние лазера на рост метициллин-резистентного штамма золотистого стафилококка с использованием димегина. Показано, что с увеличением дозы фотовоздействия наблюдается бактериостатический эффект [31]. Другими авторами была доказана эффективность использования ФДТ с применением в качестве ФС фотодитазина в лечении воспалительных заболеваний суставов у детей и подростков [9]. Ю.Л. Чепурная с соавт. использовали ФДТ в лечении гнойных заболеваний кисти. Авторами отмечено заметное заживление послеоперационных ран тех пациентов, у которых применяли ФДТ [15]. Также разработана методика комбинированной антимикробной фотодинамической терапии в хирургии гнойных ран и доказана ее эффективность [8, 14, 16, 32].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование показало, что музейные штаммы *S. aureus* могут быть успешно фотоинактивированы с применением фотодитазина. Фотодинамическая реакция возникает только при действии адекватных доз световой энергии на фотосенсибилизаторы в присутствии кислорода в среде, при этом фотодинамическое повреждение носит локальный характер, и бактерицидный эффект лимитируется зоной светового воздействия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Миронов С.П., Цискарашвили А.В., Горбатюк Д.С. Хронический посттравматический остеомиелит как проблема современной травматологии и ортопедии (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2019;25(4):610-621. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621
2. Трушин П.В., Разин М.П. Хронический остеомиелит трубчатых костей: современный взгляд на проблему. *Вятский медицинский вестник*. 2023;77(1):114-119. doi: 10.24412/2220-7880-2023-1-114-119
3. Дьячкова Г.В., Ключин Н.М., Шастов А.Л. и др. Остеомиелитические полости, как форма хронического остеомиелита, с точки зрения рентгеноморфологии. *Гений ортопедии*. 2019;25(2):199-206. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-2-199-206
4. Шипицына И.В., Осипова Е.В. Мониторинг ведущей грамположительной микрофлоры и ее антибиотикочувствительности у лиц с хроническим остеомиелитом за трехлетний период. *Гений ортопедии*. 2022;28(2):189-193. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-2-189-193
5. Kwiatkowski S, Knap B, Przystupski D, et al. Photodynamic therapy - mechanisms, photosensitizers and combinations. *Biomed Pharmacother*. 2018;106:1098-1107. doi: 10.1016/j.biopha.2018.07.049
6. Гельфонд М.Л., Рогачев М.В. *Фотодинамическая терапия. Фундаментальные и практические аспекты: учебное пособие для обучающихся в системе высшего и дополнительного профессионального образования*. СПб.: НМИЦ онкологии им. Н.Н. Петрова; 2018:148. Доступно по: https://www.niioncologii.ru/education/education/training/training_manuals_2023/Гельфонд_М_Л_Фотодинамическая_терапия_в_онкологии_2018.pdf. Ссылка активна на 08.17.2024.
7. Наумович С.А., Плавский В.Ю., Кувшинов А.В. Антимикробная фотодинамическая терапия: преимущества, недостатки и перспективы развития. *Современная стоматология*. 2020;(1):11-16.
8. Санарова Е. В., Ланцова А.В., Дмитриева М.В., и др. Фотодинамическая терапия – способ повышения селективности и эффективности лечения опухолей. *Российский биотерапевтический журнал*. 2014;13(3):109-118.
9. Елисеенко В.И., Шин Е.Ф., Сорокатый А.А. Морфологическая оценка фотодинамической терапии гнойных ран с фотосенсибилизатором комплексированными амфифильными полимерами. *Госпитальная медицина: наука и практика*. 2019;1(1):49-52.
10. Семенов Д.Ю., Васильев Ю.Л., Дыдыкин С.С., и др. Антимикробная и антимикотическая фотодинамическая терапия (обзор литературы). *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):25-31. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-25-31
11. Баранов А.В., Цыганова Г.И., Пименова Л.Я., Картусова Л.Н. Состояние научных исследований в области фотодинамической терапии в Российской Федерации в 2016-2017 гг. *Лазерная медицина*. 2018;22(3):44-49. doi: 10.37895/2071-8004-2018-22-3-44-49
12. Панасейкин Ю.А., Филоненко Е.В., Севрюков Ф.Е. и др. Возможности фотодинамической терапии при лечении злокачественных опухолей полости рта. *Biomedical Photonics*. 2021;10(3):32-38. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-3-32-38
13. Turubanova VD, Balalaeva IV, Mishchenko TA, et al. Immunogenic cell death induced by a new photodynamic therapy based on photosens and photodithazine. *J Immunother Cancer*. 2019;7(1):350. doi: 10.1186/s40425-019-0826-3
14. Раджабов А.А., Дербенев В.А., Исмаилов Г.И., Спокойный А.Л. Антибактериальная фотодинамическая терапия гнойных ран мягких тканей. *Лазерная медицина*. 2017;21(2):46-49. doi: 10.37895/2071-8004-2017-21-2-46-49
15. Чепурная Ю.Л., Мелконян Г.Г., Гульмурадова Н.Т., и др. Применение фотодинамической терапии в комплексном лечении гнойных заболеваний кисти. *Biomedical Photonics*. 2020;9(1):13-20. doi: 10.24931/2413-9432-2020-9-1-13-20
16. Буравский А.В., Баранов Е.В., Третяк С.И. Целесообразность использования комбинированной локальной светодиодной фототерапии в лечении пациентов с наружными раневыми дефектами. *Медицинский журнал*. 2016;1(55):86-92.
17. Игнатова Н.И., Елагин В.В., Будруев И.А., и др. Применение фотодинамической инактивации в отношении возбудителей инфекций мочевыводящих путей. *Клиническая микробиология и антимикробная химиотерапия*. 2022;24(4):395-400. doi: 10.36488/смас.2022.4.395-400

18. Филоненко Е.В., Иванова-Радкевич В.И. Фотодинамическая терапия при акне. *Biomedical Photonics*. 2023;12(2):48-53. doi: 10.24931/2413-9432-2023-12-2-48-56
19. Артемьева, Т.П., Церковский, Д.А. Фотодинамическая терапия при лейкоплакии вульвы. *Biomedical Photonics*. 2018;7(4):4-10. doi: 10.24931/2413-9432-2018-7-4-4-10
20. Rosa LP, da Silva FC. Antimicrobial photodynamic therapy: A new therapeutic option to combat infections. *Antimicrobial Photodynamic Therapy: A New Therapeutic Option to Combat Infections. J Med Microb Diagn*. 2014;3(4):1-7. doi: 10.4172/2161-0703.1000158
21. Лапченко А.С. Фотодинамическая терапия. Области применения и перспективы развития в оториноларингологии. *Вестник оториноларингологии*. 2015;80(6):4 9. doi: 10.17116/otorino20158064-9
22. Рында А.Ю., Олюшин В.Е., Ростовцев Д.М., и др. Применение интраоперационной фотодинамической терапии в структуре комплексного лечения злокачественных глиом. *Журнал «Вопросы нейрохирургии» имени Н.Н. Бурденко*. 2023;87(1):25-34. doi: 10.17116/neiro20238701125
23. Megna M, Fabbrocini G, Marasca C, Monfrecola G. Photodynamic Therapy and Skin Appendage Disorders: A Review. *Skin Appendage Disord*. 2017;2(3-4):166-176. doi: 10.1159/000453273
24. Beltes C, Economides N, Sakkas H, Papadopoulos C, Lambrianidis T. Evaluation of Antimicrobial Photodynamic Therapy Using Indocyanine Green and Near-Infrared Diode Laser Against *Enterococcus faecalis* in Infected Human Root Canals. *Photomed Laser Surg*. 2017;35(5):264-269. doi: 10.1089/pho.2016.4100
25. Семенов Д.Ю., Васильев Ю.Л., Дыдыкин С.С., и др. Антимикробная и антимикотическая фотодинамическая терапия (обзор литературы). *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):25-31. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-25-31
26. Салеев Р.А., Блашкова С.Л., Крикун Е.В., Салеева Г.Т., Блашкова Ю.В., Валеева Е.В. Оптимизация антибактериальной терапии у пациентов с эндо-пародонтальными поражениями. *Biomedical Photonics*. 2021;10(1):17-24. doi: 10.24931/2413-9432-2021-10-1-17-24
27. Alves F, Carmello JC, Mima EGO, et al. Photodithazine-mediated antimicrobial photodynamic therapy against fluconazole-resistant *Candida albicans* in vivo. *Med Mycol*. 2019;57(5):609-617. doi: 10.1093/mmy/myu083
28. Yanovsky RL, Bartenstein DW, Rogers GS, et al. Photodynamic therapy for solid tumors: A review of the literature. *Photodermatol Photoimmunol Photomed*. 2019 Sep;35(5):295-303. doi: 10.1111/phpp.12489
29. Imamura T, Tatehara S, Takebe Yu, et al. Antibacterial and Antifungal Effect of 405 nm Monochromatic Laser on Endodontopathogenic Microorganisms. *International Journal of Photoenergy*. 2014:1-7. doi: 10.1155/2014/387215
30. de Oliveira BP, Aguiar CM, Câmara AC. Photodynamic therapy in combating the causative microorganisms from endodontic infections. *Eur J Dent*. 2014;8(3):424-430. doi: 10.4103/1305-7456.137662
31. Николаева Н.А., Егорова А.В., Бриль Г.Е. Фотодинамическое воздействие лазерного излучения красной области спектра на рост метициллин-резистентного штамма золотистого стафилококка с использованием димегина. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2017;7(1):268.
32. Маслакова Н.Д., Могилевец Э.В., Савосик А.Л. и др. Результаты применения нового метода комбинированной антимикробной фотодинамической терапии в хирургии гнойных ран. *Военная медицина*. 2016;3(40):60-63.

Статья поступила 25.06.2024; одобрена после рецензирования 05.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 25.06.2024; approved after reviewing 05.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Ирина Владимировна Шипицына — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Елена Сергеевна Спиркина — младший научный сотрудник, spirkina.82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2506-2657>.

Information about authors:

Irina V. Shipitsyna — Candidate of Biological Sciences, leading researcher, ivschimik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2012-3115>;

Elena S. Spirkina — junior researcher, spirkina.82@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2506-2657>.

Научная статья

УДК 616.718.5-77:615.461]-092.9

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-677-686>

Влияние цинксодержащего кальций-фосфатного покрытия на остеоинтеграцию чрескожных имплантатов для протезирования конечностей

М.В. Стогов^{1✉}, А.А. Еманов¹, В.П. Кузнецов^{1,2}, Е.Г. Комарова³, Е.Н. Горбач¹, Е.А. Киреева¹, Т.В. Толкачева³, Ю.П. Шаркеев³

¹ Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени академика Г.А. Илизарова, Курган, Россия

² Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург, Россия

³ Институт физики прочности и материаловедения Сибирского отделения Российской академии наук, Томск, Россия

Автор, ответственный за переписку: Максим Валерьевич Стогов, stogo_off@list.ru

Аннотация

Введение. Повышение интеграции чрескожных имплантатов является важной задачей для их применения в клинической практике.

Цель работы — оценка остеоинтеграции титановых чрескожных имплантатов с кальций-фосфатным покрытием, содержащим ионы цинка.

Материалы и методы. Исследования выполнены на 12 кроликах-самцах, которым имплантировали оригинальный имплантат в культю большеберцовой кости. После имплантации на кость устанавливали компрессионное устройство, поддерживавшее нагрузку 3,5Н в течение 5 нед. Длительность наблюдения — 26 недель. Животные разбиты на две группы: группа контроля ($n = 6$) — имплантировано изделие без покрытия; опытная группа ($n = 6$) — имплантировано изделие с цинк-замещенным кальций-фосфатным покрытием.

Результаты. Выпадение имплантата отмечали в одном случае у животных группы контроля, в опытной группе случаев выпадения имплантатов не отмечено. Выявлено, что весовая концентрация Са и Р во всех зонах костно-имплантационного блока животных опытной группы достоверно превышала аналогичные показатели контрольной группы. В контрольной группе отмечали длительное сохранение высоких значений уровня С-реактивного белка, чего не наблюдали в основной группе.

Обсуждение. Комплекс исследований показал, что имплантат с цинксодержащим кальций-фосфатным покрытием имеет признаки улучшенной интеграции в отличие от изделия без покрытия. Отсутствие серьезных нежелательных реакций на тестируемые изделия свидетельствует о приемлемой переносимости и безопасности применения.

Заключение. При использовании имплантатов с цинк-модифицированным кальций-фосфатным покрытием обнаружены признаки более эффективной остеоинтеграции по сравнению с изделием без дополнительного покрытия.

Ключевые слова: протезирование, чрескожный имплантат, остеоинтеграция, кальций-фосфатное покрытие

Для цитирования: Стогов М.В., Еманов А.А., Кузнецов В.П., Комарова Е.Г., Горбач Е.Н., Киреева Е.А., Толкачева Т.В., Шаркеев Ю.П. Влияние цинксодержащего кальций-фосфатного покрытия на остеоинтеграцию чрескожных имплантатов для протезирования конечностей. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):677-686. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-677-686. EDN: PEBVEG.



The effect of zinc-containing calcium phosphate coating on the osseointegration of transcutaneous implants for limb prosthetics

M.V. Stogov¹✉, A.A. Emanov¹, V.P. Kuznetsov^{1,2}, E.G. Komarova³, E.N. Gorbach¹, E.A. Kireeva¹, T.V. Tolkacheva³, Yu.P. Sharkeev³

¹ Ilizarov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russian Federation

² Ural Federal University named after. the first President of Russia B.N. Yeltsin, Ekaterinburg, Russian Federation

³ Institute of Strength Physics and Materials Science of Siberian Branch of Russian Academy of Sciences, Tomsk, Russian Federation

Corresponding author: Maksim V. Stogov, stogo_off@list.ru

Abstract

Introduction Increasing the integration of transcutaneous implants is an important goal for their application in clinical practice.

The **purpose** of the work was to evaluate the osseointegration of transcutaneous titanium implants with calcium-phosphate coating containing zinc ions.

Materials and methods The studies were performed on 12 male rabbits, who underwent implantation of an original implant into the tibial stump. After implantation, a compression device was installed on the bone, maintaining a load of 3.5 N for 5 weeks. Duration of observation was 26 weeks. The animals were divided into two groups: a control group ($n = 6$) with an implant without coating and an experimental group ($n = 6$) with a zinc-substituted calcium-phosphate coated implant.

Results The implant fell out in one case in animals from the control group; no cases of implant loss were noted in the experimental group. It was revealed that the weight concentration of Ca and P in all zones of the bone-implant block of the animals in the experimental group significantly exceeded similar indicators in the control group. In the control group, long-term persistence of high levels of C-reactive protein was noted, which was not observed in the experimental group.

Discussion This series of studies has shown that an implant with a zinc-modified calcium-phosphate coating exhibited a more effective integration, in contrast to an uncoated product. The absence of serious adverse reactions to the tested products indicates acceptable tolerability and safety of its use.

Conclusion The implants with a zinc-modified calcium-phosphate coating showed signs of more effective osseointegration compared to the product without additional coating.

Keywords: prosthetics, transcutaneous implant, osseointegration, calcium-phosphate coating

For citation: Stogov MV, Emanov AA, Kuznetsov VP, Komarova EG, Gorbach EN, Kireeva EA, Tolkacheva TV, Sharkeev YuP. The effect of zinc-containing calcium phosphate coating on the osseointegration of transcutaneous implants for limb prosthetics. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):677-686. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-677-686

ВВЕДЕНИЕ

Чрескожное остеointеграционное протезирование является развивающимся методом лечения пациентов с потерей конечностей [1, 2]. К настоящему времени параллельно с двухэтапной технологией протезирования развивается одноэтапная процедура [3, 4], требующая новых решений для улучшения остеointеграции имплантируемой части, т.к. проблема стабильности имплантата в условиях одноэтапного процесса является ключевой [5]. Ранее нами показано, что эффективная остеointеграция чрескожных имплантатов при одноэтапной процедуре может достигаться за счёт применения дополнительных фиксирующих имплантат устройств в совокупности с возможностью этих устройств обеспечивать механическую компрессию имплантата [6]. Другой вариант для реализации одностадийного ускоренного протокола остеointеграции — использование имплантатов типа Press-Fit [7].

Однако такие подходы являются недостаточными для оптимальной остеointеграции имплантатов в условиях одноэтапности процесса. Поэтому возникла необходимость разработки дополнительных технологий, стимулирующих процесс интеграции чрескожных имплантатов, в том числе за счет модификации поверхности имплантируемой части [8, 9]. Так, одним из способов повышения остеointеграции имплантатов является нанесение на его поверхность биоинертного оксидного или биоактивного кальций-фосфатного покрытия [10]. Среди методов нанесения покрытий на имплантаты на основе титана следует выделить метод микродугового оксидирования, который позволяет импрегнировать в состав покрытия дополнительные эссенциальные микроэлементы, обеспечивающие положительные для остеогенеза эффекты. В ряде работ продемонстрировано положительное влияние на остеointеграционные процессы внедрения в состав кальций-фосфатного покрытия ионов цинка, стронция и кремния [11–13].

Цель работы — оценка остеointеграции титановых чрескожных имплантатов с кальций-фосфатным покрытием, содержащим ионы цинка.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Изделия. В работе использованы имплантаты из сплава Ti6Al4V для протезирования культей трубчатых костей [14] (рис. 1, а). На рабочую поверхность имплантата наносили цинк-содержащее кальций-фосфатное (КФ) покрытие (Zn-КФ) с помощью метода дугового оксидирования (рис. 1, б). Имплантаты изготавливали из порошка Ti6Al4V со средним размером частиц 23,5 мкм производства фирмы Advanced Powders & Coatings Inc. (Канада) методом селективного лазерного сплавления на 3D-принтере EOS EOSINT M 280 (Германия). Нанесение покрытий на имплантаты проводили на полупромышленной установке Micro-Arc 3.0.

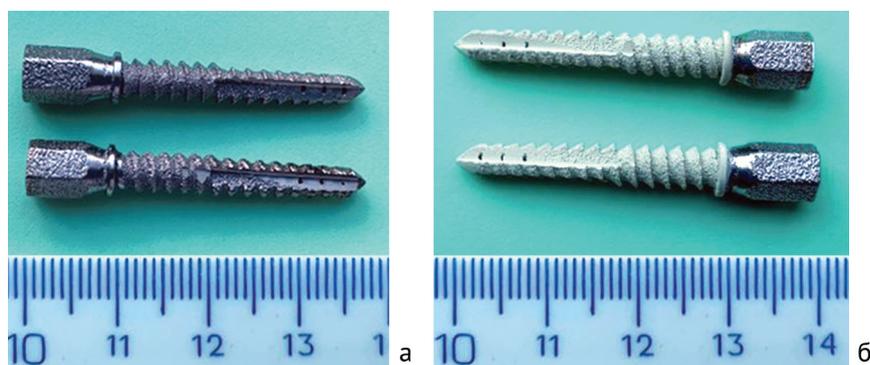


Рис. 1. Внешний вид имплантатов: а — без нанесенного покрытия (контроль); б — с Zn-КФ покрытием (опыт)

Для нанесения покрытий имплантаты погружали в ванну с электролитом. Осаждение покрытий проводили в электролите-суспензии состава (мас. %): H_3PO_4 — 27; $CaCO_3$ — 7; синтетический цинк-замещенный гидроксипатит (Zn-ГА) $(Ca_{10}Zn_9(PO_4)_6(OH)_2)$ — 5; остальное — дистиллированная вода. Zn-ГА в нанокристаллическом состоянии со средним размером зерен 30–50 мкм синтезирован механохимическим методом в Институте химии твердого тела и механохимии СО РАН [15]. Параметры нанесения покрытий: анодное напряжение — 200 В, длительность импульсов — 100 мкс, частота импульсов — 50 Гц, длительность обработки — 5 минут. Толщину покрытий определяли с помощью цифрового микрометра Зубр (точность измерений 1 мкм). Массу покрытий измеряли на аналитических весах CAS CAUX-220 (точность измерений 1 мг). Шероховатость поверхности определяли с помощью контактного «Профилометра-296» по параметру R_a , как среднеквадратичное отклонение профиля в пределах базовой длины. Масса сформированных на имплантатах покрытий составила $(29,3 \pm 2,1)$ мг, толщина — $(33,5 \pm 2,8)$ мкм, шероховатость R_a — $(2,3 \pm 0,5)$ мкм (рис. 1, б). Морфология, структура, состав и свойства сформированных покрытий описаны ранее [11, 13].

Все изделия для имплантации поступали в индивидуальных упаковках не стерильными. Перед применением имплантаты проходили стерилизационную обработку в сухожаровом шкафу при температуре 180 °С в течение 1 ч. Максимальный срок хранения изделий перед применением составил 6 мес.

Дизайн исследований in vivo. Эксперимент проводили на 12 кроликах-самцах породы шиншилла в возрасте от 8 до 9 мес., средний вес кроликов — $(3,4 \pm 0,2)$ кг. Всем кроликам осуществляли удаление большеберцовой кости на границе верхней и средней трети. После чего обрабатывали сверлом костномозговой канал, вкручивали имплантат в культю большеберцовой кости. Мягкие ткани послойно ушивали внутренними швами, формировали лоскут из кожи, в котором выполняли отверстие для выхода части имплантата наружу. Далее на кость устанавливали удерживающее компрессионное устройство [16] с протезом из фторопласта. Кость подвергали компрессионной нагрузке 3,5Н в течение 5 нед. Длительность наблюдения — 26 недель. Животные разбиты на две группы: группа 1 ($n = 6$) — животным имплантировали изделие без покрытия (контроль); группа 2 ($n = 6$) — животным имплантировали изделие с цинк-замещенным кальций-фосфатным покрытием (основная группа). Клинический контроль осуществляли во время всего послеоперационного периода. Обращали внимание на состояние животных, термометрию, пульс, дыхание, локальный статус конечности, состояние мягких тканей, а также послеоперационных ран.

Регулирующие стандарты. Исследование выполнено в соответствии со стандартами ISO 10993-1-2021. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 1. Оценка и исследования в процессе менеджмента риска; ISO 10993-6-2021. Изделия медицинские. Оценка биологического действия медицинских изделий. Часть 6. Исследования местного действия после имплантации.

Этические принципы. Исследование проведено при соблюдении принципов гуманного обращения с лабораторными животными в соответствии с требованиями Европейской конвенции по защите позвоночных животных, используемых для экспериментов и других научных целей, и Директивой 2010/63/EU Европейского парламента и Совета Европейского союза от 22 сентября 2010 г. по охране животных, используемых в научных целях. До начала исследования получено одобрение локального этического комитета (протокол № 1 (71) от 28.04.2022).

Эвтаназия. Плановую эвтаназию животных производили после миорелаксации раствором димедрола 1 % (0,02 мг/кг) и рометара 2 % (5 мг/кг), далее вводили летальную дозу барбитуратов.

Для определения эффективности остеоинтеграции осуществляли рентгенологические, гистологические и биохимические исследования.

Рентгенологическое исследование. Для рентгенографии использовали рентгеновский аппарат Comrast (Италия). Рентгенологическое исследование оперированной конечности животного выполняли в краниокаудальной и латеромедиальной проекциях. Рентгенографию проводили до и после оперативного вмешательства, на 5, 12, 26 нед. после имплантации.

Гистологическое исследование. У эвтаназированных животных осуществляли послойную препарацию от мягких тканей культы большеберцовой кости с интрамедуллярно интегрированным имплантатом. Фиксацию материала проводили в 10 % растворе нейтрального формалина не менее 10 сут. Затем костно-имплантационный блок продольно распиливали, оставляя имплантат в одной из половин.

Фрагмент кости без имплантируемого изделия деминерализовывали в смеси растворов муравьиной и соляной кислот, дегидратировали в этиловом спирте. После этапов пропитки в нескольких порциях «жидкого» 5 % целлоидина заливали в густой 40 % целлоидин и уплотняли блоки в хлороформе.

Срезы готовили при помощи санного микротомы Reichard (Германия) и окрашивали их гематоксилином и эозином, пикрофуксином и по методу Массона по технологии плавающих срезов. Гистологические препараты изучали с использованием стереомикроскопа AxioScore.A1, цифровые изображения получали с помощью цифровой камеры AxioCam ICs 5.

Другую часть костно-имплантационного блока культы большеберцовой кости дегидратировали, заливали в камфен и высушивали на воздухе до полной его возгонки. Высушенные препараты напыляли Pt в специальном напылителе IB-6 (EICO, Japan).

Количественное определение содержания Ca и P (W, в весовых %) в различных участках костно-имплантационных блоков выполняли методом энергодисперсионного рентгеновского микроанализа с использованием спектрометра BRUKER QUANTAX 200 – XFlash 6/10 (Bruker Nano GmbH, Германия), в комплекте со сканирующим микроскопом (СЭМ) Zeiss EVO MA18 (Carl Zeiss Group, Германия). Анализ количественных показателей осуществлялся в программе ESPRIT (Bruker Nano GmbH, Германия).

Биохимическое исследование включало определение в сыворотке крови животных концентрации общего белка, мочевины, креатинина, глюкозы, лактата, общего кальция, неорганического фосфата, калия,

натрия, хлоридов, С-реактивного белка (СРБ), а также активности щелочной фосфатазы (ЩФ) и тарtrateзистентного (костного) изофермента кислой фосфатазы (ТрКФ), креатинкиназы, трансаминаз. Исследования выполнены на автоматическом биохимическом анализаторе Hitachi/ВМ 902 (Италия) с использованием наборов реагентов Витал Диагностика, Вектор-Бест (Россия).

Статистические методы исследования. Результаты в таблицах представлены в зависимости от характеристик сравниваемых выборок (нормальность оценивали по критерию Шапиро – Уилка) либо в виде среднего арифметического и стандартного отклонения ($\bar{X} \pm SD$), либо в виде медианы, 1–3 квартиля (Me, Q1–Q3). Процедуру статистической оценки значимости отличий показателей на сроках эксперимента с дооперационными значениями проводили с использованием W-критерия Вилкоксона. Достоверность различий между группами на сроках наблюдения оценивали с помощью непараметрического T-критерия Манна – Уитни. Минимальный уровень значимости (p) принимали равным 0,05.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клинический контроль животных в послеоперационном периоде показал, что состояние у кроликов всех групп было удовлетворительным, внеплановой гибели не выявлено. В первые трое суток во всех наблюдениях определяли отеки в области культи, отмечали снижение аппетита. Динамическая функция конечности у всех животных восстанавливалась на 4–5 сутки после операции. Воспаления мягких тканей не отмечено. В течение первой недели после демонтажа специального устройства (6 нед. после имплантации) отмечено выпадение имплантата в одном случае у животного группы 1, в опытной группе таких случаев не выявлено.

Рентгенологическое исследование показало, что у животных первой группы через 5 нед. после имплантации имелись участки резорбции на стыке кость / имплантат, у животных группы 2 эти признаки не определялись (рис. 2).

После 12 недель имплантации в обеих группах отмечены признаки остеоинтеграции, резорбцию не визуализировали, определяли незначительные периостальные наслоения в стадии компактизации (рис. 3). К 26 нед. после имплантации отмечена полная органотипическая перестройка кости в периимплантной зоне (рис. 4). Однако у животных группы 2 костные напластования были в стадии компактизации, располагались за ограничительным кольцом, что свидетельствовало об активном костном интегративном процессе на границе кость–имплантат (рис. 4, б).

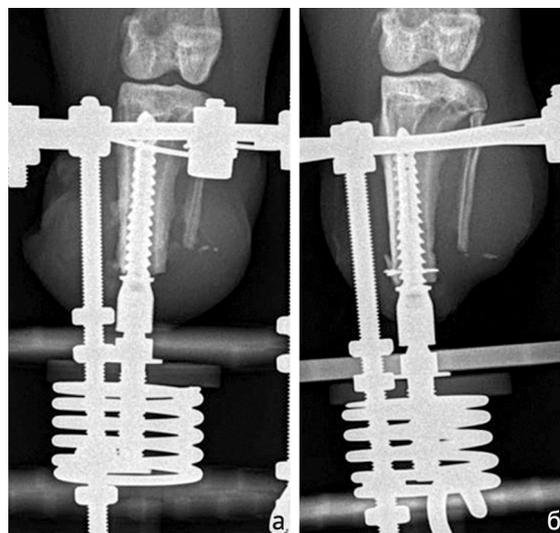


Рис. 2. Рентгенограммы через 5 недель после имплантации: а — группа 1; б — группа 2

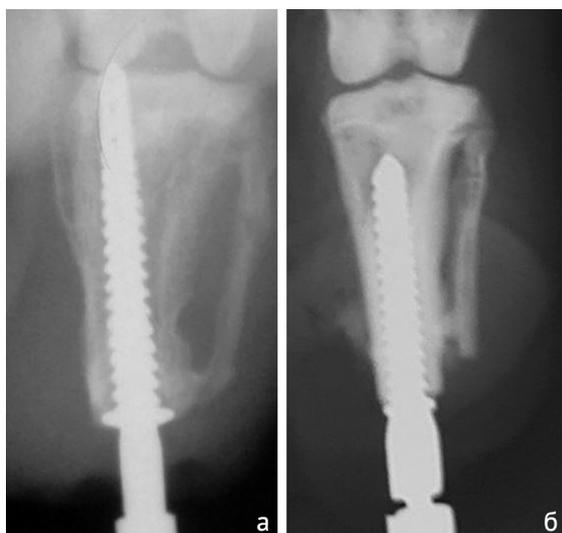


Рис. 3. Рентгенограммы через 12 недель после имплантации: а — группа 1; б — группа 2



Рис. 4. Рентгенограммы через 26 недель после имплантации: а — группа 1; б — группа 2

Таким образом, у животных группы 2 рентгенологическая картина на всех этапах эксперимента определялась наличием стабильности и отсутствием резорбции, что оценивается как положительные признаки остеointеграционных свойств изделия.

Гистологические исследования. В группе 1 через 26 недель эксперимента между поверхностью имплантата и костной тканью наблюдали плотный контакт, был сформирован единый костно-имплантационный блок. На всем протяжении культи кости сохранялась непрерывная компактная пластинка. Выраженных периостальных напластований не обнаруживали. В дистальной и средней частях культи большеберцовой кости отмечали вращение костной ткани в резьбовые межреберные углубления имплантата (рис. 5).

Гистоструктурная характеристика культи большеберцовой кости при интеграции имплантатов в опытной группе через 26 недель эксперимента обнаруживала в ложе культи большеберцовой кости сохранность метафизарно-эпифизарной части и непрерывную компактную пластинку, которая объединялась с поверхностью имплантата в метаэпифизарной области и в проксимальных участках диафиза с эндостально образованной костной тканью среднекачественного трабекулярного строения. В дистальной части компактная пластинка плотно прилегала к имплантату. Наличие костной ткани обнаруживалось в резьбовых углублениях имплантата (рис. 6).



Рис. 5. Костно-имплантационный блок, формирующийся у животных контрольной группы к 26 неделе наблюдений: а — большеберцовая кость кролика с интрамедуллярно интегрированным имплантатом (продольный распил); б — продольный гистолопографический срез большеберцовой кости кролика после извлечения имплантата. Окраска пикрофуксином. Ув. $\times 1,5$

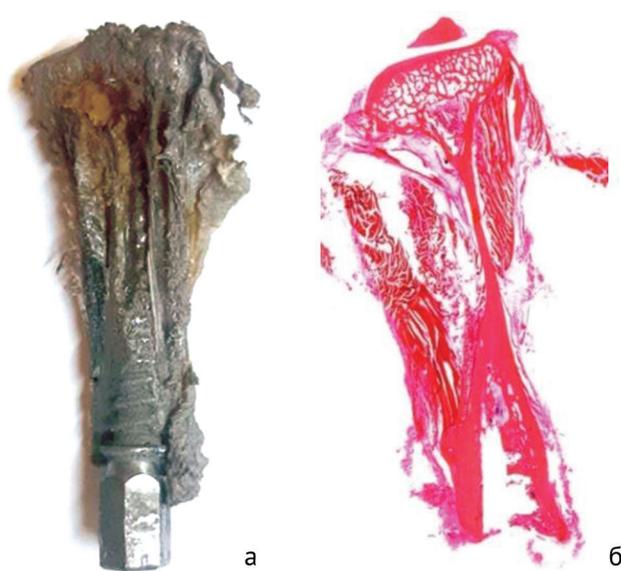


Рис. 6. Костно-имплантационный блок, формирующийся у животных опытной группы к 26 неделе наблюдений: а — большеберцовая кость кролика с интрамедуллярно интегрированным имплантатом (продольный распил); б — продольный гистолопографический срез большеберцовой кости кролика после извлечения имплантата. Окраска пикрофуксином. Ув. $\times 1,5$

Анализ количественных данных содержания остеотропных элементов показал, что через 26 недель наблюдения в субстрате формирующегося на поверхности имплантата у кроликов группы 2 элементов кальция и фосфора было достоверно больше во всех областях имплантата относительно животных группы контроля (табл. 1).

Таблица 1

Массовая доля W (Ca) и W (P) в различных участках культи большеберцовой кости ($X_i \pm SD$)

Область исследования	Кальций, вес %		Фосфор, вес %	
	Группа 1	Группа 2	Группа 1	Группа 2
Проксимальная	$7,3 \pm 0,4$	$15,1 \pm 0,7^*$	$3,6 \pm 0,1$	$5,2 \pm 0,3^*$
Срединная	$9,1 \pm 0,3$	$15,3 \pm 0,7^*$	$4,6 \pm 0,2$	$5,8 \pm 0,2^*$
Дистальная	$10,3 \pm 0,3$	$13,2 \pm 0,7^*$	$4,5 \pm 0,3$	$5,8 \pm 0,4^*$
Интактные животные	$19,30 \pm 0,91$		$8,12 \pm 0,39$	

Примечание: * — достоверные отличия относительно группы 1 (контроль) при $p < 0,05$.

Таким образом, проведенное гистологическое исследование показало, что изделие с кальций-фосфатным покрытием обладало более выраженными остеointегративными характеристиками в изученных группах. В дистальной части культи отмечено наплывание плотной соединительной ткани на ограничивающую кольцевую конструкцию и структуры имплантата, предшествующие ей, что способствовало формированию наружного барьера и предотвращению развития внутрикостной инфекции. Отрицательным моментом является имбибиция частиц имплантата в пограничные с ним ткани.

Лабораторные исследования. Изменения активности фосфатаз и концентрации кальция и фосфатов в сыворотке крови экспериментальных животных представлены в таблице 2.

Таблица 2

Активность фосфатаз, концентрация кальция и фосфата в сыворотке крови кроликов на сроках (недели) эксперимента, Ме (Q1–Q3)

Срок	Группа	ЩФ, Е/л	ТрКФ, Е/л	Кальций, ммоль/л	Фосфат, ммоль/л
0	1	53 (48–63)	26 (22–26)	2,67 (2,61–2,70)	1,22 (1,14–1,34)
	2	54 (32–70)	28 (21–33)	2,69 (2,52–2,75)	1,34 (1,21–1,44)
3	1	42 (38–46)*	41 (35–42)*	2,78 (2,65–2,91)	1,31 (1,20–1,57)
	2	55 (47–63)^	29 (24–40)	2,75 (2,62–2,80)	1,14 (1,10–1,20)*
6	1	57 (49–69)	34 (29–38)*	2,65 (2,54–2,72)	1,34 (1,23–1,42)
	2	60 (53–65)	19 (17–21)**^	2,65 (2,60–2,71)	1,09 (1,07–1,18)**^
12	1	58 (45–66)	20 (16–28)	2,65 (2,57–2,73)	1,43 (1,42–1,45)
	2	46 (45–57)	24 (23–26)	2,51 (2,47–2,59)	1,04 (1,02–1,19)**^
26	1	61 (56–66)	20 (16–29)	2,71 (2,62–2,78)	1,39 (1,26–1,45)
	2	58 (42–63)	23 (22–28)	2,79 (2,55–2,83)	1,03 (0,98–1,14)**^

Примечание: * — различия с дооперационными (срок 0) значениями, $p < 0,05$; ^ — различия показателей с контрольной группой при $p < 0,05$.

Обнаружено, что у животных группы 1 (контроль) активность ЩФ относительно дооперационного уровня снижалась на 3 неделе после имплантации. У кроликов группы 2 повышение активности ЩФ на сроках относительно значений до операции не отмечено, но ЩФ на 3 неделе была выше относительно группы контроля. Активность ТрКФ на 3 и 6 неделях повышалась у животных группы контроля относительно исходных значений. В группе 2 отмечено достоверное снижение активности ТрКФ на 6 неделе после имплантации как относительно дооперационного уровня, так и относительно группы контроля на данном сроке. Концентрация общего кальция в сыворотке крови всех экспериментальных групп статистически значимо не изменялась как относительно дооперационных значений, так и между группами. В группе 2 на всех сроках эксперимента отмечено снижение концентрации неорганического фосфата в сыворотке крови относительно исходных значений и относительно животных группы контроля.

Отмечены значительные отличия в динамике С-реактивного белка (СРБ) (табл. 3). Так, достоверно повышенные значения СРБ в контрольной группе (группа 1) наблюдали до 26 недели эксперимента, в группе 2 — до 5 недели. В группе 2 на 26 неделе эксперимента отмечали статистически значимое снижение концентрации лактата как относительно исходных, дооперационных значений, так и относительно значений группы контроля. Другие биохимические показатели не имели достоверных отличий в обеих группах.

Таблица 3

Концентрация СРБ и лактата в сыворотке крови кроликов на сроках эксперимента, Ме (Q1–Q3)

Показатель	Группа	Сроки (недели) эксперимента				
		0	3	5	12	26
СРБ, мг/мл	1	0 (0–1)	13* (6–22)	10* (4–17)	2 (0–3)	4* (2–21)
	2	0 (0–1)	6* (2–14)	6* (5–10)	3 (0–4)	0 (0–2)
Лактат, ммоль/л	1	9,5 (7,4–10,1)	10,4 (8,3–12,3)	9,0 (7,4–9,9)	8,8 (7,5–11,4)	10,5 (8,9–11,4)
	2	9,1 (7,5–10,8)	9,5 (7,8–10,2)	9,5 (8,1–10,0)	6,4 (4,9–7,8)	4,8**^ (2,7–7,5)

Примечание: * — различия с дооперационными (срок 0) значениями, $p < 0,05$; ^ — различия показателей с контрольной группой при $p < 0,05$.

ОБСУЖДЕНИЕ

Развитие технологии одноэтапной остеointеграции чрескожных имплантатов является перспективным методом для решения задач протезирования костей, при этом ряд работ указывает, что переход к такой процедуре способствует улучшению результатов лечения целевых пациентов [17, 18]. Развитие

этого варианта технологии чрескожного остеointеграционного протезирования лежит в направлении повышения остеointеграции имплантата, обеспечивающей его стабильность, устойчивость к инфицированию и достаточную герметизацию мягких тканей вокруг внешней части имплантата [19, 20].

Учитывая имеющиеся данные, в рамках развития способов стимуляции остеointеграции нами оценён новый имплантат для протезирования культей трубчатых костей с модифицированной поверхностью. Обнаружено, что применение имплантата с Zn-содержащим КФ покрытием имеет признаки улучшенной интеграции в отличие от изделия без покрытия. Кроме того, имплантация изделий с кальций-фосфатным покрытием не вызывала у животных признаков отторжения, интоксикации (как локальной, так и системной), системной воспалительной реакции в течение всего срока наблюдения. Отсутствие серьезных нежелательных реакций на тестируемые изделия позволяет заключить, что все исследуемые имплантаты имели приемлемую переносимость и безопасность.

Литературные данные по оценке возможностей повышения интегративных свойств имплантатов с Zn-содержащим КФ покрытием достаточно скудны. Имеется работа, в которой также отмечается способность такого покрытия улучшать остеointеграцию металлических чрескожных имплантатов [21]. Тем не менее, перспективность применения такого покрытия очевидна, о чем свидетельствуют многочисленные данные по улучшенной остеointеграции дентальных имплантатов с КФ покрытием [22–24]. Дополнительным фактором в пользу применения изделий с КФ покрытием является то, что отдельные исследования указывают на способность таких покрытий снижать воспалительную реакцию и инфицирование зоны имплантации [25, 26].

Дальнейшее совершенствование остеointегративных характеристик разработанного изделия может быть связано с увеличением числа дополнительных микроэлементов в составе КФ покрытия [27, 28], применением имплантатов с быстро рассасывающимися гидрогелями, загруженными антибиотиками [29]. Интересным выглядит возможность нанесения на металлические имплантаты покрытий из биополимеров, особенно части поверхности имплантатов, интегрируемых с мягкими тканями [30], а также использование искусственных полимеров вместо титана [31, 32].

Очевидно, что полученные нами результаты имеют ограничения в части объемов выборок экспериментальных животных. Экстраполяция результатов исследования для клинической практики возможна, т.к. использованная экспериментальная модель приближена к модели клинического применения (одноэтапное протезирование), в том числе за счет достаточно длительного срока наблюдения после имплантации.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение имплантатов с цинк-модифицированным кальций-фосфатным покрытием обнаруживало признаки более эффективной остеointеграции по сравнению с изделием без дополнительного покрытия. Такие имплантаты с модифицированной КФ поверхностью в разработанном дизайне на основе полученных данных по их эффективности и безопасности могут быть применимы для задач протезирования культей мелких костей в рамках одноэтапной технологии протезирования.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Финансирование. Исследование выполнено в рамках государственного задания НМИЦ ТО имени академика Г.А. Илизарова на осуществление научных исследований и разработок на период 2021–2023 и 2024–2026 годов. Получение покрытий на опытных образцах имплантатов и изучение их характеристик выполнено в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН (проект № FWRW-2021-0007) и при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках Программы развития УрФУ в соответствии с программой стратегического академического лидерства «Приоритет–2030».

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Overmann AL, Forsberg JA. The state of the art of osseointegration for limb prosthesis. *Biomed Eng Lett.* 2019;10(1):5-16. doi: 10.1007/s13534-019-00133-9
2. Rehani M, Stafinski T, Round J, et al. Bone-anchored prostheses for transfemoral amputation: a systematic review of outcomes, complications, patient experiences, and cost-effectiveness. *Front Rehabil Sci.* 2024;5:1336042. doi: 10.3389/fresc.2024.1336042
3. Aschoff HH, Örgel M, Sass M, et al. Transcutaneous Osseointegrated Prosthesis Systems (TOPS) for Rehabilitation After Lower Limb Loss: Surgical Pearls. *JBJS Essent Surg Tech.* 2024;14(1):e23.00010. doi: 10.2106/JBJS.ST.23.00010
4. Zaid MB, O'Donnell RJ, Potter BK, Forsberg JA. Orthopaedic Osseointegration: State of the Art. *J Am Acad Orthop Surg.* 2019;27(22):e977-e985. doi: 10.5435/JAAOS-D-19-00016
5. Rennie C, Rodriguez M, Futch KN, Krasney LC. Complications Following Osseointegrated Transfemoral and Transtibial Implants: A Systematic Review. *Cureus.* 2024;16(3):e57045. doi: 10.7759/cureus.57045
6. Еманов А.А., Горбач Е.Н., Стогов М.В. и др. Выживаемость чрескожных имплантатов в условиях различной механической нагрузки на кость. *Гений ортопедии.* 2018;24(4):500-506. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-4-500-506.

7. Haque R, Al-Jawazneh S, Hoellwarth J, et al. Osseointegrated reconstruction and rehabilitation of transtibial amputees: the Osseointegration Group of Australia surgical technique and protocol for a prospective cohort study. *BMJ Open*. 2020;10(10):e038346. doi: 10.1136/bmjopen-2020-038346
8. Liu Y, Rath B, Tingart M, Eschweiler J. Role of implants surface modification in osseointegration: A systematic review. *J Biomed Mater Res A*. 2020;108(3):470-484. doi: 10.1002/jbm.a.36829
9. Стогов М.В., Еманов А.А., Кузнецов В.П. и др. Сравнительная оценка остеоинтеграции новых чрескожных имплантатов из ультрамелкозернистого сплава Ti Grade 4. *Гений ортопедии*. 2023;29(5):526-534. doi: 10.18019/1028-4427-2023-29-5-526-534. EDN: ELJGET.
10. Li TT, Ling L, Lin MC, et al. Recent advances in multifunctional hydroxyapatite coating by electrochemical deposition. *J Mater Sci*. 2020;55:6352-6374. doi: 10.1007/s10853-020-04467-z
11. Komarova EG, Sharkeev YP, Sedelnikova MB, et al. Zn- or Cu-Containing CaP-Based Coatings Formed by Micro-arc Oxidation on Titanium and Ti-40Nb Alloy: Part I-Microstructure, Composition and Properties. *Materials* (Basel). 2020;13(18):4116. doi: 10.3390/ma13184116
12. Sedelnikova MB, Komarova EG, Sharkeev YP, et al. Modification of titanium surface via Ag-, Sr- and Si-containing micro-arc calcium phosphate coating. *Bioact Mater*. 2019;4:224-235. doi: 10.1016/j.bioactmat.2019.07.001
13. Sedelnikova MB, Komarova EG, Sharkeev YP, et al. Zn-, Cu- or Ag-incorporated micro-arc coatings on titanium alloys: Properties and behavior in synthetic biological media. *Surf Coat Technol*. 2019;369:52-68. doi: 10.1016/j.surfcoat.2019.04.021
14. Кузнецов В.П., Губин А.В., Корюков А.А., Горгоц В.В. Имплант культы трубчатой кости. Патент РФ на полезную модель № 152558. 10.06.2015. Бюл. № 16. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=152558&TypeFile=html. Ссылка активна на 23.07.2024.
15. Bulina NV, Khvostov MV, Borodulina IA, et al. Substituted hydroxyapatite and β -tricalcium phosphate as osteogenesis enhancers. *Ceram Int*. 2024. doi: 10.1016/j.ceramint.2024.06.136
16. Кузнецов В.П., Губин А.В., Горгоц В.В., и др. Устройство для остеоинтеграции имплантата в кость культы нижней конечности. Патент РФ на полезную модель № 185647. 13.12.2018. Бюл. № 35. Доступно по: https://www.fips.ru/registers-doc-view/fips_servlet?DB=RUPM&DocNumber=185647&TypeFile=html. Ссылка активна на 23.07.2024.
17. Al Muderis M, Lu W, Tetsworth K, et al. Single-stage osseointegrated reconstruction and rehabilitation of lower limb amputees: the Osseointegration Group of Australia Accelerated Protocol-2 (OGAAP-2) for a prospective cohort study. *BMJ Open*. 2017;7(3):e013508. doi: 10.1136/bmjopen-2016-013508
18. Evans AR, Tetsworth K, Quinnan S, Wixted JJ. Transcutaneous osseointegration for amputees. *OTA Int*. 2024;7(2 Suppl):e326. doi: 10.1097/OI9.0000000000000326
19. Hoellwarth JS, Tetsworth K, Rozbruch SR, et al. Osseointegration for Amputees: Current Implants, Techniques, and Future Directions. *JBJS Rev*. 2020;8(3):e0043. doi: 10.2106/JBJS.RVW.19.00043
20. Shrivastava S, Samaur H, Yadav V, Boda SK. Soft and Hard Tissue Integration around Percutaneous Bone-Anchored Titanium Prostheses: Toward Achieving Holistic Biointegration. *ACS Biomater Sci Eng*. 2024;10(4):1966-1987. doi: 10.1021/acsbiomaterials.3c01555
21. Zastulka A, Clichici S, Tomoiaia-Cotisel M, et al. Recent Trends in Hydroxyapatite Supplementation for Osteoregenerative Purposes. *Materials* (Basel). 2023;16(3):1303. doi: 10.3390/ma16031303
22. Ghanem A, Kellesarian SV, Abduljabbar T, et al. Role of Osteogenic Coatings on Implant Surfaces in Promoting Bone-To-Implant Contact in Experimental Osteoporosis: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Implant Dent*. 2017;26(5):770-777. doi: 10.1097/ID.0000000000000634
23. Lu M, Chen H, Yuan B, et al. Electrochemical Deposition of Nanostructured Hydroxyapatite Coating on Titanium with Enhanced Early Stage Osteogenic Activity and Osseointegration. *Int J Nanomedicine*. 2020;15:6605-6618. doi: 10.2147/IJN.S268372
24. Sotova C, Yanushevich O, Kriheli N, et al. Dental Implants: Modern Materials and Methods of Their Surface Modification. *Materials* (Basel). 2023;16(23):7383. doi: 10.3390/ma16237383
25. Kaspiris A, Vasiliadis E, Pantazaka E, et al. Current Progress and Future Perspectives in Contact and Releasing-Type Antimicrobial Coatings of Orthopaedic Implants: A Systematic Review Analysis Emanated from *In Vitro* and *In Vivo* Models. *Infect Dis Rep*. 2024;16(2):298-316. doi: 10.3390/idr16020025
26. Van den Borre CE, Zigterman BGR, Mommaerts MY, Braem A. How surface coatings on titanium implants affect keratinized tissue: A systematic review. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2022;110(7):1713-1723. doi: 10.1002/jbm.b.35025
27. Li K, Xue Y, Yan T, et al. Si substituted hydroxyapatite nanorods on Ti for percutaneous implants. *Bioact Mater*. 2020;5(1):116-123. doi: 10.1016/j.bioactmat.2020.01.001
28. Wang S, Zhao X, Hsu Y, et al. Surface modification of titanium implants with Mg-containing coatings to promote osseointegration. *Acta Biomater*. 2023;169:19-44. doi: 10.1016/j.actbio.2023.07.048
29. Corona PS, Vargas Meouchi EA, García Hernández JM, et al. Single-stage transcutaneous osseointegrated prosthesis for above-knee amputations including an antibiotic-loaded hydrogel. Preliminary results of a new surgical protocol. *Injury*. 2024;55(4):1114-1124. doi: 10.1016/j.injury.2024.111424
30. Wang X, Lei X, Yu Y, et al. Biological sealing and integration of a fibrinogen-modified titanium alloy with soft and hard tissues in a rat model. *Biomater Sci*. 2021;9(15):5192-5208. doi: 10.1039/d1bm00762a
31. Chen Z, Chen Y, Wang Y, et al. Polyetheretherketone implants with hierarchical porous structure for boosted osseointegration. *Biomater Res*. 2023;27(1):61. doi: 10.1186/s40824-023-00407-5
32. Chen T, Jinno Y, Atsuta I, et al. Current surface modification strategies to improve the binding efficiency of emerging biomaterial polyetheretherketone (PEEK) with bone and soft tissue: A literature review. *J Prosthodont Res*. 2023;67(3):337-347. doi: 10.2186/jpr.D_22_00138

Статья поступила 16.07.2024; одобрена после рецензирования 22.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 16.07.2024; approved after reviewing 22.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Максим Валерьевич Стогов — доктор биологических наук, доцент, руководитель отдела, stogo_off@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

Андрей Александрович Еманов — кандидат ветеринарных наук, ведущий научный сотрудник, a_eman@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2890-3597>;

Виктор Павлович Кузнецов — доктор технических наук, профессор, заведующий лабораторией, профессор кафедры, wpkuzn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8949-6345>;

Екатерина Геннадьевна Комарова — кандидат технических наук, научный сотрудник, katerina@ispms.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0903-6750>;

Елена Николаевна Горбач — кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник, gorbach.e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9516-7481>;

Елена Анатольевна Киреева — кандидат биологических наук, старший научный сотрудник; ea_tkachuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>;

Татьяна Викторовна Толкачева — ведущий технолог, tolkacheva@ispms.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7125-484X>;

Юрий Петрович Шаркеев — доктор физико-математических наук, профессор, главный научный сотрудник, sharkeev@ispms.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5037-245X>.

Information about the authors:

Maksim V. Stogov — Doctor of Biological Sciences, Associate Professor, Head of Department, stogo_off@list.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8516-8571>;

Andrey A. Emanov — Candidate of Veterinary Sciences, Leading Researcher, a_eman@list.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2890-3597>;

Viktor P. Kuznetsov — Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of Laboratory, Professor of the Department, wpkuzn@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8949-6345>;

Ekaterina G. Komarova — Candidate of Technical Sciences, Researcher, katerina@ispms.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0903-6750>;

Elena N. Gorbach — Candidate of Biological Sciences, Leading Researcher, gorbach.e@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-9516-7481>;

Elena A. Kireeva — Candidate of Biological Sciences, Senior Researcher; ea_tkachuk@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1006-5217>;

Tatiana V. Tolkacheva — Leading Technologist, tolkacheva@ispms.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7125-484X>;

Yurii P. Sharkeev — Doctor of Physical and Mathematical Sciences, Professor, Chief Researcher, sharkeev@ispms.ru, <https://orcid.org/0000-0001-5037-245X>.

Клиническое наблюдение

УДК 616.718.41-001.5-089.227.84:616-089.85

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-687-693>

Латеральная кортикотомия при нарушении консолидации внесуставных переломов проксимального отдела бедренной кости

Р.А. Шафигулин^{2✉}, И.Ф. Ахтямов^{1,2}, И.А. Аглямков², А.А. Горнаев²¹ Казанский государственный медицинский университет, Казань, Россия² Республиканская клиническая больница, Казань, Россия

Автор ответственный за переписку: Рашид Актасович Шафигулин, rashid221@yandex.ru

Аннотация

Введение. Одним из условий воздействия на остеорепарацию при блокируемом интрамедуллярном остеосинтезе (БИОС) является динамизация штифта. В силу анатомо-функциональных особенностей в ряде случаев под- и межвертельных проломов бедренной кости выполнить её не представляется возможным.

Цель работы — продемонстрировать случай успешного применения оригинального варианта методики латеральной кортикотомии (LCN) для динамизации интрамедуллярного проксимального штифта у пациента с несросшимся подвертельным переломом.

Материалы и методы. Проведено лечение пациента 66 лет с несросшимся межвертельным переломом правой бедренной кости, осложненным поломкой интрамедуллярного штифта. Для динамизации интрамедуллярного штифта успешно применена методика LCN.

Результаты. Через два месяца после проведенного вмешательства достигнуто рентгенологическое сращение перелома и функциональное восстановление пациента. Причиной отсутствия межотломковой компрессии при БИОС может являться блокировка скользящего винта латеральным кортикальным слоем периферического отломка бедренной кости. Данную проблему возможно предупредить выполнением латеральной кортикотомии при первичном остеосинтезе вышеуказанных переломов.

Обсуждение. На основании научных публикаций и собственной клинической практики мы предположили, что показанием для выполнения LCN является нарушение консолидации при межвертельных переломах 31A3.1–3 по классификации АО/ОТА, при 3 типе переломов вертельной области по классификации Boyd и Griffin, а также при всех типах подвертельных переломов по классификации Seinsheimer, когда при выполнении цефаломедуллярного остеосинтеза возникает необходимость в создании вектора межотломковой компрессии по оси бедренной кости. В приведенном клиническом случае отражен механизм нарушения консолидации при ряде переломов межвертельной и подвертельной области бедренной кости.

Заключение. Представленный клинический результат демонстрирует успешное применение оригинального варианта методики для динамизации проксимального бедренного штифта, ее воспроизводимость и безопасность.

Ключевые слова: подвертельный перелом, интрамедуллярный остеосинтез, латеральная кортикотомия

Для цитирования: Шафигулин Р.А., Ахтямов И.Ф., Аглямков И.А., Горнаев А.А. Латеральная кортикотомия при нарушении консолидации внесуставных переломов проксимального отдела бедренной кости. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):687-693. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-687-693. EDN: SCMEOL.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-687-693>



Lateral cortical notching for impaired healing of extra-articular proximal femur fractures (case report)

R.A. Shafigulin^{2✉}, I.F. Akhtyamov¹, I.A. Aglyamov², A.A. Gornaev²

¹ Kazan State Medical University, Kazan, Russian Federation

² Republican Clinical Hospital, Kazan, Russian Federation

Corresponding author: Rashid A. Shafigulin, rashid 221@ yandex.ru

Abstract

Introduction Dynamization of the nail can be used to improve osteoreparation during intramedullary interlocking nailing (IIN). The procedure can be difficult to perform in some sub- and intertrochanteric femoral fractures due to anatomical and functional features.

The **objective** was to demonstrate a case of successful use of an original version of the lateral cortical notching (LCN) technique for dynamization of an intramedullary proximal nail in a patient with a nonunited subtrochanteric fracture.

Material and methods The treatment was performed for a 66-year-old patient with a non-united intertrochanteric fracture of the right femur complicated by the breakage of an intramedullary nail. The LCN technique was successfully used to dynamize the IM nail.

Results Radiological healing of the fracture and functional recovery of the patient were observed at a two-month follow-up. The absence of interfragmental compression in IIN could be caused by blocking of the sliding screw by the lateral cortical bone of the peripheral femur fragment. The complication could be prevented with LCN during primary osteosynthesis of the above fractures.

Discussion Based on scientific publications and our clinical experience, we assumed that LCN can be indicated for failed healing of intertrochanteric AO/OTA 31A3.1–3 fractures, type 3 Boyd and Griffin trochanteric fractures and all types of subtrochanteric fractures as graded by Seinsheimer with a vector of interfragmental compression to be created along the femur axis during cephalomedullary osteosynthesis. The case report showed the mechanism of impaired consolidation in some intertrochanteric and subtrochanteric fractures of the femur.

Conclusion The case report demonstrated the successful use of the original version of the lateral cortical notching (LCN) technique for dynamization of an intramedullary proximal nail.

Keywords: subtrochanteric fracture, intramedullary nailing, lateral cortical notching

For citation: Shafigulin RA, Akhtyamov IF, Aglyamov IA, Gornaev AA. Lateral cortical notching for impaired healing of extra-articular proximal femur fractures (case report). *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):687-693. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-687-693

ВВЕДЕНИЕ

В связи с анатомо-функциональными особенностями лечения переломов проксимального отдела бедренной кости в ряде случаев возникают технические трудности, что сопровождается значительным количеством осложнений [1, 2]. Обоснованным методом является интрамедуллярный остеосинтез [3], однако, несмотря на совершенствование технологии установки и дизайна имплантатов, метод не лишен недостатков. Одной из проблем является нарушение консолидации перелома, являющееся пусковым механизмом осложнений, таких как инфицирование, потеря репозиции, поломка имплантата и т.д. Штатным методом воздействия на процесс консолидации перелома при интрамедуллярном остеосинтезе является динамизация штифта, заключающаяся в удалении блокирующего винта [4–10]. Однако в ряде случаев при внесуставных переломах данная методика становится невыполнимой. Для решения данной проблемы предложена оригинальная хирургическая методика латеральной кортикотомии (англ. lateral cortical notching — LCN), позволяющая выполнить динамизацию штифта в ходе проведения блокируемого интрамедуллярного остеосинтеза (БИОС) и, как следствие, воздействовать на процесс консолидации перелома.

Анализ литературных источников в системе PubMed и Google Scholar позволил выявить лишь три зарубежных сообщения, в которых представлена эта методика с совокупным количеством 9 наблюдений, что, в свою очередь, побудило нас представить собственные результаты.

Цель работы — продемонстрировать случай успешного применения оригинального варианта методики латеральной кортикотомии для динамизации интрамедуллярного проксимального штифта у пациента с несросшимся подвертельным переломом.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Приводим результаты лечения пациента, обратившегося в отделение травматологии № 1 Республиканской клинической больницы (Казань). Пострадавший С. 66 лет в сентябре 2021 г. получил бытовую травму — падение с высоты собственного роста. В тот же день был госпитализирован в отделение травматологии с диагнозом: Закрытый межвертельный перелом правой бедренной кости (31A3.3 по классификации АО/ОТА; тип 3 по классификации Boyd и Griffin) со смещением отломков (рис. 1, а). На следующий день проведена операция — закрытая репозиция, блокируемый интрамедуллярный остеосинтез подвертельного перелома левой бедренной кости штифтом фирмы DC размером 10/360 динамическим способом (рис. 1, б, в).



Рис. 1. Рентгенограммы области перелома: а — обзорная рентгенограмма таза, прямая проекция, межвертельный перелом правой бедренной кости; б, в — рентгенограммы правого тазобедренного сустава, прямая и аксиальная проекции, цефаломедуллярный остеосинтез межвертельного перелома

На второй день после операции пациент был вертикализирован и начал передвигаться при помощи ходунков. Послеоперационный период проходил без осложнений. В дальнейшем наблюдался в травмпункте по месту жительства. С 12-ой недели пациенту разрешено ходить без дополнительной опоры.

На девятом месяце после проведенной операции, на фоне полноценного функционального восстановления конечности, пациент отметил появление резкой боли в области правого тазобедренного сустава, появление хромоты и постепенное укорочение нижней конечности, что заставило его повторно обратиться в клинику. С целью обследования и верификации диагноза выполнена рентгенография тазобедренного сустава. На рентгенограмме правого тазобедренного сустава в прямой проекции выявлен несросшийся межвертельный перелом правой бедренной кости с наличием сломанного интрамедуллярного штифта на уровне отверстия для динамического винта. Это стало основанием для повторной госпитализации пациента (рис. 2, а). Стоит отметить, что, несмотря на то, что дистальное блокирование было произведено динамическим способом, динамизация штифта не произошла.

После соответствующего обследования под регионарной анестезией удалены винты и фрагменты поврежденного штифта. Удаление сломанных фрагментов интрамедуллярного штифта произведено по разработанной в нашей клинике оригинальной методике [11]. Суть её заключается в том, что после извлечения проксимального фрагмента, в канал дистального фрагмента сломанного штифта вплоть до заклинивания вкручен конический стержень типа Шанца с кортикальной нарезкой резьбы. После удаления дистальных блокирующих винтов фрагмент штифта извлечён краниально. Далее проведена репозиция на ортопедическом столе, установлен новый проксимальный бедренный штифт фирмы DC размером 10/360. Размер имплантата аналогичен размеру ранее установленного. Позиционирование шеечного винта осуществляли по ранее сформированному каналу, что снизило трудоемкость вмешательства и травматизацию тканей. Блокирование штифта произведено динамическим способом. Учитывая тот факт, что наружный конец динамического винта проходит сквозь кортикальный слой периферического отломка, а это препятствует динамизации штифта, выполнена латеральная кортикотомия непосредственно под динамическим винтом (рис. 2, б, в).

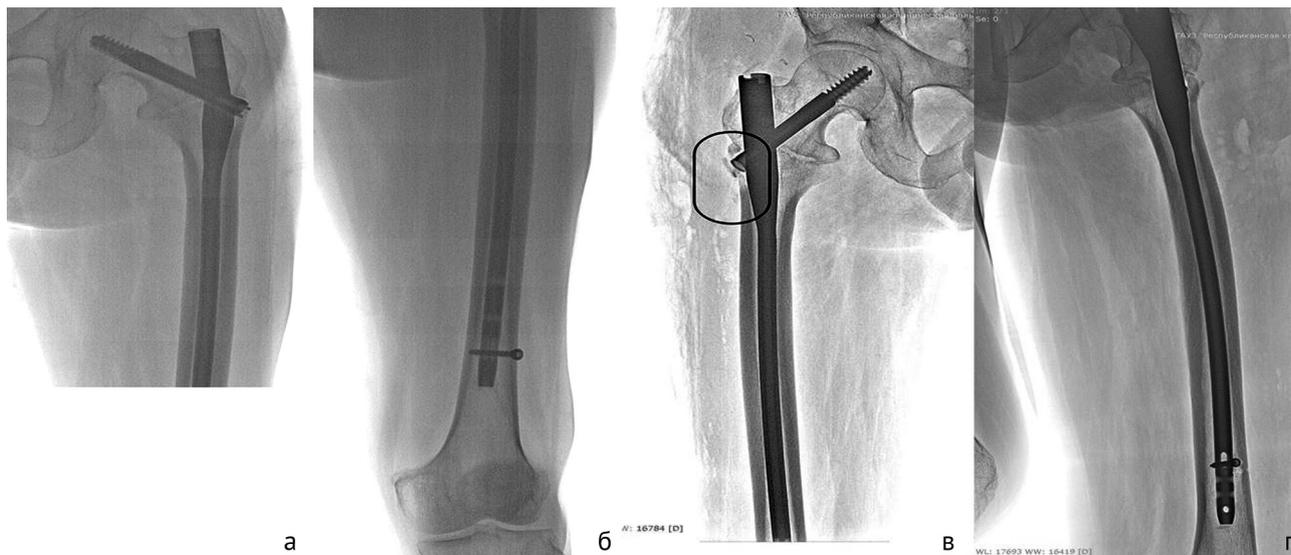


Рис. 2. Рентгенограммы тазобедренного сустава пациента: а, б — прямая проекция до повторного вмешательства, несросшийся межвертельный перелом, излом штифта; в — прямая проекция, цефаломедуллярный реостеосинтез межвертельного перелома, область латеральной кортикотомии бедренной кости под местом входа динамического винта обведена овалом; г — аксиальная проекция, цефаломедуллярный реостеосинтез несросшегося межвертельного перелома бедренной кости

В отличие от описываемой в литературе оригинальной методики, где для выполнения подобной кортикотомии используют долото с расширением операционного доступа, мы после демонтажа направителя для установки штифта операционную рану не расширили, провели спицу по каналу установленного динамического винта, а по ней на винт установили направляющую втулку из стандартного набора бедренных штифтов. Далее аналогичную втулку разместили параллельно предыдущей и провели спицу сквозь латеральный кортикальный слой бедренной кости, контролируя все манипуляции при помощи электронно-оптического преобразователя. Для формирования канала в шейке бедренной кости по спице при помощи сверла из установочного набора произвели рассверливание — кортикотомию.

На следующий день пациент был вертикализирован и начал ходить при помощи трости. Послеоперационный период проходил без особенностей, и на пятые сутки после госпитализации пациент был выписан на амбулаторное лечение.

РЕЗУЛЬТАТЫ

На контрольном осмотре через два месяца после ревизионного вмешательства пациент жалоб не предъявлял, передвигался самостоятельно без каких-либо дополнительных приспособлений. Выполненная рентгенография позволила установить диагноз: срастающийся межвертельный перелом правой бедренной кости (рис. 3, а). Длина нижних конечностей была одинаковой, объем движений в суставах целевой конечности не ограничен (рис. 3, б, в).

Через 23 мес. после выполненного ревизионного вмешательства пациенту выполнены рентгенограммы правой бедренной кости (рис. 4). В ходе опроса каких-либо жалоб пациент не предъявлял, функции конечности полностью восстановлены. Указанные данные позволили установить диагноз: сросшийся межвертельный перелом правой бедренной кости.

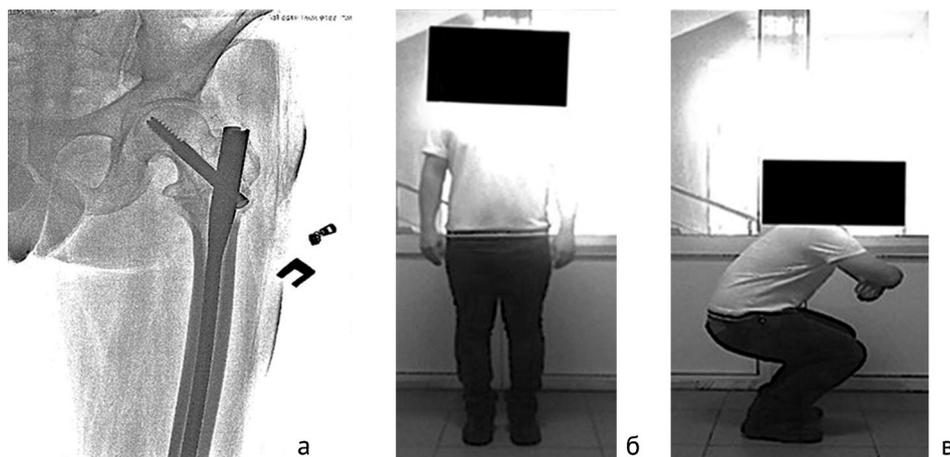


Рис. 3. Результат лечения пациента: а — рентгенограмма тазобедренного сустава, прямая проекция, срастающийся межвертельный перелом, фиксированный проксимальным бедренным штифтом; б, в — фото пациента, функциональный результат: длина нижних конечностей соразмерна, объем движений в суставах нижних конечностей восстановлен

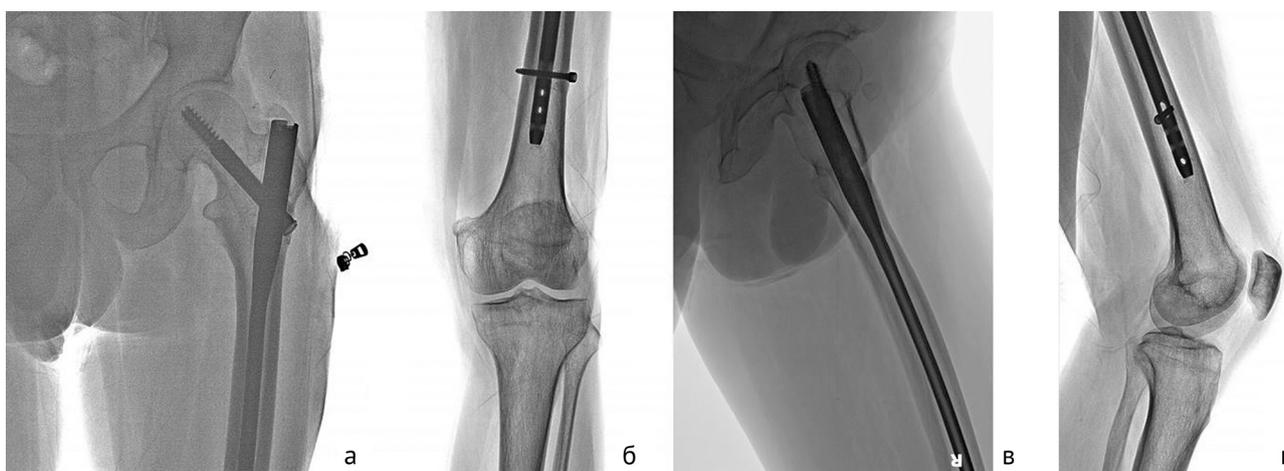


Рис. 4. Результат лечения пациента, сросшийся межвертельный перелом, фиксированный проксимальным бедренным штифтом: а, б — рентгенограммы бедренной кости, прямая проекция, в, г — боковая проекция

ОБСУЖДЕНИЕ

Интрамедуллярные штифты первых поколений отличались тем, что их блокирование осуществляли на проксимальном и дистальном концах кости лишь статическим методом, направленным на обеспечение дополнительной стабильности, значительно повышая жесткость системы кость – имплантат. Это в ряде случаев приводило к нарушению гармонии механических и биологических факторов заживления кости, результатом чего являлось нарушение консолидации перелома [12].

Для решения указанной проблемы Гросс и Кемпф разработали концепцию динамизации интрамедуллярного штифта, суть которой заключалась в удалении блокирующих винтов проксимально или дистально от перелома, превращая жесткую систему в «гибкую» [13]. В дальнейшем концепция нашла отражение в разработке конструкций с наличием продольного отверстия для блокирования штифта [14]. В настоящее время методика динамизации штифта отработана и применяется благодаря своей эффективности. Однако в силу несоблюдения этой технологии или анатомических изменений при подвертельных переломах, фиксированных цефаломедуллярными конструкциями, динамизация в ряде случаев оказывается невозможной, что, в свою очередь, может завершиться усталостным изломом штифта [15–18].

В настоящее время подавляющее количество внекапсульных переломов проксимального отдела бедренной кости лечат при помощи цефаломедуллярных конструкций, в которых, несмотря на различия, заложенные производителем, реализован принцип скольжения динамического винта по оси шейки бедра, тем самым создавая межотломковую компрессию. Однако успешно применяемые цефаломедуллярные конструкции, изначально созданные для лечения чрезвертельных переломов, не всегда обеспечивают межотломковую компрессию при межвертельных (31А3.1–3 по классификации АО/ОТА; при 3 типе переломов вертельной области по классификации Boyd и Griffin) и при всех типах подвертельных переломов по классификации Seinsheimer, где необходима межфрагментарная компрессия по оси диафиза бедренной кости, создаваемая при удалении блокирующего винта, либо изначальной фиксации динамическим методом, а не по оси шейки бедренной кости.

Так R. Biber et al. сообщили о 8 случаях, когда выполнение осевой межфрагментарной динамизации у пациентов было затруднено тем, что динамический винт упирался в подлежащий дистальному концу латеральный кортикальный слой бедренной кости [19]. Это приводило к появлению боли, нестабильности имплантата, нарушению консолидации перелома, а в дальнейшем — и к поломке штифта. Причиной этого является блокировка скользящего винта латеральным кортикальным слоем дистального периферического отломка бедренной кости. Для решения данной проблемы разработана биомеханически обоснованная методика латеральной кортикотомии, которая позволяет произвести динамизацию штифта по оси бедренной кости и способствовать сращению перелома. Авторы предложили и успешно реализовали хирургический способ, суть которого заключалась в кортикотомии латерального кортикального слоя сразу под динамическим винтом, чем достигали возможности блокирования штифта динамическим методом. R. Biber et al. рекомендуют применять данную методику у пациентов, в ходе осмотра которых выявлены процессы нарушения консолидации перелома и необходимо выполнение динамизации штифта для межотломковой компрессии по оси диафиза бедренной кости, без указания конкретных нозологий переломов.

S. Tinner et al. сообщили о случае успешного применения методики у пациентки с нарушением консолидации при межвертельном переломе, сопровождавшимся поломкой интрамедуллярного штифта [20]. В свою очередь, N. Hinz et al. на основе метода конечных элементов доказали биомеханическую эффективность методики LCN при динамизации проксимальных бедренных штифтов, поскольку латеральная кортикотомия облегчает динамизацию стержня вдоль оси диафиза бедренной кости [21].

На основании приведенных публикаций и собственной клинической практики мы предположили, что показанием для выполнения данной методики являются процессы нарушения консолидации при межвертельных переломах 31A3.1–3 по классификации АО/ОТА, при 3 типе переломов вертельной области по классификации Boyd и Griffin, а также при всех типах подвертельных переломов по классификации Seinsheimer, т.е. переломов, где при выполнении цефаломедуллярного остеосинтеза иногда возникает необходимость создания вектора межотломковой компрессии по оси бедренной кости. На наш взгляд, в приведенном клиническом случае отображен механизм нарушения консолидации при ряде переломов межвертельной и подвертельной области бедренной кости, описанный R. Biber et al. [19].

Возможно, суть явления заключается в том, что, проходя через центральный (шейка бедренной кости) и периферический отломок (подвертельная область), динамический (шеечный) винт выступает своего рода «распоркой» и препятствует межотломковой компрессии по оси диафиза бедренной кости, сохраняя диастаз между отломками, несмотря на то, что дистальное блокирование было выполнено динамическим способом. Как следствие, это приводит к нарушению консолидации перелома, чтократно увеличивает нагрузку на сам имплантат и приводит к его поломке в самом слабом месте — отверстию динамического (шеечного) винта — с тенденцией к варусному смещению центрального отломка.

Выполнение латеральной кортикотомии непосредственно под динамическим (шеечным) винтом увеличивает эффект «распорки» и способствует беспрепятственной межотломковой компрессии по оси диафиза бедренной кости и, как следствие, консолидации перелома. Разумеется, это предположение требует биомеханического обоснования, что мы постараемся представить в дальнейших публикациях.

Проецируя предполагаемый механизм развития нарушения консолидации перелома у нашего пациента можно утверждать об успехе применения предлагаемой методики. Несмотря на своевременно и качественно выполненный по показаниям цефаломедуллярный остеосинтез, у пациента на сроке 9 мес. произошла поломка конструкции вследствие несращения перелома. Причиной этого, на наш взгляд, явилась блокада динамического (шеечного) винта подлежащим латеральным кортикальным слоем, которая препятствовала межотломковой компрессии по оси диафиза бедренной кости. Создался эффект «распорки», которая сохраняла имеющийся диастаз между отломками, препятствующий консолидации перелома. Выполнение латеральной кортикотомии устранило данный эффект и обеспечило межотломковую компрессию по оси диафиза бедренной кости, что позволило консолидировать перелом через два месяца после ревизионного вмешательства.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный клинический результат демонстрирует успешное применение методики латеральной кортикотомии для динамизации проксимального бедренного штифта, её воспроизводимость и безопасность. Подобное наблюдение позволяет нам продолжить изучение этой актуальной темы.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Лечение пациента осуществлялось в рамках программы государственных гарантий бесплатного оказания гражданам медицинской помощи. Исследование проводилось без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права пациента, принимавшего участие в исследовании, включая получение информированного согласия.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Barbosa de Toledo Lourenço PR, Pires RE. Subtrochanteric fractures of the femur: update. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(3):246-253. doi: 10.1016/j.rboe.2016.03.001
2. Joglekar SB, Lindvall EM, Martirosian A. Contemporary management of subtrochanteric fractures. *Orthop Clin North Am.* 2015;46(1):21-35. doi: 10.1016/j.ocl.2014.09.001
3. Bekos A, Sioutis S, Kostroglou A et al. The history of intramedullary nailing. *Int Orthop.* 2021;45(5):1355-1361. doi: 10.1007/s00264-021-04973-y
4. Pan LH, Wang JP, Liao Y. Delayed dynamization for non-union of femoral shaft fractures after static interlocking nailing. *Chinese Journal of Reparative and Reconstructive Surgery.* 2014;28:419-422
5. Vaughn J, Gotha H, Cohen E, et al. Nail Dynamization for Delayed Union and Nonunion in Femur and Tibia Fractures. *Orthopedics.* 2016;39(6):e1117-e1123. doi: 10.3928/01477447-20160819-01
6. Stolberg-Stolberg J, Fuchs T, Lodde MF, et al. Addition of shock wave therapy to nail dynamization increases the chance of long-bone non-union healing. *J Orthop Traumatol.* 2022;23(1):4. doi: 10.1186/s10195-021-00620-9
7. Wu CC, Chen WJ. Healing of 56 segmental femoral shaft fractures after locked nailing. Poor results of dynamization. *Acta Orthop Scand.* 1997;68(6):537-540. doi: 10.3109/17453679708999022
8. Litrenta J, Tornetta P 3rd, Vallier H et al. Dynamizations and exchanges: success rates and indications. *J Orthop Trauma.* 2015;29(12):569-573. doi: 10.1097/BOT.0000000000000311
9. Pihlajamäki HK, Salminen ST, Böstman OM. The treatment of nonunions following intramedullary nailing of femoral shaft fractures. *J Orthop Trauma.* 2002;16(6):394-402. doi: 10.1097/00005131-200207000-00005
10. Zheng TL, Li Y, Liu SK, et al. Proper dynamization of interlocking intramedullary nail for non-infectious delayed union of femoral shaft fractures. *Orthop J China.* 2018;26:2017-2021.
11. Хабибьянов Р.А., Шафигулин Р.А., Галеев И.Г., Никитин М.А. Способ удаления сломанного дистального конца бедренного канюлированного интрамедуллярного штифта. Патент РФ на изобретение № 2682128. 14.03.19. Бюл. № 8. Доступно по: <https://searchplatform.rospatent.gov.ru/media/National/RU/C1/2019/03/14/0002682128//document.pdf>. Ссылка активна на 26.06.2024.
12. Hu M, Zeng W, Zhang J, et al. Fixators dynamization for delayed union and non-union of femur and tibial fractures: a review of techniques, timing and influence factors. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):577. doi: 10.1186/s13018-023-04054-3
13. Kempf I, Grosse A, Beck G. Closed locked intramedullary nailing. Its application to comminuted fractures of the femur. *J Bone Joint Surg Am.* 1985;67(5):709-20. doi: 10.2106/00004623-198567050-00005
14. Eveleigh RJ. A review of biomechanical studies of intramedullary nails. *Med Eng Phys.* 1995;17(5):323-331. doi: 10.1016/1350-4533(95)97311-c
15. Iwakura T, Niikura T, Lee SY, et al. Breakage of a third generation gamma nail: a case report and review of the literature. *Case Rep Orthop.* 2013;2013:172352. doi: 10.1155/2013/172352
16. Rollo G, Rinonapoli G, Pichiari P, et al. Breakage in two points of a short and undersized "Affixus" cephalomedullary nail in a very active elderly female: a case report and review of the literature. *Case Rep Orthop.* 2018;2018:9580190. doi: 10.1155/2018/9580190
17. Eberle S, Bauer C, Gerber C, et al. The stability of a hip fracture determines the fatigue of an intramedullary nail. *Proc Inst Mech Eng H.* 2010;224(4):577-584. doi: 10.1243/09544119JHEM664
18. Andrzejowski P, Giannoudis PV. The 'diamond concept' for long bone non-union management. *J Orthop Traumatol.* 2019;20(1):21. doi: 10.1186/s10195-019-0528-0
19. Biber R, Bail HJ, Stedtfeld HW. Lateral cortical notching in specific cases of delayed unions or nonunions after intertrochanteric and reversed fractures. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2013;133(4):495-501. doi: 10.1007/s00402-013-1683-z
20. Tinner C, Beckmann NA, Bastian JD. Lateral cortical notching in revision of a subtrochanteric fracture non-union with breakage of a cephalomedullary nail. *J Orthop Case Rep.* 2020;10(6):5-8. doi: 10.13107/jocr.2020.v10.i06.1852
21. Hinz N, Stacenko K, Lutz C et al. Lateral cortical notching facilitates dynamization of proximal femoral nailing - A finite element analysis. *Injury.* 2023;54(11):111009. doi: 10.1016/j.injury.2023.111009

Статья поступила 12.12.2023; одобрена после рецензирования 26.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 12.12.2023; approved after reviewing 26.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Рашид Актасович Шафигулин — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, rashid221@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6146-4470>;

Ильдар Фуатович Ахтямов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, yalta60@mail.ru;

Ильнар Азатович Агьямов — врач травматолог-ортопед, aia3008@mail.ru;

Андрей Анатольевич Горнаев — врач травматолог-ортопед.

Information about the authors:

Rashid A. Shafigulin — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, rashid 221@ yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0008-6146-4470>;

Ildar F. Akhtyamov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, yalta 60@mail.ru;

Ilnar A. Aglyamov — orthopaedic surgeon, aia3008@mail.ru;

Andrey A. Gornaev — orthopaedic surgeon.

Вклад авторов:

Шафигулин Р.А. — концептуализация, методология, проведение исследования, визуализация исследования, написание первоначального варианта и его редактирование;

Ахтямов И.Ф. — контроль и управление проектом, рецензирование исследования;

Агьямов И.А. — валидация исследования;

Горнаев А.А. — валидация исследования.

Клиническое наблюдение

УДК 616.728.53-002.4-089.843

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-694-705>



Эндопротезирование головки таранной кости при лечении болезни Мюллера – Вейса: три клинических случая

В.В. Скребцов¹✉, В.Г. Процко^{1,2}, А.В. Скребцов¹, С.К. Тамоев¹

¹ Городская клиническая больница им. С.С. Юдина, Москва, Россия

² Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, Москва, Россия

Автор для переписки: Владимир Владимирович Скребцов, Skrebtsov@mail.ru

Аннотация

Введение. Болезнь Мюллера – Вейса — сравнительно редкое заболевание, которое характеризуется аваскулярным некрозом ладьевидной кости и проявляется грубой деформацией стопы с выраженным болевым синдромом и значительным снижением активности пациента. В настоящее время нет общепринятой тактики лечения аваскулярного некроза ладьевидной кости, а имеющиеся методы лечения имеют недостатки, что обуславливает необходимость поиска новых вариантов решения данной проблемы.

Цель работы — представить краткосрочные результаты лечения трёх пациентов с остеонекрозом ладьевидной кости и локальным некрозом головки таранной кости методом эндопротезирования головки таранной кости керамическим имплантом, пластикой и металлостеосинтезом ладьевидной кости, а также сопутствующими хирургическими техниками.

Материалы и методы. Трёх пациентам с диагнозом «болезнь Мюллера – Вейса» выполнено эндопротезирование головки таранной кости керамическим имплантом, костная аутопластика, металлостеосинтез ладьевидной кости с сопутствующими хирургическими техниками. Анализ выраженности болевого синдрома и состояния пациентов проведен по шкалам ВАШ и AOFAS АН.

Результаты. В краткосрочном периоде анализа результатов у всех пациентов наблюдали консолидацию зоны металлостеосинтеза, признаков нестабильности гемипротезов таранной кости не выявлено. Отмечали снижение выраженности болевого синдрома и улучшение состояния пациентов по ВАШ и AOFAS АН.

Обсуждение. Гемиэндопротезирование головки таранной кости в комбинации с пластикой и восстановлением конгруэнтности ладьевидной кости, а также сопутствующими хирургическими техниками, при дальнейшем изучении может стать эффективной альтернативой имеющимся методам лечения пациентов с болезнью Мюллера – Вейса.

Заключение. Полученные краткосрочные данные демонстрируют, что гемиэндопротез позволил восстановить подвижность таранно-ладьевидного сустава при сохранении стабильной фиксации таранной кости.

Ключевые слова: таранно-ладьевидный сустав, аваскулярный некроз, ладьевидная кость, болезнь Мюллера – Вейса, эндопротезирование, керамический имплант

Для цитирования: Скребцов В.В., Процко В. Г., Скребцов А. В., Тамоев С.К. Эндопротезирование головки таранной кости при лечении болезни Мюллера – Вейса: три клинических случая. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):694-705. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-694-705. EDN: SLKKVV.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-694-705>



Talar head replacement for treatment of Müller – Weiss syndrome: three clinical cases

V.V. Skrebtsov^{1✉}, V.G. Protsko^{1,2}, A.V. Skrebtsov¹, S.K. Tamoev¹

¹ Yudin City Clinical Hospital, 115446, Moscow, Russian Federation

² Russian Peoples' Friendship University, 117198, Moscow, Russian Federation

Corresponding author: Vladimir V. Skrebtsov, Skrebtsov@mail.ru

Abstract

Introduction Müller – Weiss syndrome is a rare condition that is characterized by avascular necrosis of the navicular bone leading to severe foot deformity, pain disturbing activities of daily living. There is no generally accepted treatment for avascular necrosis of the scaphoid, and the available treatments have disadvantages, which necessitates the need for new options.

The **objective** was to present short-term results of three patients with osteonecrosis of the scaphoid and local necrosis of the talar head treated with ceramic talar head prosthesis, plastic surgery, metal osteosynthesis of the scaphoid and related surgical techniques.

Material and methods Three patients diagnosed with Müller – Weiss syndrome were treated with ceramic talar head replacement, autologous bone grafting and metal osteosynthesis of the scaphoid bone with accompanying surgical techniques. Severity of pain and the condition of patients were assessed with the VAS and AOFAS AH scores.

Results Short-term results showed consolidation at the site of metal osteosynthesis in all patients with no signs of instability of the talus hemiprosthesis. VAS and AOFAS AH scores indicated decrease in the pain and improved condition of the patients.

Discussion Hemiarthroplasty of the talar head combined with plastic surgery and restoration of a congruent joint surface of the scaphoid, and associated surgical techniques may become an effective alternative to existing treatments for patients with Müller – Weiss syndrome, with further study.

Conclusion The short-term findings showed that hemiarthroplasty was practical for restoration of the talonavicular mobility maintaining stable fixation of the talus.

Keywords: talonavicular joint, avascular necrosis, scaphoid bone, Müller – Weiss syndrome, joint replacement, ceramic implant

For citation: Skrebtsov VV, Protsko VG, Skrebtsov AV, Tamoev SK. Talar head replacement for treatment of Müller – Weiss syndrome: three clinical cases. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):694-705. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-694-705

ВВЕДЕНИЕ

Таранно-ладьевидный сустав входит в состав так называемого трёхсуставного комплекса — сустава Шопара — и является одним из ключевых суставов, обеспечивающих функцию всей стопы в целом. Он играет существенную роль в цикле шага, обеспечивая распределение векторов нагрузки и обеспечения пронационно-супинационных движений стопы [1].

Выраженные дегенеративные изменения суставов среднего и заднего отдела стопы значительно снижают качество жизни пациента, а также негативно влияют на функцию всей стопы в целом [2].

Остеонекроз суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава ведёт к стойкому нарушению его функции. Среди причин возникновения остеонекроза можно выделить последствия перенесённой травмы, ревматоидный артрит, болезнь Келлера. Особое место в этом списке занимает болезнь Мюллера – Вейса. Это редкое заболевание, которое проявляется аваскулярным некрозом ладьевидной кости [3].

Консервативные методы лечения болезни Мюллера – Вейса применимы на начальных стадиях и, согласно данным литературы, не всегда эффективны [4].

Существующие хирургические методики при лечении выраженных степеней разрушения суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава направлены на его блокирование [5, 6]. Известно, что артродезирование функционально значимых суставов приводит к неудовлетворительным функциональным результатам, что особенно выражено в долгосрочной перспективе.

С целью сохранения функции таранно-ладьевидного сустава при его выраженных деформациях и деструкции нами предложена оригинальная модель эндопротеза головки таранной кости и способ ее имплантации [7].

Цель работы — представить краткосрочные результаты лечения трёх пациентов с остеонекрозом ладьевидной кости и локальным некрозом головки таранной кости методом эндопротезирования головки таранной кости керамическим имплантом, пластикой и металлоостеосинтезом ладьевидной кости, а также сопутствующими хирургическими техниками.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Исследование выполнено в соответствии с этическими нормами Хельсинкской декларации 1975 г., пересмотренными в 2013 г., одобрено этическим комитетом учреждения. Пациенты дали добровольное информированное согласие на публикацию результатов исследования без раскрытия личности.

Описаны результаты трёх клинических случаев лечения пациентов с выраженным остеонекрозом ладьевидной кости и локальным некрозом головки таранной кости, которым был установлен диагноз болезнь Мюллера – Вейса, методом гемизендопротезирования головки таранной кости в комбинации с пластикой и металлоостеосинтезом ладьевидной кости.

Модель гемипротеза головки таранной кости является оригинальной отечественной разработкой, выполненной из циркониевой оксидной керамики, стабилизированной иттрием. Имплант содержит суставную головку с гладкой суставной поверхностью и четырехлопастную ножку. Пресс-фит фиксация происходит за счёт самозаклинивания ножки гемизендопротеза в подготовленном канале таранной кости.

Для оценки объективного состояния пациентов в пред- и послеоперационном периоде выполнены рентгенография стоп с нагрузкой, мультиспиральная компьютерная томография (МСКТ). Для оценки субъективного состояния пациентам перед оперативным вмешательством и через 12 мес. выполнено анкетирование по шкалам ВАШ (визуальная аналоговая шкала боли) и AOFAS АН (*англ.*: American Orthopedic Foot and Ankle Society — Ankle Hindfoot Scale).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Случай 1

Пациент 70 лет обратился с жалобами на боль в среднем и заднем отделах правой стопы в покое, усиливающуюся во время ходьбы и после физической нагрузки. В анамнезе около одного года назад травма — подвернул правую стопу. За медицинской помощью не обращался. С течением времени стал отмечать выраженный болевой синдром с отрицательной клинической динамикой.

При осмотре отмечен умеренный отёк мягких тканей в среднем и заднем отделах правой стопы. Также определены уплощение внутреннего продольного свода и варусное отклонение пяточной кости. При пальпации обнаружена выраженная болезненность в проекции таранно-ладьевидного сустава правой стопы. Супинационно-пронационные движения правой стопы невозможны. При анкетировании пациента до операции получены результаты: 22 балла по шкале AOFAS АН и 10 баллов по ВАШ.

По данным компьютерной томографии выявлены грубая деформация и дислокация суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава, фрагментация ладьевидной кости, сцепленное вклинивание головки таранной кости и фрагмента ладьевидной кости (рис. 1).



Рис. 1. МСКТ-срезы правой стопы до операции: а — сагиттальная плоскость; б — аксиальная плоскость. Выраженные дегенеративные изменения в таранно-ладьевидном суставе, вклинивание таранной и ладьевидной костей

Пациенту поставлен диагноз: Остеоартрит таранно-ладьевидного сустава 3 стадии, остеонекроз ладьевидной кости и головки таранной кости правой стопы, блокада таранно-ладьевидного сустава.

Основываясь на анамнезе заболевания и результатах обследования, можно сделать вывод о стрессовом переломе ладьевидной кости, который, в свою очередь, способствовал деструкции головки таранной кости, фрагментации ладьевидной кости и дальнейшему развитию болезни Мюллера – Вейса.

Пациенту выполнено оперативное вмешательство: некрэктомия, костная пластика дефекта ладьевидной кости из переднего суставного отростка пяточной кости, металлоостеосинтез (МОС) ладьевидной кости винтами, гемизендопротезирование головки таранной кости керамическим имплантом, удлиняющий резекционный артродез пяточно-кубовидного сустава с пластикой губчатым аллотрансплантатом и скобой, ахиллопластика по Страйеру.

На момент контрольного осмотра через 12 мес. после проведенного хирургического вмешательства пациент ходил с полной опорой на правую нижнюю конечность, не хромал. Не отмечено отёка мягких тканей области заднего отдела правой стопы. Определено умеренное уплощение внутреннего продольного свода правой стопы, выравнивание заднего отдела стопы удовлетворительное (рис. 2).

Послеоперационные рубцы — состоятельные, без признаков воспаления. Пальпация таранно-ладьевидного сустава безболезненная. Объём движений в правом голеностопном суставе полный, безболезненный. Объём безболезненных супинационно-пронационных движений правой стопы в суставе Шопара: 10° – 0° – 10° . При тестировании пациента по шкале AOFAS АН получено 72 балла, по ВАШ — 2 балла.

На рентгенограммах правой стопы с полной нагрузкой через 12 мес. после операции: МОС ладьевидной кости состоятелен, отмечены состоявшийся пяточно-кубовидный анкилоз (рис. 3), умеренное уплощение продольного свода, однако функция стопы восстановлена.



Рис. 2. Внешний вид стоп через 12 мес. после проведенного лечения: умеренное уплощение внутреннего продольного свода правой стопы, удовлетворительное выравнивание заднего отдела стопы

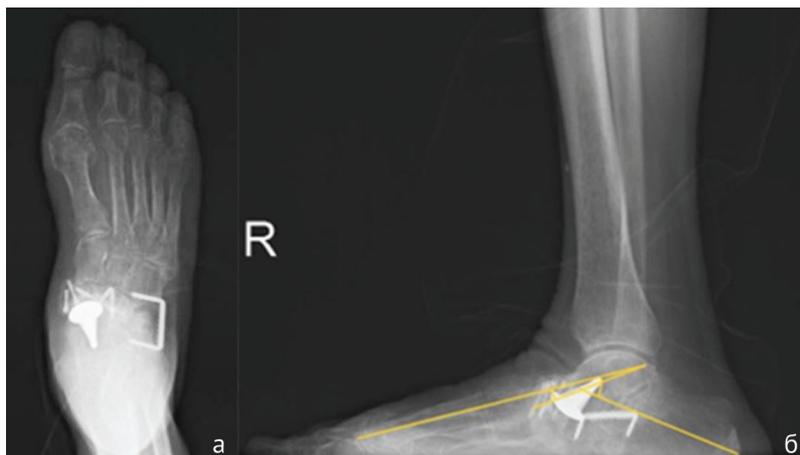


Рис. 3. Рентгенограммы правой стопы с нагрузкой через 12 мес. после операции: а — передне-задняя проекция; б — боковая проекция (угол Мери — 8° ; таранно-пяточный угол Кайта — 45°)

Случай 2

Пациентка 43 лет обратилась с жалобами на острые боли в среднем и заднем отделах правой стопы, появившиеся без видимых причин около одного года назад. Проходила консервативное лечение без положительной динамики.

При клиническом обследовании выявлен выраженный отёк мягких тканей области среднего и заднего отделов правой стопы, уплощение внутреннего продольного свода, варусное отклонение пяточной кости правой стопы (рис. 4).



Рис. 4. Внешний вид стоп до проведенного лечения: варусное отклонение заднего отдела правой стопы, выраженное уплощение внутреннего продольного свода обеих стоп, вальгусное отклонение заднего отдела левой стопы

При пальпации правой стопы — выраженная болезненность в проекции таранно-ладьевидного сустава. Супинационно-пронационные движения правой стопы не отмечены. Неврологического дефицита не выявлено. При тестировании пациентки до операции по шкале AOFAS AH получено 24 балла, результат по шкале ВАШ — 10 баллов.

На левой стопе отмечены выраженное уплощение внутреннего продольного свода, вальгусная деформация заднего отдела и отведение переднего отдела стопы. Однако, несмотря на наличие выраженной деформации, стопа опорная, и болевой синдром отсутствовал.

По данным компьютерной томографии правой стопы выявлены грубые дегенеративные изменения суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава, остеонекроз и фрагментация ладьевидной кости, сцепленное вклинивание между головкой таранной кости и фрагментом ладьевидной кости (рис. 5).

Пациентке поставлен диагноз: Болезнь Мюллера – Вейса, остеонекроз ладьевидной и головки таранной кости правой стопы, блокада таранно-ладьевидного сустава.

Первым этапом оперативного вмешательства произведена некрэктомия ладьевидной кости. Далее выполнен МОС ладьевидной кости, выделена зона ложного сустава ладьевидной кости. При помощи осцилляторной пилы осуществлена его резекция до кровоточащих участков костной ткани. После этого произведена репозиция фрагментов ладьевидной кости, фиксация стягивающим винтом, затем — опорной мини-пластиной с угловой стабильностью.

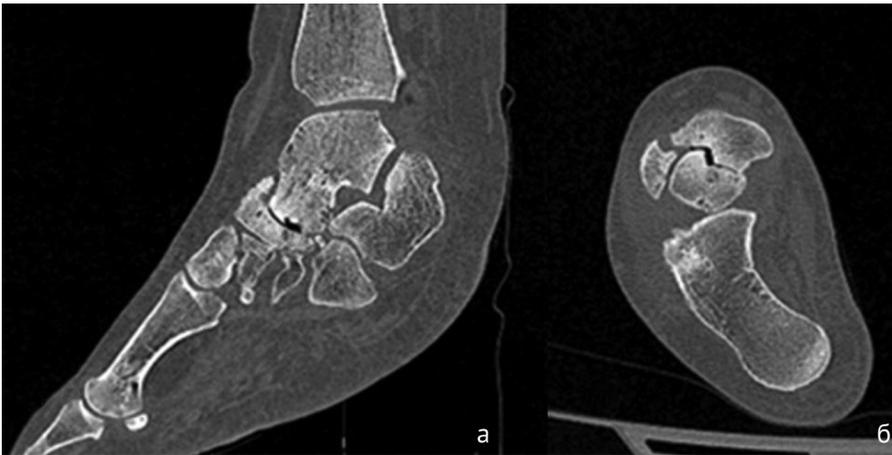


Рис. 5. МСКТ-срезы правой стопы до операции: а — сагиттальная плоскость; б — аксиальная плоскость. Выраженный остеоартрит на уровне сустава Шопара, перелом ладьевидной кости, патологический угол наклона ладьевидной кости

Следующим этапом выполнено гемизендопротезирование головки таранной кости керамическим имплантом, удлиняющий резекционный артродез пяточно-кубовидного сустава с пластикой костным губчатым аллотрансплантатом и фиксации скобой, ахиллопластика по Вульпиус.

При физикальном обследовании через 12 мес. после проведенного оперативного вмешательства выявлен незначительный отёк мягких тканей области заднего отдела правой стопы, ось пяточной кости — в нейтральном положении (рис. 6).



Рис. 6. Внешний вид стоп через 12 мес. после проведенного лечения: незначительный отёк на уровне правого голеностопного сустава, нейтральное положение пяточной кости справа

Движения правой стопы в суставе Шопара, пальпация таранно-ладьевидного сустава — безболезненные, супинация–пронация: 10° – 0° – 5° . При тестировании пациентки по шкале AOFAS АН получено 95 баллов, по шкале ВАШ — 1 балл.

На рентгенограммах правой стопы с весовой нагрузкой через 12 мес. после операции при выявленном переломе скобы определена состоятельность остеосинтеза ладьевидной кости и пяточно-кубовидного анкилоза (рис. 7). Правая стопа — опорная и безболезненная.

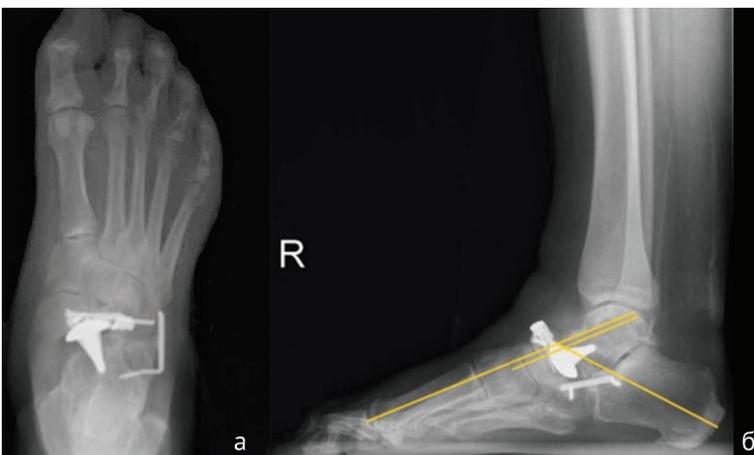


Рис. 7. Рентгенограммы правой стопы в положении «стоя» через 12 мес. после операции: а — передне-задняя проекция; б — боковая проекция (угол Мери — 0° , таранно-пяточный угол Кайта — 50°). Полная консолидация ладьевидной кости в условиях МОС, пяточно-кубовидный артродез состоятельный, сломанная скоба-коннектор

Случай 3

Пациентка 24 лет обратилась с жалобами на острые боли в среднем отделе правой стопы. В анамнезе — травма, около 7 лет назад подвернула правую стопу, однако костно-травматических повреждений на момент травмы не выявлено.

При физикальном обследовании определен умеренный отёк мягких тканей области среднего и заднего отделов правой стопы, уплощение внутреннего продольного свода правой стопы, варусное отклонение пяточной кости (рис. 8).



Рис. 8. Внешний вид стоп до лечения: умеренная отёчность правой стопы, уплощение внутреннего продольного свода, варусное отклонение пяточной кости справа

Определяется выраженная болезненность правой стопы при пальпации в проекции таранно-ладьевидного сустава. Супинационно-пронационные движения правой стопы качательные и резко болезненные. При тестировании пациента до операции по шкале AOFAS АН — 39 баллов, по шкале ВАШ — 9 баллов.

По данным компьютерной томографии выявлена грубая деформация суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава, остеонекроз и фрагментация ладьевидной кости, локальный аваскулярный некроз головки таранной кости (рис. 9).



Рис. 9. МСКТ-срезы правой стопы до операции: а — сагиттальная плоскость; б — аксиальная плоскость. Выраженный остеоартрит таранно-ладьевидного сустава, кистозная перестройка головки таранной кости, фрагментация ладьевидной кости

Пациентке был поставлен диагноз: Болезнь Мюллера – Вейса, остеонекроз ладьевидной кости и головки таранной кости правой стопы.

Выполнено оперативное вмешательство: некрэктомия ладьевидной кости, МОС мини-пластиной, гемизндопротезирование головки таранной кости, удлиняющая остеотомия пяточной кости по Эванс с пластикой костным губчатым аллотрансплантатом и фиксацией скобой-коннектором.

При обследовании через 12 мес. после операции выявлен незначительный отёк мягких тканей области заднего отдела правой стопы, физиологическое положение пяточной кости (рис. 10).

Объём безболезненных супинационно-пронационных движений правой стопы в суставе Шопара через 12 мес. после проведенного лечения составил 10° – 0° – 10° . Пальпация таранно-ладьевидного сустава — безболезненная. При тестировании пациента по шкале AOFAS АН получено 87 баллов, по шкале ВАШ — 1 балл.

На рентгенограммах правой стопы с весовой нагрузкой через 12 мес. после операции: МОС ладьевидной кости состоятелен (рис. 11). По данным МСКТ нестабильности гемизндопротеза не выявлено (рис. 12).



Рис. 10. Внешний вид стоп через 12 мес. после проведенного лечения. Послеоперационный рубец чистый, без признаков воспаления, отмечается физиологическое положение пяточной кости



Рис. 11. Рентгенограмма правой стопы в боковой проекции в положении «стоя» через 12 мес. после операции. Миграции имплантов не выявлено, определяется среднефизиологическое положение стопы: угол Мери — 2° , таранно-пяточный угол Кайта — 50°



Рис. 12. МСКТ-срезы правой стопы через 12 мес. после операции: а — сагиттальная плоскость; б — аксиальная плоскость. Консолидация ладьевидной кости в условиях МОС, признаков несостоятельности гемипротеза не определено

ОБСУЖДЕНИЕ

Разрушение суставных поверхностей таранно-ладьевидного сустава может происходить под воздействием ряда причин: вследствие первичного остеонекроза, перенесенной травмы, остеохондрита, болезни Келлера, стрессового перелома ладьевидной кости, ревматоидного артрита или болезни Мюллера – Вейса.

Травматические переломы ладьевидной кости являются достаточно редким повреждением, и в настоящее время их диагностика представляет трудности. При этом до 30 % всех стрессовых переломов стопы составляют повреждения ладьевидной кости [8].

Также из-за сложной анатомии и кровоснабжения ладьевидная кость подвержена остеонекрозу, и её повреждение может привести к посттравматическому остеоартриту окружающих суставов. В детском возрасте аваскулярный некроз ладьевидной кости представлен болезнью Келлера, которая наиболее часто встречается в возрасте 2–10 лет [9]. У взрослых данное состояние называется болезнью Мюллера – Вейса и проявляется коллапсом и фрагментацией ладьевидной кости.

Впервые болезнь Мюллера – Вейса была описана в 1927 г. немецким хирургом Walther Müller и австрийским рентгенологом Konrad Weiss. Однако также существует мнение, что первым данное состояние описал Schmidt в 1925 году [10].

В настоящее время общепринятого мнения о причине возникновения болезни Мюллера – Вейса нет [11]. Однако существует несколько теорий, среди которых упоминаются остеонекроз, остеохондрит, посттравматический некроз или последствие биомеханических нарушений, остеоартрит (ОА) на фоне дисплазии ладьевидной кости, врожденная мальформация, повторяющиеся стресс-переломы ладьевидной кости и другие. В недавнее время была широко распространена этиопатогенетическая теория, в которой участвуют диспластические, механические и социально-экономические факторы окружающей среды [12]. Однако T. Doyle et al. не нашли данной взаимосвязи [13].

Кровоснабжение ладьевидной кости представлено медиальной подошвенной артерией, тыльной артерией стопы и артерией тарзального канала [14]. В центральной части ладьевидной кости отмечается худшее кровоснабжение, которое также имеет тенденцию к уменьшению с возрастом [15]. A. Tan et al. провели единственное на сегодняшний день патологоанатомическое исследование, результаты которого определили остеонекроз в исследуемом материале [16]. Тем не менее, другие авторы отмечают нормальную костную ткань [17].

В 2004 г. E. Maceira, R. Rochera пришли к выводу о наличии дисплазии костей предплюсны и ладьевидной кости, которая приводит к отложенной оссификации, и связанным с этим патологическим распределением нагрузки [12]. Данное состояние проявляется значительным увеличением давления на латеральный край ладьевидной кости. Также предрасполагающими факторами можно считать варусную деформацию стопы на уровне подтаранного сустава и короткую первую плюсневую кость.

Распространенность данного заболевания в популяции неизвестна. Это может быть вызвано тем, что заболевание начинает протекать бессимптомно и часто диагностируется уже при выраженном остеоартрите таранно-ладьевидного сустава, когда поставить точный диагноз является затруднительным. Данное состояние наиболее распространено у женщин 40–46 лет, при этом частота встречаемости в сравнении с мужчинами составляет 6:1 или 2:1. В 50 % случаев отмечается двусторонняя локализация [18].

Чаще всего пациенты с данным состоянием испытывают боль по тыльно-медиальной поверхности среднего или заднего отдела стопы, при этом имеется тенденция к отрицательной динамике. Деформация имеет свои особенности: на фоне уплощения внутреннего продольного свода и отводящей деформации среднего отдела стопы у пациента определяют варусную деформацию её заднего отдела, так называемую парадоксальную плоскую стопу (Pes planovarus, paradoxical flatfoot deformity). При этом наблюдают проявления остеоартрита в смежных с ладьевидной костью суставах. В патогенезе данного заболевания отмечают прогрессирующую фрагментацию ладьевидной кости и коллапс на её латеральной поверхности, смещение головки таранной кости по направлению к латеральной клиновидной кости.

Критерии рентгенологической диагностики предложены Maceira и Rochera в 2004 году и обобщены в таблице 1 [12].

Таблица 1

Рентгенологические классификация Maceira и Rochera болезни Мюллера – Вейса

Стадия	Признаки
1	Обычные рентгеновские снимки, сканирование технецием, МСКТ и МРТ (внутрикостный отек). Может присутствовать незначительный подтаранный варус
2	Латеральное смещение головки таранной кости вызывает подтаранный варус
3	Расщепление или сжатие ладьевидной кости приводит к уменьшению высоты медиального свода
4	Прогрессирующее сжатие ладьевидной кости приводит к эквинусу задней части стопы
5	Полное выдавливание ладьевидной кости с прямым контактом таранной кости и клиновидной кости

Также при рентгенологической диагностике можно выявить изменение формы ладьевидной кости: вместо вогнутой формы (boat-shaped) отмечают изменение формы по типу «запятой» с уменьшением толщины по латеральному краю — comma-shaped, что обуславливается прогрессирующей компрессионной латеральной части ладьевидной кости. Кубовидная кость при этом заболевании может смещаться медиально (cuboid sign). На рентгенограммах отмечают открытый тарзальный синус, что вызвано варусным положением заднего отдела стопы. При рентгенографии определяют гипертрофированную вторую плюсневую кость. Данные изменения вызваны ее латеральным сдвигом и увеличением нагрузки на нее. При изучении подошвенного давления определяют его увеличение в среднем отделе стопы и медиальном крае заднего отдела стопы, что подтверждают патологические изменения в стопе [19].

При МРТ визуализируется снижение интенсивности сигнала от ладьевидной кости на T1 взвешенных изображениях (T1ВИ), гиперинтенсивный диффузный отек и гиперинтенсивная периартикулярная жидкость на T2 взвешенных изображениях (T2ВИ).

Несмотря на то, что консервативные методы лечения применимы на начальных стадиях заболевания (стадии 1 и 2 по классификации Mascera и Rochera), и, по данным авторов, не всегда эффективны, данная тактика лечения считается терапией первой линии [3, 4].

Консервативное лечение включает в себя использование ортопедических стелек, ограничение физической активности, иммобилизацию, приём НПВС и анальгетиков и продолжается минимум 3 мес. Результаты использования ортопедических стелек с полужесткой поддержкой внутреннего продольного свода являются удовлетворительными, однако эффективность лечения имеет зависимость от угла наклона пяточной кости и отведения стопы [20].

Арсенал существующих хирургических методов лечения достаточно велик. Некоторые авторы рекомендуют изолированные артродезы таранно-ладьевидного сустава. Общепринятыми методами оперативного лечения являются различные комбинации артродезирующих вмешательств, при этом преобладают двойные и тройные артродезы [5, 6, 21]. Одним из обязательных условий достижения удовлетворительных результатов лечения некоторые авторы считают коррекцию ротационного смещения таранной кости с последующим выполнением таранно-ладьевидного или таранно-ладьевидно-клиновидных артродеза [22]. Артродезы применяют в комбинации с костной аутопластикой из крыла подвздошной кости [23]. Есть сообщение о резекции ладьевидной кости с последующей реконструкцией медиальной колонны с использованием аллотрансплантата головки бедренной кости для артродеза пластиной [16]. Известно, что блокирование функционально значимых суставов приводит к неудовлетворительным результатам, что особенно выражено в долгосрочном периоде, поэтому необходимо избегать артродеза таранно-ладьевидного сустава [24, 25].

В литературе есть единичные сообщения о суставсберегающих вмешательствах при лечении болезни Мюллера – Вейса. Они включают в себя такие хирургические техники как чрескожная декомпрессия ладьевидной кости на начальных стадиях заболевания, некрэктомия ладьевидной кости и замена ее костным губчатым трансплантатом из подвздошной кости [26, 27], дебридмент ладьевидной кости и костная пластика васкуляризированным трансплантатом из медиального мышцелка бедренной кости [28]. Сделать вывод об эффективности этих вмешательств не представляется возможным из-за небольшого количества наблюдений.

Одной из важных задач в лечении является выравнивание заднего отдела стопы, которая может быть достигнута остеотомией пяточной кости [20]. Удлиняющая остеотомия пяточной кости разгружает латеральные отделы ладьевидной кости, корригирует деформацию, приводит к снижению болевого синдрома и улучшает функцию стопы. Удлинение и стабилизация латеральной колонны может происходить и за счёт удлиняющего пяточно-кубовидного артродеза с пластикой аллотрансплантатом [29]. По данным N. Wülker, пяточно-кубовидный артродез снижает объём движений в таранно-ладьевидном суставе на 19 % и после операции составляет $(32,95 \pm 5,14)^\circ$ [30]. На наш взгляд, это не является критичным для функции стопы и позволит остановить прогрессирование деформации и уменьшить нагрузку на контактные поверхности таранно-ладьевидного сустава.

Также очень важным является сохранение подвижности непосредственно таранно-ладьевидного сустава. Перспективным направлением в лечении остеонекроза ладьевидной и головки таранной костей может быть использование имплантов, выполненных методом 3D-печати. В литературе есть сообщение о применении индивидуального титанового эндопротеза ладьевидной кости. S.B. Adams и R.M. Danilkowicz сообщили об успешных результатах лечения пациента с остеонекрозом ладьевидной кости после имплантации индивидуального титанового эндопротеза ладьевидной кости при сроке послеоперационного наблюдения 4 года [24].

Однако известно, что циркониевая керамика в меньшей степени повреждает противоположную хрящевую поверхность, чем металл и, соответственно, более предпочтительна для гемизендопротезирования [31, 32]. Методику гемипротезирования головки таранной кости сустава мы выполняем с 2021 г., всего на момент публикации проведено более 20 оперативных вмешательств, направленных на замещение суставной поверхности головки таранной кости. Наиболее часто данное хирургическое вмешательство мы использовали при остеоартрите таранно-ладьевидного сустава, сопровождая его сопутствующими хирургическими техниками.

Данные импланты являются оригинальной отечественной разработкой, на модель эндопротеза головки таранной кости и способ его имплантации был получен патент № 2788474 [7]. Линейка имплантов представлена 4 типоразмерами, которые позволяют подобрать необходимый имплант вне зависимости от размера стопы пациента. Нами проводится дальнейшая работа по оценке применения данной хирургической техники у пациентов с поражением таранно-ладьевидного сустава различного генеза.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Полученные краткосрочные данные демонстрируют, что гемизендопротез позволил восстановить подвижность таранно-ладьевидного сустава при сохранении стабильной фиксации таранной кости.

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие. Авторы получили письменное согласие пациентов на публикацию медицинских данных и фотографий.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Savory KM, Wülker N, Stukenborg C, Alfke D. Biomechanics of the hindfoot joints in response to degenerative hindfoot arthrodeses. *Clin Biomech* (Bristol, Avon). 1998;13(1):62-70. doi: 10.1016/s0268-0033(97)00016-8
2. Golightly YM, Gates LS. Foot Osteoarthritis: Addressing an Overlooked Global Public Health Problem. *Arthritis Care Res* (Hoboken). 2021;73(6):767-769. doi: 10.1002/acr.24181
3. Anghong C, Younger ASE, Chuckpaiwong B, et al. A Novel Update on the Management of Müller-Weiss Disease: Presentation of a Treatment Algorithm. *Cartilage*. 2024;15(1):65-71. doi: 10.1177/19476035231205684
4. Harnroongroj T, Tharmviboonsri T, Chuckpaiwong B. Müller-Weiss Disease: The Descriptive Factors of Failure Conservative Treatment. *Foot Ankle Int*. 2021;42(8):1022-1030. doi: 10.1177/10711007211002826
5. Fornaciari P, Gilgen A, Zwicky L, et al. Isolated talonavicular fusion with tension band for Müller-Weiss syndrome. *Foot Ankle Int*. 2014;35(12):1316-1322. doi: 10.1177/1071100714548197
6. Bai W, Li Y, Shen G, et al. Talonavicular-cuneiform arthrodesis for the treatment of Müller-Weiss: mid-term results of 15 cases after 5 years. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):178. doi: 10.1186/s12891-023-06293-1
7. Карлов А. В., Скребцов В. В., Процко В. Г. *Способ лечения деформирующих поврежденных подтаранного сустава и гемизендопротез подтаранного сустава для его осуществления.* Патент РФ на изобретение № 2788474. 19.01.23. Бюл. № 2. Доступно по: <https://www.fips.ru/registers-doc-view/fipsServlet>. Ссылка активна на 16.05.2024.
8. Saxena A, Behan SA, Valerio DL, Frosch DL. Navicular Stress Fracture Outcomes in Athletes: Analysis of 62 Injuries. *J Foot Ankle Surg*. 2017;56(5):943-948. doi: 10.1053/j.jfas.2017.06.009
9. Chan JY, Young JL. Köhler Disease: Avascular Necrosis in the Child. *Foot Ankle Clin*. 2019;24(1):83-88. doi: 10.1016/j.fcl.2018.09.005
10. Müller W. On an odd double-sided change of the tarsal navicular. *Dtsch. Z. Chir*. 1927;201:84-89. doi: 10.1007/BF02793918
11. Ahmed AA, Kandil MI, Tabl EA, Elgazzar AS. Müller-Weiss Disease: A Topical Review. *Foot Ankle Int*. 2019;40(12):1447-1457. doi: 10.1177/1071100719877000
12. Maceira E, Rochera R. Müller-Weiss disease: clinical and biomechanical features. *Foot Ankle Clin*. 2004;9(1):105-125. doi: 10.1016/S1083-7515(03)00153-0
13. Doyle T, Napier RJ, Wong-Chung J. Recognition and management of Müller-Weiss disease. *Foot Ankle Int*. 2012;33(4):275-281. doi: 10.3113/FAI.2012.0275
14. Kelikian AS, Sarrafian SK. *Sarrafian's Anatomy of the Foot and Ankle: Descriptive, Topographic, Functional*. 4th ed. Wolters Kluwer Publ.; 2023.
15. Ramadorai MU, Beuchel MW, Sangeorzan BJ. Fractures and Dislocations of the Tarsal Navicular. *J Am Acad Orthop Surg*. 2016;24(6):379-389. doi: 10.5435/JAAOS-D-14-00442
16. Tan A, Smulders YC, Zöphel OT. Use of remodeled femoral head allograft for tarsal reconstruction in the treatment of müller-weiss disease. *J Foot Ankle Surg*. 2011;50(6):721-726. doi: 10.1053/j.jfas.2011.04.043
17. Welck MJ, Kaplan J, Myerson MS. Müller-Weiss Syndrome: Radiological Features and the Role of Weightbearing Computed Tomography Scan. *Foot Ankle Spec*. 2016;9(3):245-251. doi: 10.1177/1938640016630055
18. Zhang H, Li J, Qiao Y, et al. Open triple fusion versus TNC arthrodesis in the treatment of Mueller-Weiss disease. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):13. doi: 10.1186/s13018-017-0513-3
19. Hetsroni I, Nyska M, Ayalon M. Plantar pressure distribution in patients with Müller-Weiss disease. *Foot Ankle Int*. 2007;28(2):237-241. doi: 10.3113/FAI.2007.0237
20. Li SY, Myerson MS, Monteagudo M, Maceira E. Efficacy of Calcaneus Osteotomy for Treatment of Symptomatic Müller-Weiss Disease. *Foot Ankle Int*. 2017;38(3):261-269. doi: 10.1177/1071100716677741
21. Lee TY, Wu CC, Yang KC, et al. Midterm outcomes of midfoot and hindfoot arthrodesis with strut allograft for Müller-Weiss disease. *BMC Musculoskelet Disord*. 2022;23(1):715. doi: 10.1186/s12891-022-05629-7
22. Yuan C, Wang C, Zhang C, et al. Derotation of the Talus and Arthrodesis Treatment of Stages II-V Müller-Weiss Disease: Midterm Results of 36 Cases. *Foot Ankle Int*. 2019;40(5):506-514. doi: 10.1177/1071100719829457
23. Cao HH, Tang KL, Xu JZ. Peri-navicular arthrodesis for the Stage III Müller-Weiss disease. *Foot Ankle Int*. 2012;33(6):475-478. doi: 10.3113/FAI.2012.0475
24. Adams SB, Danilkowicz RM. Talonavicular Joint-Sparing 3D Printed Navicular Replacement for Osteonecrosis of the Navicular. *Foot Ankle Int*. 2021;42(9):1197-1204. doi: 10.1177/10711007211002807
25. Zhang K, Chen Y, Qiang M, Hao Y. Effects of five hindfoot arthrodeses on foot and ankle motion: Measurements in cadaver specimens. *Sci Rep*. 2016;6:35493. doi: 10.1038/srep35493
26. Tosun B, Al F, Tosun A. Spontaneous osteonecrosis of the tarsal navicular in an adult: Mueller-Weiss syndrome. *J Foot Ankle Surg*. 2011;50(2):221-224. doi: 10.1053/j.jfas.2010.10.019
27. Janositz G, Sisák K, Tóth K. Percutaneous decompression for the treatment of Mueller-Weiss syndrome. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(4):688-690. doi: 10.1007/s00167-010-1305-z
28. Levinson H, Miller KJ, Adams SB Jr, Parekh SG. Treatment of Spontaneous Osteonecrosis of the Tarsal Navicular With a Free Medial Femoral Condyle Vascularized Bone Graft: A New Approach to Managing a Difficult Problem. *Foot Ankle Spec*. 2014;7(4):332-337. doi: 10.1177/1938640013514270
29. Gutteck N, Lebek S, Wohlrab D, et al. Calcaneocuboid distraction arthrodesis with allogenic bone grafting for correction of pes planovalgus. *Acta Orthop Belg*. 2013;79(5):559-64.

30. Wülker N, Stukenborg C, Savory KM, Alfke D. Hindfoot motion after isolated and combined arthrodeses: measurements in anatomic specimens. *Foot Ankle Int.* 2000;21(11):921-927. doi: 10.1177/107110070002101106
31. Waldorff EI, Roessler BJ, Zachos TA, et al. Preclinical evaluation of a novel implant for treatment of a full-thickness distal femoral focal cartilage defect. *J Arthroplasty.* 2013;28(8):1421-1429. doi: 10.1016/j.arth.2012.11.020
32. Vanlommel J, De Corte R, Luyckx JP, et al. Articulation of Native Cartilage Against Different Femoral Component Materials. Oxidized Zirconium Damages Cartilage Less Than Cobalt-Chrome. *J Arthroplasty.* 2017;32(1):256-262. doi: 10.1016/j.arth.2016.06.024

Статья поступила 12.04.2024; одобрена после рецензирования 14.05.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 12.04.2024; approved after reviewing 14.05.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Владимир Владимирович Скребцов — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Виктор Геннадьевич Процко — доктор медицинских наук, доцент кафедры, врач травматолог-ортопед, 89035586679@mail.ru <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Александр Владимирович Скребцов — врач травматолог-ортопед, Skrebtsovaalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;

Саргон Константинович Тамоев — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>.

Information about the authors:

Vladimir V. Skrebtsov — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, Skrebtsov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0833-6628>;

Victor G. Protsko — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor of the Department, 89035586679@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5077-2186>;

Alexander V. Skrebtsov — orthopaedic surgeon, Skrebtsovaalex@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1418-3368>;

Sargon K. Tamoev — Candidate of Medical Sciences, Head of the Department, orthopaedic surgeon, Sargonik@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-8748-0059>.

Вклад авторов

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

Клиническое наблюдение

УДК 616.718.16-004.8-089.844+616.728.2-77-089.843:615.33

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-706-716>



Лечение пациентов с перипротезной инфекцией и замещением кавитарных дефектов типа 2С по Paprosky на этапе установки артикулирующего спейсера

Н.И. Рожков , А.М. Ермаков, А.С. Тряпичников, Н.В. Сазонова

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

Автор, ответственный за переписку: Никита Игоревич Рожков, digham@mail.ru

Аннотация

Введение. В связи с постоянным ростом числа первичных и ревизионных эндопротезирований тазобедренных суставов повышается и частота осложнений. Перипротезная инфекция (ППИ) является наиболее частым и опасным осложнением эндопротезирования, в том числе ППИ с кавитарными дефектами вертлужной впадины (тип 2с по Paprosky).

Цель работы — продемонстрировать успешный результат замещения дефектов вертлужной впадины у пациентов с перипротезной инфекцией на этапе установки артикулирующего спейсера.

Материалы и методы. Пациентам проведено оперативное лечение с восполнением кавитарных дефектов вертлужной впадины алло костным пластическим материалом на этапе установки артикулирующего спейсера с антибактериальными препаратами. Проведена клиническая и функциональная оценка эффективности лечения пациентов с ППИ тазобедренного сустава, которым выполнили на первом этапе двухэтапного ревизионного эндопротезирования костную пластику ацетабулярных дефектов. Ремиссию инфекционного процесса оценивали согласно ICM от 2013 года (*англ.*: International Consensus Meeting), функцию оперированной конечности — по шкале HHS (*англ.*: Harris Hip Score).

Результаты. На контрольном осмотре через 6 мес. после имплантации эндопротеза клинико-лабораторные проявления ППИ и рентгенологические признаки нестабильности компонентов эндопротеза отсутствовали. Костная пластика определена как состоятельная, функция оперированного сустава восстановлена (80–90 баллов по HHS). Достигнута ремиссия инфекционного процесса по ICM.

Обсуждение. Клинические наблюдения демонстрируют положительный результат лечения ППИ с пластикой кавитарных дефектов дна вертлужной впадины на этапе установки артикулирующего спейсера. Восполненные ацетабулярные дефекты на saniрующем этапе (имплантация спейсера) в последующем улучшают первичную фиксацию и остеоинтеграцию вертлужного компонента при конверсии спейсера на постоянный эндопротез. Это обусловлено увеличением площади соприкосновения вертлужного компонента с костной тканью (нативной костью и ремоделированным алло костным материалом).

Заключение. В результате лечения в первом клиническом случае удалось восстановить функцию сустава с 24 до 85 баллов, а во втором — с 27 до 76 баллов по шкале HHS. Применение методики восполнения дефектов позволило купировать инфекцию, улучшить функциональные результаты.

Ключевые слова: клинический случай, двухэтапное ревизионное эндопротезирование, тазобедренный сустав, перипротезная инфекция, остеомиелит, дефекты вертлужной впадины по Paprosky

Для цитирования: Рожков Н.И., Ермаков А.М., Тряпичников А.С., Сазонова Н.В. Лечение пациентов с перипротезной инфекцией и замещением кавитарных дефектов типа 2С по Paprosky на этапе установки артикулирующего спейсера. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):706-716. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-706-716. EDN: VOBMGA.

Clinical case

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-706-716>



Treatment of patients with periprosthetic infection and management of Paprosky type 2C cavitory defects at the stage of articulating spacer installation

N.I. Rozhkov✉, A.M. Ermakov, A.S. Triapichnikov, N.V. Sazonova

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

Corresponding author: Nikita I. Rozhkov, digham@mail.ru

Abstract

Introduction Due to the constant increase in the number of primary and revision hip arthroplasties, the incidence of complications has been also increasing. Periprosthetic joint infection (PJI) is the most common and dangerous complication in joint arthroplasty, including PJI with cavitory defects of the acetabulum (Paprosky type 2C).

The **purpose** of the work was to demonstrate successful results of managing acetabular defects in patients with periprosthetic infection at the stage of installing an articulating spacer.

Materials and methods The patients underwent surgical management of cavitory defects of the acetabulum with allogeneic plastic material at the stage of installation of an articulating spacer impregnated with antibacterial drugs. A clinical and functional assessment of the effectiveness of treatment of patients with PJI of the hip joint, who underwent bone grafting of acetabular defects at the first stage of two-stage revision arthroplasty, was carried out. Remission of the infectious process was assessed according to the ICM 2013 (International Consensus Meeting), and the function of the affected limb was assessed according to the HHS (Harris Hip Score).

Results At a 6-month follow-up after implantation, there were no clinical and laboratory manifestations of PJI and radiological signs of instability of the implant components. Bone grafting was evaluated to be satisfactory; the function of the affected joint restored to 80–90 to HHS points. Remission of the infectious process according to ICM was achieved.

Discussion Clinical cases studied demonstrate a positive result of treating PJI with plastic surgery of cavitory defects of the acetabular bottom at the stage of articulating spacer installation. Filling acetabular defects at the sanitizing stage (implantation of a spacer) subsequently provides improvement of primary fixation and osseointegration of the acetabular component when converting the spacer to a permanent implant. This is due to an increase in the contact area of the acetabular component with bone tissue (native bone and remodeled allogeneic material).

Conclusion The treatment of the first clinical case improved joint function from 24 to 85 HHS points, and in the second from 27 to 76 HHS points. The use of defect filling techniques enabled to stop the infection and improve functional results.

Keywords: clinical case, two-stage revision arthroplasty, hip joint, periprosthetic infection, osteomyelitis, acetabulum defects according to Paprosky

For citation: Rozhkov NI, Ermakov AM, Triapichnikov AS, Sazonova NV. Treatment of patients with periprosthetic infection and management of Paprosky type 2C cavitory defects at the stage of articulating spacer installation. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):706-716. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-706-716

ВВЕДЕНИЕ

Помимо увеличения количества научных статей об актуальности изучения перипротезной инфекции (ППИ) свидетельствуют следующие факторы: повышение продолжительности жизни людей, увеличение трудовой активности пожилого населения в связи с наличием условий, улучшающих качество жизни, закономерно связанный с этим ежегодный рост имплантируемых эндопротезов и, как следствие, увеличение количества инфекционных осложнений [1]. ППИ отмечается в 1–2 % случаев после первичной артропластики и в 4 % наблюдений после ревизионных вмешательств [2]. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование остается предпочтительным вариантом лечения ППИ [3]. Однако уровень смертности у пожилых пациентов после многократных оперативных вмешательств по-прежнему остается высоким [4]. Кроме того, нередко отмечаются рецидивы инфекции на фоне присутствия резистентных штаммов микроорганизмов, тяжелого коморбидного состояния пациента и наличия в анамнезе безуспешных ревизионных вмешательств [5]. К тому же, при хроническом течении ППИ после многократных saniрующих хирургических вмешательств формируются обширные дефекты костной и мягких тканей [6, 7]. Методики восполнения костных дефектов зависят от их размеров, плотности кости пациента, наличия кавитарных дефектов вертлужной впадины и нарушенной целостности тазового кольца, что определяет качество фиксации и площадь контакта с нативной костью [8]. Тяжелые дефекты вертлужной впадины составляют 1–5 % причин ревизий ацетабулярного компонента. Этиология возникновения данных дефектов — результат последствий остеолита, механического расшатывания вертлужного компонента и возникновения инфекции [9]. G. Bori et al. выявили статистически значимые факторы риска развития рецидива ППИ в виде значительных костных дефектов тазобедренного сустава [10]. Сложность восполнения дефектов вертлужной впадины при ревизионных вмешательствах на тазобедренном суставе подтверждается тем, что существует множество вариантов реконструкции, ни один из которых не обладает явным преимуществом перед остальными. Во время ревизионной операции необходимо добиваться надёжной фиксации компонентов эндопротеза с восстановлением костного дефекта дна вертлужной впадины [11].

Цель работы — продемонстрировать успешный результат замещения дефектов вертлужной впадины у пациентов с перипротезной инфекцией на этапе установки артикулирующего спейсера.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В серию клинических случаев включены пациенты, проходившие лечение в клинике костно-суставной инфекции (гношной остеологии) НМИЦ ТО им. академика Г.А. Илизарова. У исследуемых больных диагностирована хроническая ППИ по Cheng Li [12] с кавитарными дефектами вертлужной впадины типа 2С по Paprosky.

Оценивали дефект костной ткани предварительно по серии рентгенологических снимков. Отмечены рентгенологические признаки дефекта медиальной стенки и передней колонны с нарушением линии Kohler и выраженным лизисом в виде «фигуры слезы».

Пациентам выполнен первый этап оперативного лечения с радикальной санацией очага инфекции и восполнением аллокостным материалом кавитарных дефектов, установлен артикулирующий спейсер с восстановлением функции конечности.

Методика восполнения дефектов кости произведена в следующей последовательности. Остеопластический матрикс в форме блоков замачивали в физиологическом растворе, затем измельчали с помощью хирургического инструментария. В костно-пластический материал добавляли антибактериальные препараты (1 г ванкомицина и 1 г цефтазидима), далее проводили плотную импакцию дефектов вертлужной впадины.

На втором этапе лечения, после извлечения спейсера, поверхностный слой аллокости брали для бактериологического исследования, которое в последующем не выявило роста возбудителей. Пластический материал был представлен плотной интенсивно кровотокающей костной тканью бледно-желтого цвета, которая незначительно уступала по плотности нативной кости. При этом признаков некроза, секвестрирования и склероза не наблюдали. Интервал между операциями двухэтапного ревизионного эндопротезирования при лечении ППИ тазобедренного сустава составил 5 мес.

Пациенты повторно госпитализированы с диагностикой микробиологического и клеточного состава синовиальной жидкости сустава (количество лейкоцитов и нейтрофилов), а также оценкой гематологических маркеров воспаления (СРБ, СОЭ и лейкоциты) для контроля купирования инфекционного процесса. На основе полученных лабораторных данных принимали решение о возможности проведения второго этапа ревизионного вмешательства с установкой постоянного эндопротеза. Далее проводили контроль динамики показателей гематологического, рентгенологического, бактериологического исследования и функционального состояния оперированной конечности.

Ремиссию инфекционного процесса оценивали согласно ICM от 2013 года (*англ.*: International Consensus Meeting), функцию оперированной конечности — по шкале NHS (*англ.*: Harris Hip Score).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Первый клинический случай

Пациент П., 49 лет, поступил в клинику костно-суставной инфекции (гношной остеологии) с диагнозом: хроническая гематогенная ППИ правого тазобедренного сустава (согласно Cheng Li); хронический остеомиелит правого бедра и таза, свищевая форма; комбинированная контрактура правого тазобедренного сустава с укорочением правой нижней конечности 2 см; нестабильность тазового компонента эндопротеза (рис. 1). Сопутствующее заболевание: хроническая железодефицитная анемия легкой степени.



Рис. 1. Рентгенограммы таза в прямой проекции (а) и правого тазобедренного сустава в прямой (б) и боковой (в) проекциях с фокусом 1 м до операции

При поступлении — жалобы на наличие свища в верхней трети правого бедра с гнойным отделяемым, снижение опороспособности, укорочение правой нижней конечности и значительное ограничение объёма движений в правом тазобедренном суставе вследствие болевого синдрома.

Из анамнеза заболевания: февраль 2021 г. — тотальное эндопротезирование правого тазобедренного сустава; через 3 мес. — отек, сильная боль в правом бедре, функционирует свищ с гнойным отделяемым; консервативное лечение без эффекта.

Локальный статус: свищ в области правого бедра, сообщающийся с полостью тазобедренного сустава (абсолютный признак ППИ согласно ICM 2018); относительное укорочение правой нижней конечности составило 2 см; передвигается с помощью костылей. На момент поступления функциональное состояние правого тазобедренного сустава — 24 балла по HHS.

Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 91 г/л), повышены СОЭ (97 мм/ч) и СРБ (30 мг/л); в пунктате правого тазобедренного сустава обнаружен рост *Staphylococcus aureus* — 10^4 КОЕ/мл.

Операция проведена в 2023 г. Первый этап двухэтапного ревизионного эндопротезирования правого тазобедренного сустава: удаление эндопротеза; дебридмент; установка артикулирующего спейсера. Смоделирована чашка 50/32 из пресс-форм с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (1 г ванкомицина и 1 г цефатоксима). Имплантирован тазовый компонент спейсера 50 мм с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (2 г ванкомицина и 1 г цефатоксима). Установлена цементная ножка с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (4 г ванкомицина и 4 г цефатоксима). Интраоперационно определен дефект вертлужной впадины 2С типа по Pargosky с тотальной протрузией внутренней стенки, который заместили аллокостной крошкой. Операцию завершили установкой дренажа, послойным ушиванием раны. Рентгенограммы таза и правого тазобедренного сустава в прямой и боковой проекции с фокусом 1 м после оперативного вмешательства представлены на рис. 2.

Кровопотеря составила 500 мл, интраоперационная гемотрансфузия — 500 мл. Результаты интраоперационного микробиологического исследования — *Staphylococcus aureus* — 10^4 КОЕ/мл. С импланта высеян *Pseudomonas aeruginosa* (S) — 10^4 КОЕ/мл. Рана зажила первичным натяжением. Дренаж удален на 6 сут. после операции.

После первого этапа оперативного вмешательства в течение 6 нед. проводили курс этиотропной антибактериальной терапии. В стационаре пациент 2 нед. внутривенно получал амоксициллин + клавулановую кислоту 1,2 г 3 р/сут. и левофлоксацин 100 мг 2 р/сут. На амбулаторный этап лечения назначен левофлоксацин 500 мг 2 р/сут. и цефоперазонсульбактам 2,0 г 2 р/сут. внутримышечно на 4 нед.



Рис. 2. Рентгенограммы таза и правого тазобедренного сустава после оперативного лечения с восполнением дефектов аллокостью и установленным артикулирующим антибактериальным спейсером

Пациенту рекомендовано использование костылей при ходьбе с ограничением нагрузки на оперированную конечность до следующего этапа оперативного лечения.

Через 1 мес. проведены контрольные исследования СОЭ и СРБ и рентгенография таза и правого тазобедренного сустава (рис. 3). Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 118 г/л), СОЭ 10 мм/ч и СРБ 2 мг/л. На контрольном осмотре через 1 мес. установлено, что клинико-лабораторных признаков рецидива заболевания не наблюдается (ран и свищей нет), компоненты спейсера стабильны, функциональное состояние правого тазобедренного сустава составило 64 балла по NHS.



Рис. 3. Рентгенограммы таза и правого тазобедренного сустава через 1 мес. после операции

Спустя 5 мес. пациент поступил в клинику повторно для дообследования и проведения второго этапа оперативного лечения.

Локальный статус: свищей нет, нормотрофический рубец в области правого бедра; передвигается с помощью костылей. На момент поступления функциональное состояние правого тазобедренного сустава — 64 балла по NHS. Результаты лабораторных исследований: из ОАК Hb 130 г/л, СОЭ 20 мм/ч и СРБ 1,4 мг/л. В пунктате правого тазобедренного сустава рост возбудителя не обнаружен.

После обследования проведен второй этап оперативного лечения: ревизионное эндопротезирование правого тазобедренного сустава; удаление спейсера; дебридмент; установка бесцементного эндопротеза. Интраоперационно восполненный дефект был представлен плотной кровотокающей костной тканью бледно-желтого цвета без признаков некроза. Рентгенограмма таза после оперативного вмешательства представлена на рис. 4. Кровопотеря составила 250 мл, интраоперационная гемотрансфузия — 250 мл. Рост возбудителей на удаленном спейсере не выявлен. Рана зажила первичным натяжением. Дренаж удален на шестые сутки после операции.

После второго этапа оперативного вмешательства проводили шестинедельный курс антибактериальной терапии. В стационаре пациент 2 нед. внутривенно получал ванкомицин 1,0 г 2 р/сут. и меропенем 1,0 г 3 р/сут. На амбулаторный этап лечения назначен курс пероральных антибиотиков на 4 нед.: левофлоксацин 500 мг 2 р/сут. и доксициклин 100 мг 2 р/сут.

Пациенту рекомендовано использование костылей при ходьбе с ограничением нагрузки на оперированную конечность в течение 3 мес.



Рис. 4. Рентгенограммы таза и правого тазобедренного сустава в прямой проекции с фокусом 1 м после оперативного вмешательства

Через 6 мес. проведены исследования СОЭ и уровня СРБ и рентгенография таза и правого тазобедренного сустава (рис. 5). Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 120 г/л), СОЭ 15 мм/ч и СРБ 3 мг/л. На контрольном осмотре установлено, что клинико-лабораторные признаки рецидива заболевания отсутствуют (свищей нет, нормотрофический рубец), компоненты эндопротеза стабильны, функциональное состояние правого тазобедренного сустава — 85 баллов по HHS.



Рис. 5. Рентгенограммы правого тазобедренного сустава через 6 мес. после операции

Второй клинический случай

Пациент Ш., 64 лет, поступил в нашу клинику с диагнозом: хроническая гематогенная ППИ левого тазобедренного сустава (согласно Cheng Li); хронический остеомиелит левого бедра и таза, свищевая форма; комбинированная контрактура левого тазобедренного сустава с укорочением левой нижней конечности 2 см (рис. 6). Сопутствующие заболевания: гипертоническая болезнь 2 ст., риск 3, ХСН-0. ФК-3; атеросклероз артерий конечностей.



Рис. 6. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава с фокусом 1 м до операции

При поступлении — жалобы на наличие свища в области левого бедра с гнойным отделяемым, снижение опороспособности, укорочение левой нижней конечности и выраженный болевой синдром в левом тазобедренном суставе.

Из анамнеза заболевания: болен с 2020 г., травма — перелом шейки левого бедра; 27.02.2020 произведено тотальное эндопротезирование левого ТБС по месту жительства (Чита); в конце 2020 г. появился свищ в области левого ТБС.

Локальный статус: свищ в области левого бедра, сообщающийся с полостью тазобедренного сустава (абсолютный признак ППИ согласно ICM 2018); относительное укорочение левой нижней конечности 2 см; передвигается с помощью костылей. На момент поступления функциональное состояние левого тазобедренного сустава — 27 баллов по NHS, по шкале ВАШ боль оценивали в 5 баллов.

Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 121 г/л), повышены СОЭ (93 мм/ч) и СРБ (30 мг/л). В пунктате левого тазобедренного сустава обнаружен рост *Providencia arustigianii* 10^4 КОЕ/мл.

Операция проведена в 2023 г. Первый этап двухэтапного ревизионного эндопротезирования левого тазобедренного сустава: удаление эндопротеза; дебридмент; установка артикулирующего спейсера. Смоделирована чашка 50/32 из пресс-форм с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (1 г ванкомицина и 1 г цефатоксима). Имплантирован тазовый компонент спейсера 50 мм с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (2 г ванкомицина и 1 г цефатоксима). Установлена цементная ножка с помощью 1 пакета костного цемента с антибиотиками (5 г ванкомицина и 3 г цефатоксима). Интраоперационно определен дефект вертлужной впадины как 2С тип по Paprosky с протрузией дна, который заместили аллокостной крошкой. Операцию завершили установкой дренажа, послойным ушиванием раны. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава после оперативного вмешательства представлены на рис. 7. Кровопотеря составила 250 мл, интраоперационная гемотрансфузия — 250 мл. Результаты интраоперационного микробиологического исследования — *Providencia arustigianii* 10^6 КОЕ/мл, *Fingoldiamagna* 10^3 КОЕ/мл. Рана зажила первичным натяжением. Дренаж удален на 7 сут. после операции.

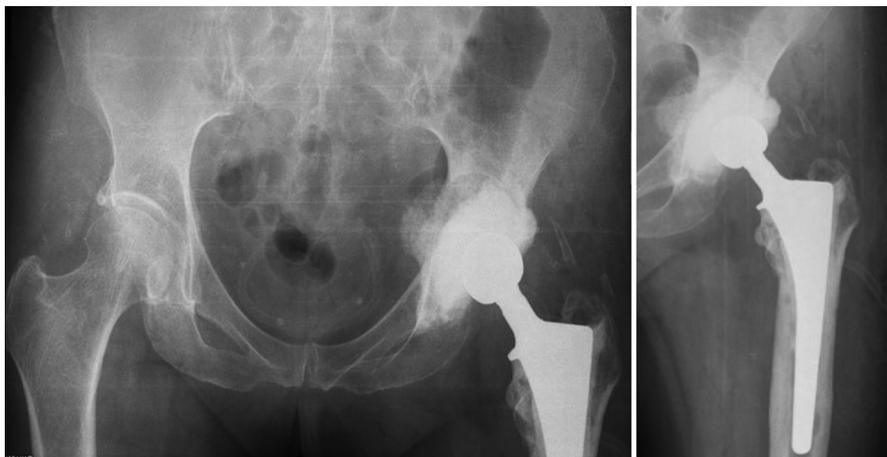


Рис. 7. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава после оперативного лечения с восполнением дефектов дна аллокостью и установленным артикулирующим антибактериальным спейсером

После первого этапа оперативного вмешательства проводили шестинедельный курс этиотропной антибактериальной терапии: в стационаре 2 нед. внутривенно ванкомицин 1,0 г 2 р/сут. и цефеперазонсульбактам 2,0 г 2 р/сут. На амбулаторный этап лечения назначен курс пероральных и внутримышечных антибиотиков на 4 нед.: амоксициллин + клавулановая кислота 1000 мг 2 р/сут. в таблетках и цефеперазонсульбактам 2,0 2 р/сут. внутримышечно.

Далее рекомендовано использование костылей при ходьбе с ограничением нагрузки на оперированную конечность до следящего этапа оперативного лечения.

Через 1 мес. — контроль анализов (СОЭ и СРБ) и повторная рентгенография таза и левого тазобедренного сустава (рис. 8). Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 118 г/л), СОЭ 20 мм/ч и СРБ 2 мг/л.

На контрольном осмотре через 1 мес. установлено, что клиничко-лабораторные признаки рецидива заболевания отсутствуют (ран и свищей нет, нормотрофический рубец); компоненты спейсера стабильны; функциональное состояние левого тазобедренного сустава — 57 баллов по NHS.



Рис. 8. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава через 1 мес. после операции

Через 4 мес. пациент поступил в клинику повторно для дообследования и проведения второго этапа оперативного лечения. Локальный статус: свищей нет; нормотрофический рубец в области левого бедра; передвигается с помощью костылей. На момент поступления функциональное состояние левого тазобедренного сустава 57 баллов по NHS. Результаты лабораторных исследований: из ОАК (Hb 130 г/л), СОЭ 30 мм/ч и СРБ 5 мг/л. В пунктате левого тазобедренного сустава рост возбудителя не обнаружен.

В 2023 г. проведен второй этап двухэтапного ревизионного эндопротезирования левого тазобедренного сустава: удаление спейсера; дебридмент; установка бесцементного эндопротеза. Интраоперационно восполненный дефект представлен плотной кровоточащей костной тканью бледно-желтого цвета без признаков некроза. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава после оперативного вмешательства приведены на рис. 9. Кровопотеря составила 300 мл, интраоперационная гемотрансфузия — 250 мл. Рост возбудителя с импланта не выявлен. Рана зажила первичным натяжением. Дренаж удален на 5 сут. после операции.



Рис. 9. Рентгенограммы таза и левого тазобедренного сустава после оперативного лечения

Проведен курс антибактериальной терапии в течение 2 нед.: внутривенно линезолид 600 г 2 р/сут. и меропенем 1,0 г р/сут. На амбулаторный этап лечения назначен курс пероральных антибиотиков на 4 нед.: амоксициллин + клавулановая кислота 1000 мг 2 р/сут. и левофлоксацин 500 мг 2 р/сут. Пациенту рекомендовано использование костылей при ходьбе с ограничением нагрузки на оперированную конечность в течение 3 мес. Через 6 мес. проведены исследования СОЭ и СРБ и рентгенография таза (рис. 10). Результаты лабораторных исследований: анемия легкой степени (Hb 102 г/л), СОЭ 22 мм/ч и СРБ 6 мг/л.

На контрольном осмотре через 6 мес. установлено, что клинико-лабораторные признаки рецидива заболевания отсутствуют (ран и свищей нет, нормотрофический рубец), компоненты эндопротеза стабильны, функциональное состояние левого тазобедренного сустава — 76 баллов по NHS.



Рис. 10. Рентгенограмма тазобедренного сустава через 6 месяцев после операции

ОБСУЖДЕНИЕ

Лечение ППИ, как правило, требует применения нескольких достаточно травматичных хирургических вмешательств, длительных курсов этиотропной антибиотикотерапии, что в совокупности негативно влияет на качество и продолжительность жизни пациента [13, 14]. В отечественной литературе ограниченно представлены клинические примеры лечения ППИ [15]. При рецидивирующей форме ППИ, устойчивой микрофлоре, значительных костных дефектах хирурги нередко вынуждены использовать радикальные операции, такие как резекционная артропластика и экзартикуляция конечности [16]. В представленных клинических наблюдениях нам удалось избежать возможных осложнений, в том числе повреждения магистральных сосудов, которые, по литературным данным, встречаются в 0,25 % случаев [17].

Существует множество различных видов спейсеров для лечения перипротезной инфекции: блоковидные и артикулирующие, преформированные и изготовленные по индивидуальному заказу, а также изготовленные в операционной [18, 19]. Ревизионное эндопротезирование часто усложняется из-за снижения эластичности тканей и образования плотных рубцов. Значительные кавитарные дефекты дна и стенок вертлужной впадины, сформировавшиеся при выраженном инфекционном процессе, а также остеопороз, влияют на качество остеоинтеграции тазового компонента при установке постоянного импланта на втором этапе оперативного лечения. Главными преимуществами артикулирующего спейсера после радикальной санации являются компенсация укорочения и восстановление опороспособности, а также заполнение имеющейся раневой полости и препятствие усадке тканей.

В наших клинических примерах на санирующем этапе восполнены кавитарные дефекты и восстановлена функция тазобедренного сустава, подобные клинические данные не представлены в литературе. По литературным данным, отрицательный клинический результат часто сопровождается асептическим расшатыванием, рецидивом инфекции, а также вывихами и возможными перипротезными переломами [20, 21]. Реконструктивное восполнение значительных дефектов может быть сложной задачей для хирургов. При выполнении неоднократных ревизионных оперативных вмешательств на одном и том же суставе количество и качество костной ткани значительно страдает, при значительных дефектах дна используются реконструктивные импланты, что увеличивает стоимость лечения пациентов. Описанные выше примеры демонстрируют выполнение второго этапа ревизионного вмешательства без использования антипротрузионных колец, аугментов и колонн с пористым танталом, что технологически упрощает операцию.

В целом, лечение ППИ — сложная клиническая задача, для решения которой требуется всестороннее наблюдение различных узкопрофильных специалистов (ортопеда, фармаколога, микробиолога и других) и разработка персонализированного комплекса лечебно-диагностических мероприятий с оптимальным подбором этиотропной антибиотикотерапии и технических средств реализации ревизионных вмешательств (в том числе имплантатов) в каждом конкретном случае [22]. Все вышеперечисленные факторы влияют на продолжительность сроков стационарного лечения пациентов с перипротезной инфекцией и величину финансовых затрат [23, 24].

В представленных клинических примерах дефекты костей вертлужной впадины восполнены костнопластическим материалом. В результате лечения в первом клиническом случае удалось восстановить функцию сустава с 24 до 85 баллов, во втором — с 27 до 76 баллов по шкале HHS, что соответствует литературным данным при применении тактики двухэтапного ревизионного эндопротезирования [25, 26].

Описанная серия клинических наблюдений была небольшой, но с увеличением числа пациентов с выраженными ацетабулярными дефектами методики по их восполнению будут набирать популярность.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Методика восполнения дефектов при лечении ППИ в продемонстрированных клинических наблюдениях оказалась эффективной и экономически выгодной, позволила купировать инфекцию и улучшить функциональные результаты.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Kurtz S, Ong K, Lau E, et al. Projections of primary and revision hip and knee arthroplasty in the United States from 2005 to 2030. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(4):780-785. doi: 10.2106/JBJS.F.00222
2. Corvec S, Portillo ME, Pasticci BM, et al. Epidemiology and new developments in the diagnosis of prosthetic joint infection. *Int J Artif Organs.* 2012;35(10):923-934. doi: 10.5301/ijao.5000168
3. Мурылев В.Ю., Куковенко Г.А., Елизаров П.М. и др. Алгоритм первого этапа лечения поздней глубокой перипротезной инфекции тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России.* 2018;24(4):95-104. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-95-104

4. Charette RS, Melnic CM. Two-Stage Revision Arthroplasty for the Treatment of Prosthetic Joint Infection. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2018;11(3):332-340. doi: 10.1007/s12178-018-9495-y
5. Gomez MM, Tan TL, Manrique J, et al. The Fate of Spacers in the Treatment of Periprosthetic Joint Infection. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(18):1495-502. doi: 10.2106/JBJS.N.00958
6. Shieh SJ, Jou I-. Management of intractable hip infection after resectional arthroplasty using a vastus lateralis muscle flap and secondary total hip arthroplasty. *Plast Reconstr Surg*. 2007;120(1):202-207. doi: 10.1097/01.prs.0000264067.68714.a6
7. Kliushin NM, Ababkov YV, Ermakov AM, Malkova TA. Modified Girdlestone arthroplasty and hip arthrodesis using the Ilizarov external fixator as a salvage method in the management of severely infected total hip replacement. *Indian J Orthop*. 2016;50(1):16-24. doi: 10.4103/0019-5413.173513
8. Winter E, Piert M, Volkmann R, et al. Allogeneic cancellous bone graft and a Burch-Schneider ring for acetabular reconstruction in revision hip arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2001;83(6):862-867. doi: 10.2106/00004623-200106000-00007
9. Berasi CC 4th, Berend KR, Adams JB, et al. Are custom triflange acetabular components effective for reconstruction of catastrophic bone loss? *Clin Orthop Relat Res*. 2015;473(2):528-535. doi: 10.1007/s11999-014-3969-z
10. Bori G, Navarro G, Morata L, et al. Preliminary Results After Changing From Two-Stage to One-Stage Revision Arthroplasty Protocol Using Cementless Arthroplasty for Chronic Infected Hip Replacements. *J Arthroplasty*. 2018;33(2):527-532. doi: 10.1016/j.arth.2017.08.033
11. Choi HR, Anderson D, Foster S, et al. Acetabular cup positioning in revision total hip arthroplasty with Paprosky type III acetabular defects: Martell radiographic analysis. *Int Orthop*. 2013;37(10):1905-1910. doi: 10.1007/s00264-013-2008-0
12. 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
13. Ермаков А.М., Ключин Н.М., Абабков Ю.В. и др. Оценка эффективности двухэтапного хирургического лечения больных с перипротезной инфекцией коленного и тазобедренного суставов. *Гений ортопедии*. 2018;24(3):321-326. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-321-326
14. Ekman E, Palomäki A, Laaksonen I, et al. Early postoperative mortality similar between cemented and uncemented hip arthroplasty: a register study based on Finnish national data. *Acta Orthop*. 2019;90(1):6-10. doi: 10.1080/17453674.2018.1558500
15. Касимова А.Р., Гордина Е.М., Торопов С.С., Божкова С.А. Инфекция, вызванная *Stenotrophomonas maltophilia*, у пациентов травматолого-ортопедического профиля: клинический опыт и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2023;29(1):84-94. doi: 10.17816/2311-2905-2027
16. Ливенцов В.Н., Божкова С.А., Тихилов Р.М., Артюх В.А. Исходы ревизионного эндопротезирования тазобедренного сустава после резекционной артропластики с несвободной пересадкой мышечного лоскута у пациентов с трудноизлечимой перипротезной инфекцией. *Травматология и ортопедия России*. 2022;28(3):5-15. doi: 10.17816/2311-2905-1808
17. Smith DE, McGraw RW, Taylor DC, Masri BA. Arterial complications and total knee arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. 2001;9(4):253-257. doi: 10.5435/00124635-200107000-00005
18. Leunig M, Chosa E, Speck M, Ganz R. A cement spacer for two-stage revision of infected implants of the hip joint. *Int Orthop*. 1998;22(4):209-214. doi: 10.1007/s002640050244
19. Hsieh PH, Shih CH, Chang YH, et al. Treatment of deep infection of the hip associated with massive bone loss: two-stage revision with an antibiotic-loaded interim cement prosthesis followed by reconstruction with allograft. *J Bone Joint Surg Br*. 2005;87(6):770-775. doi: 10.1302/0301-620X.87B6.15411
20. Noordijn S, Masri BA, Duncan CP, Garbuz DS. Acetabular bone loss in revision total hip arthroplasty: principles and techniques. *Instr Course Lect*. 2010;59:27-36.
21. Tsai Y, Chang CH, Lin YC, et al. Different microbiological profiles between hip and knee prosthetic joint infections. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2019;27(2):2309499019847768. doi: 10.1177/2309499019847768
22. Яковелли С., Парвизи Д. Кто должен лечить перипротезную инфекцию: необходимость мультидисциплинарного подхода. *Травматология и ортопедия России*. 2019;25(4):28-32. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-4-28-32
23. Kurtz SM, Lau EC, Son MS, et al. Are We Winning or Losing the Battle With Periprosthetic Joint Infection: Trends in Periprosthetic Joint Infection and Mortality Risk for the Medicare Population. *J Arthroplasty*. 2018;33(10):3238-3245. doi: 10.1016/j.arth.2018.05.042
24. Божкова С.А., Касимова А.Р., Тихилов Р.М. и др. Неблагоприятные тенденции в этиологии ортопедической инфекции: результаты 6-летнего мониторинга структуры и резистентности ведущих возбудителей. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(4):20-31. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-20-31
25. Oussedik SI, Dodd MB, Haddad FS. Outcomes of revision total hip replacement for infection after grading according to a standard protocol. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(9):1222-1226. doi: 10.1302/0301-620X.92B9.23663
26. Рожков Н.И., Ермаков А.М., Бурцев А.В. и др. Анализ экономической и клинической эффективности одной и двухэтапных ревизий при лечении перипротезной инфекции тазобедренного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2022;28(6):842-851. doi: 10.18019/1028-4427-2022-28-6-842-851

Статья поступила 06.02.2024; одобрена после рецензирования 11.04.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 06.02.2024; approved after reviewing 11.04.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Никита Игоревич Рожков — аспирант, врач травматолог-ортопед, digham@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1848-9839>;

Артем Михайлович Ермаков — доктор медицинских наук, руководитель клиники, ema_cab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5420-4637>;

Александр Сергеевич Тряпичников — кандидат медицинских наук, научный сотрудник, заведующий отделением, pich86@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7305-506X>;

Наталья Владимировна Сазонова — доктор медицинских наук, заведующая отделением, nv.sazonova@yandex.ru.

Information about the authors:

Nikita I. Rozhkov — post-graduate student, orthopaedic surgeon, digham@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1848-9839>;

Artem M. Ermakov — Doctor of Medical Sciences, Head of the Clinic, ema_cab@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5420-4637>;

Aleksandr S. Triapichnikov — Candidate of Medical Sciences, Researcher, Head of Department, pich86@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7305-506X>;

Natalia V. Sazonova — Doctor of Medical Sciences, Head of Department, nv.sazonova@yandex.ru.

Вклад авторов:

Рожков Н.И. — написание текста статьи, подбор клинических случаев, обработка полученных данных.

Ермаков А.М. — дизайн исследования, написание текста статьи, коррекция и окончательная редакция.

Тряпичников А.С. — написание текста статьи, коррекция и окончательная редакция.

Сазонова Н.В. — окончательная редакция, обзор публикаций по теме.

Обзорная статья

УДК [616.718.5/6-001.5]-089.227.844

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-717-727>

Временный остеосинтез костей голени при лечении пострадавших с множественными и сочетанными травмами

И.Ю. Ходжанов¹, Л.А. Амонов^{2✉}, Ф.М. Махсудов²

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

² Навоийский филиал республиканского научного центра экстренной медицинской помощи, Навои, Узбекистан

Автор, ответственный за переписку: Лазиз Амонович Амонов, lazizamonov0728@gmail.com

Аннотация

Введение. В настоящее время частота травм по всему миру остается высокой и составляет при глобальной оценке около 6763 случаев на 100000 населения (95 % доверительный интервал 6412–7147). Травмы конечностей относятся к наиболее частым повреждениям отдельных анатомических областей в структуре множественной или сочетанной травмы и наблюдаются, по разным данным, у 40–85,2 % пациентов. Оценка эффективности разных вариантов остеосинтеза и разработка алгоритмов лечения пациентов с переломами голени и множественной (сочетанной) травмой является крайне актуальной для современной травматологии и ортопедии.

Цель работы — определить по данным литературы степень применения технологии временного остеосинтеза костей голени при лечении пострадавших с множественными и сочетанными травмами.

Материалы и методы. Поиск источников осуществлен за 2008–2023 гг. в базе данных PubMed и электронных библиотеках eLibrary.ru, КиберЛенинка по поисковым словам и словосочетаниям: травмы голени, остеосинтез костей нижних конечностей, множественные травмы, сочетанные травмы; leg injuries, osteosynthesis of lower extremity bones, multiple injuries, combined injuries, temporary osteosynthesis of the shin bones.

Результаты и обсуждение. В настоящее время наиболее распространенным является дифференцированный подход к лечению пациентов с переломами при множественных и сочетанных травмах, когда выбор методики остеосинтеза основывается не только на тяжести травмы, но и тяжести состояния пациента. В то время как у стабильных пациентов преимущественно выполняют окончательный внутренний остеосинтез, у пограничных и тяжелых пациентов применяют тактику «контроля повреждения», — первичный временный внешний остеосинтез с последующим этапным хирургическим вмешательством. В данный момент среди профессионального сообщества нет общепризнанной тактики применения ранней мобилизации переломов длинных трубчатых костей как элемента противошокового мероприятия у пациента с политравмой.

Заключение. Отдельные вопросы использования остеосинтеза при переломах костей голени у некоторых категорий пациентов, включая оптимальное время перехода к окончательному внутреннему остеосинтезу, возможность использования внеочагового остеосинтеза в качестве метода окончательной фиксации, а также оптимальная конфигурация и компоновка используемых аппаратов остаются открытыми. Важным ограничением является недостаток качественных рандомизированных контролируемых исследований в данной области.

Ключевые слова: остеосинтез костей, множественные травмы, сочетанные травмы, голень

Для цитирования: Ходжанов И.Ю., Амонов Л.А., Махсудов Ф.М. Временный остеосинтез костей голени при лечении множественных и сочетанных травм. *Гений ортопедии*. 2024;29(5):717-727. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-717-727. EDN: WPQCNU.



Temporary osteosynthesis of the tibial bones in repair of multiple and combined injuries

I.Yu. Khodjanov¹, L.A. Amonov²✉, F.M. Makhsudov²

1 Republican specialized scientific and practical medical center of traumatology and orthopedics, Tashkent, Uzbekistan

2 Navoi branch of republican research center of emergency medicine, Navoi, Uzbekistan

Corresponding author: Laziz Amonovich Amonov, lazizamonov0728@gmail.com

Abstract

Background The incidence of injury worldwide remains high, with a global estimate of 6763 cases per 100,000 population (95 % confidence interval 6412–7147). Trauma to the limbs is a common injury to an individual anatomical area during multiple or combined trauma that accounts for 40 % to 85.2 % of cases. Assessment of the effectiveness of different fixation options and development of treatment algorithms are essential for patients with tibial fractures and multiple (combined) injuries.

The **objective** was to determine how often temporary tibia fixation is applied for patients with multiple and combined injuries.

Material and methods The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org), CyberLeninka between 2008 and 2023 using search words and phrases: tibial injuries, osteosynthesis of lower limbs, multiple injuries, combined injuries, temporary osteosynthesis of the tibial bones.

Results and discussion A differentiated approach to the repair of bone fractures resulting from multiple and combined injuries is mostly common with the choice of fixation technique depending on the severity of injury and the severity of the patient's condition. The definitive internal bone fixation is normally used for stable patients, "damage control" strategy is secured for borderline and severe cases using primary temporary external fixation followed by staged surgical intervention. There is no generally accepted strategy for the use of early mobilization of long bone fractures as a component of anti-shock measures in a polytrauma patient.

Conclusion Certain issues remain unresolved, including the use of osteosynthesis for tibial fractures in some cohorts of patients, the optimal time of transition to definitive internal fixation, the possibility of using extrafocal osteosynthesis as a definitive treatment, the optimal configuration and assemblies to be employed. The lack of high-quality randomized controlled trials in this field is an important limitation.

Keywords: bone fixation, multiple injuries, combined injuries, tibia

For citation: Khodjanov IYu, Amonov LA, Makhsudov FM. Temporary osteosynthesis of the tibial bones in repair of multiple and combined injuries. *Genij Ortopedii*. 2024;29(5):717-727. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-717-727

ВВЕДЕНИЕ

В настоящее время частота травм по всему миру остается высокой и составляет около 6 763 случаев на 100 тыс. населения (доверительный интервал — 6412–7147). В странах Европы она колеблется в зависимости от региона в диапазоне 9600–16100 случаев на 100 тыс. населения, а в Центральной Азии составляет порядка 10300 случаев на 100 тыс. населения [1]. Травматизм является одной из основных причин инвалидизации у подростков и людей молодого и среднего возраста (общий диапазон 10–49 лет). По результатам исследования глобального бремени заболеваний (*англ.*: Global Burden of Disease, GBD) автомобильные травмы занимают первое место как причина инвалидизации при оценке по показателю лет жизни, скорректированных на инвалидность (*англ.*: disability-adjusted life years, DALY) [2]. При этом частота большинства видов травм выше у пациентов мужского пола [1].

Несмотря на наблюдаемую в последние десятилетия тенденцию к снижению смертности, обусловленной травматизмом, этот показатель все еще остается крайне высоким и оценивается по данным 2017 г. на уровне 738 случаев на 100 тыс. населения [1], при этом на травмы может приходиться до 9 % всей общей смертности [3]. Учитывая эти данные, актуальность проблемы травматизма для современной медицины не вызывает сомнений.

Травмы конечностей относятся к наиболее частым повреждениям отдельных анатомических областей в структуре множественной или сочетанной травмы и наблюдаются, по данным разных авторов, у 40–85,2 % пациентов [4–6]. При этом зачастую переломы конечностей являются доминирующим по тяжести повреждением при тяжелой сочетанной травме и политравме [7]. В свою очередь, среди повреждений конечностей, наблюдаемых у пациентов с множественной и сочетанной травмой, наиболее частыми являются переломы длинных трубчатых костей [4, 5]. Переломы костей голени являются одним из наиболее распространенных повреждений конечностей у пациентов с тяжелыми множественными травмами: так, переломы большеберцовой кости наблюдаются у 12,6 % пациентов, малоберцовой кости — у 5,7 % [6]. Среди пациентов с тяжелыми травмами открытые переломы большеберцовой кости зарегистрированы у 59,5 % пациентов, закрытые — у 40,5 % [8]. Кроме того, переломы костей голени являлись наиболее частыми у пациентов с автодорожными травмами (43% от всех повреждений конечностей) [5]. Оценка эффективности разных вариантов остеосинтеза и разработка алгоритмов лечения пациентов с переломами голени и множественной (сочетанной) травмой является крайне актуальной для современной травматологии и ортопедии.

Цель работы — определить по данным литературы степень применения технологии временного остеосинтеза костей голени при лечении пострадавших с множественными и сочетанными травмами.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск источников осуществлен за период с 2008 по 2023 год в базе данных PubMed и научных электронных библиотеках eLibrary.ru, КиберЛенинка по поисковым словам и словосочетаниям: травмы голени, остеосинтез костей нижних конечностей, множественные травмы, сочетанные травмы, leg injuries, osteosynthesis of lower extremity bones, multiple injuries, combined injuries, temporary osteosynthesis of the shin bones. Во внимание приняты обзоры литературы, оригинальные статьи, клинические исследования. Найдено 700 источников, включающих выбранные ключевые слова. Для обзора отобрано 52 источника. Критерии отбора: соответствие тематике планируемого обзора, рассмотрение наиболее актуальных подходов в тактике и лечении указанной патологии. В обзор в основном включены статьи европейских авторов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Временный остеосинтез и его использование в современной травматологии

Под остеосинтезом в современной травматологии понимают хирургическое сопоставление и соединение костных отломков до полного их сращения [9]. По способу фиксации костных отломков выделяют следующие варианты остеосинтеза [9, 10]:

Внутренний (погружной) остеосинтез:

- экстрamedулярный (накостный) остеосинтез с использованием пластин, реже — серкляжей;
- интрамедулярный (внутрикостный) остеосинтез с помощью винтов или гвоздей:
 - ♦ интрамедулярный остеосинтез с рассверливанием;
 - ♦ интрамедулярный остеосинтез с блокированием;
 - ♦ остеосинтез с использованием имплантатов из никелида титана, обладающих памятью формы.

Внеочаговый остеосинтез:

- чрескостный остеосинтез спицевыми аппаратами внешней фиксации (АВФ) (например, аппаратом Илизарова);
- остеосинтез стержневыми АВФ;
- остеосинтез спице-стержневыми (гибридными) аппаратами.

Гибридный остеосинтез с применением погружных имплантатов и АВФ

Погружной остеосинтез можно сочетать с открытой репозицией костных отломков или проводить в составе малоинвазивного вмешательства, когда репозицию осуществляют закрытым способом, а установку имплантата для остеосинтеза проводят через небольшие отверстия [9].

По временным срокам выделяют остеосинтез ранний (в первые 48–72 ч. после получения травмы) и отсроченный (7–10 сут.) [10], иногда также выделяют поздний отсроченный остеосинтез (более 3 нед.). Кроме того, остеосинтез может быть первичным или состоять из двух этапов (конверсионный остеосинтез): первичного временного и окончательного. Конверсионный остеосинтез часто используют при множественной или сочетанной травме [11, 12].

Для временного остеосинтеза при этапном хирургическом лечении пациентов с переломами используют методики внеочагового остеосинтеза, для которого применяют стержневые, спицевые или гибридные АВФ. По функциональному принципу их делят на компрессионные, дистракционные, компрессионно-дистракционные и шарнирно-дистракционные. Разработано множество конструкций АВФ, часто называемых по фамилии автора [13]. Одним из наиболее известных и широко применяемых среди них в настоящее время является компрессионно-дистракционный аппарат Илизарова, позволяющий осуществлять как сопоставление и фиксацию костных отломков, так и проводить их дистракцию и компрессию, что способствует регенерации в области костного дефекта. Помимо использования в качестве метода остеосинтеза свежих переломов, компрессионно-дистракционные аппараты применяют при лечении неправильно сращенных переломов и ложных суставов, а также для артродезирования и дистракции конечностей при их деформации [9, 14]. Следует отметить, что в настоящее время в литературе название метода Илизарова используется не только для оригинальной конструкции аппарата, но и для модифицированных вариантов, включая как спице-стержневые, так и чисто стержневые конструкции с циркулярными опорами, поскольку в их основе лежит предложенный Г.А. Илизаровым принцип [15].

Преимуществом использования АВФ является возможность быстрой фиксации костных отломков при переломах практически любой анатомической локализации, малая травматичность и, как следствие, малая кровопотеря, позволяющие сочетать временный остеосинтез с иными оперативными вмешательствами, что особенно важно у пациентов с сочетанной травмой и политравмой. Кроме того, возможно одновременное проведение внеочагового остеосинтеза несколькими травматологическими бригадами при наличии переломов разной анатомической локализации [10, 16]. Также использование временного внеочагового остеосинтеза является оправданным с точки зрения профилактики глубоких гнойных осложнений при открытых переломах, хотя данные относительно различий в частоте инфекционных осложнений при этапном лечении пациентов с переломами по сравнению с первичным интрамедуллярным остеосинтезом остаются противоречивыми [17, 18]. Среди преимуществ методик внеочагового остеосинтеза следует отметить доступность оборудования для его проведения в большинстве травматологических клиник и отделений.

С другой стороны, к недостаткам временного внеочагового остеосинтеза можно отнести сложность оптимальной репозиции при закрытых переломах, а также возможную нестабильность и более высокую частоту неправильного сращения [19]. Кроме того, несмотря на неоспоримые преимущества стержневых АВФ в качестве методик временного остеосинтеза, данные конструкции хуже подходят для длительного применения, поскольку не обеспечивают достаточной фиксации для мобилизации пациента и его реабилитации. Также важным для успешной консолидации переломов при применении АВФ является постоянный контроль конструкции со стороны лечащего врача-травматолога. Помимо этого, следует отметить необходимость медицинского ухода за подобными конструкциями и повышение риска инфицирования мягких тканей при длительном оставлении аппарата [16, 17, 20].

Использование консервативных методов, например, гипсовой иммобилизации и скелетного вытяжения, ограничивается при переломах нижних конечностей необходимостью длительной иммобилизации пациента и, как следствие, повышением риска развития связанных с ней осложнений, что особенно актуально для тяжелых пациентов с множественными и сочетанными повреждениями. Кроме того, зачастую консервативные методы не обеспечивают достаточной фиксации костных отломков и их использование сопряжено с более высоким риском нестабильности и неправильного сращения переломов [21]. Ранее консервативные методы рекомендовали использовать у тяжелых пациентов (тяжесть травм ISS более 40 баллов и нестабильная гемодинамика), считая наличие подобных травм

относительным противопоказанием к АВФ [10]. Однако в последние годы публикуются результаты исследований, в которых внешний остеосинтез достаточно успешно использован у пациентов с тяжелой травмой (ISS > 40 баллов) [22]. Применение АВФ при переломах у большинства пациентов с тяжелой травмой и нестабильной гемодинамикой также включено в проект российских клинических рекомендаций ведения пациентов с сочетанной травмой и политравмой, в то время как консервативное лечение рекомендуется применять только у крайне нестабильных пациентов.

Таким образом, описанные преимущества временного остеосинтеза с использованием АВФ объясняют широкое применение данного метода у пациентов в тяжелом и крайне тяжелом состоянии, особенно с сочетанной травмой и политравмой. Использование временного остеосинтеза хорошо соответствует принципам хирургической тактики «контроля повреждений» (*англ.*: Damage Control), подробнее обсуждаемой ниже, которая в настоящее время является общепринятой при лечении пациентов с множественными повреждениями или политравмой [23, 24]. Кроме того, в последние годы разработаны новые системы для проведения наружного остеосинтеза, обеспечивающие более надежную фиксацию [25], что потенциально может снизить частоту неправильных сращений при использовании временного остеосинтеза.

Переломы голени являются достаточно частым показанием к проведению разных вариантов остеосинтеза. В зависимости от локализации переломы голени делят на переломы диафиза большеберцовой кости (изолированные или в сочетании с переломами малоберцовой кости), переломы проксимального эпифиза (тибиального плато, мыщелков большеберцовой кости) и переломы дистального эпифиза (включая переломы пилона). Кроме того, к переломам голени иногда относят и переломы надколенника [12]. Согласно классификации Ассоциации остеосинтеза / Ортопедической ассоциации травмы (АО/ОТА) от 2018 г., среди переломов костей голени можно выделить следующие группы [12]:

1. Переломы большеберцовой кости:

- *Переломы проксимального конечного сегмента (41):*
 - 41А — околосуставные (А1 — отрыв, А2 — метафизарный простой, А3 — метафизарный клиновидный или многооскольчатый);
 - 41В — неполные внутрисуставные (В1 — раскалывание, В2 — вдавливание, В3 — сочетание раскалывания и вдавливания);
 - 41С — полные внутрисуставные (С1 — суставной простой, метафизарный простой, С2 — суставной простой, метафизарный клиновидный или оскольчатый, С3 — метафизарный оскольчатый или многооскольчатый);
- *Переломы диафизарного сегмента (42):*
 - 42А — простые (А1 — спиральные, А2 — косые, А3 — поперечные);
 - 42В — клиновидные (В2 — интактный клин, В3 — оскольчатый клин);
 - 42С — сложный (С2 — интактный сегмент, С3 — фрагментированный сегмент);
- *Переломы дистального конечного сегмента (43):* классификация подтипов А, В и С аналогична таковой для переломов проксимального конечного сегмента.

2. Переломы малоберцовой кости (4F):

- *Переломы проксимального конечного сегмента (4F1):*
 - 4F1А — простой;
 - 4F1В — оскольчатый;
- *Переломы диафизарного сегмента (4F2):*
 - 4F2А — простой;
 - 4F2В — клиновидный или оскольчатый;
- *Переломы дистального конечного сегмента (4F3):* подтипы А и В аналогичны таковым для диафизарного сегмента.

3. Переломы лодыжек (44):

- *Подсиндесмозные переломы малоберцовой кости (44А):*
 - 44А1 — изолированные фибулярные;
 - 44А2 — с переломом медиальной лодыжки;
 - 44А3 — с заднемедиальным переломом;

- *Чрессиндесмозные переломы малоберцовой кости (44B):*
 - 44B1 — простые фибулярные;
 - 44B2 — с медиальным повреждением;
 - 44B3 — с медиальным повреждением и переломом заднелатерального края (фрагмент Фолькмана)
- *Надсиндесмозные переломы малоберцовой кости (44C):*
 - 44C1 — простой диафизарный фибулярный;
 - 44C2 — клиновидный или оскольчатый диафизарный фибулярный;
 - 44C3 — проксимальное повреждение малоберцовой кости.

Согласно современным представлениям, у пациентов с множественными и сочетанными травмами фиксация переломов должна быть осуществлена в первые сутки после травмы. Тактику – первичный внутривенный остеосинтез или этапные вмешательства (временный внешний остеосинтез и последующее отсроченное окончательное вмешательство), нужно выбирать индивидуально, при этом следует избегать как необоснованного отказа от раннего окончательного остеосинтеза у стабильных пациентов, так и длительных хирургических вмешательств у нестабильных и пограничных пациентов. Кроме того, важной является динамическая оценка клинических и лабораторных показателей для определения времени проведения хирургического вмешательства [26, 27]. Однако следует отметить недостаток исследований в отношении эффективности описанных подходов у пациентов с отдельными локализациями переломов [28].

Использование временного остеосинтеза при переломах голени, множественной и сочетанной травме

Консервативные методики фиксации переломов, в частности, гипсовая иммобилизация, являются хорошим методом лечения низкоэнергетических закрытых переломов костей голени [29], однако сопряжены с высоким риском осложнений у пациентов с множественной и сочетанной травмой, в частности, развитием гипостатической пневмонии, тромбозом боковых отделов, пролежней. Кроме того, длительное использование консервативных методов приводит к высокому риску развития мышечных атрофий и контрактур суставов, а недостаточное кровоснабжение в условиях иммобилизации приводит к повышению риска несращения переломов, который в целом выше у пациентов с политравмой [30]. С другой стороны, использование погружного остеосинтеза у пациентов с множественной и сочетанной травмой также ограничено тяжестью состояния пациента и риском «вторичного удара» при длительных хирургических вмешательствах. В связи с данными ограничениями наружный остеосинтез с использованием АВФ находит широкое применение у данной категории пациентов [16, 31, 27].

Удобство использования методик остеосинтеза с помощью АВФ при переломах костей голени обусловлено ее анатомическими особенностями, в частности, поверхностным расположением и отсутствием мышечного массива на 1/3 поверхности большеберцовой кости. Кроме того, с учетом относительно плохого развития мягких тканей, высокого риска открытых переломов из-за анатомической локализации костей голени, при переломах данной локализации внеочаговый остеосинтез может иметь дополнительные преимущества по сравнению с погружными методиками. Малая толщина мышц обуславливает возможность успешного использования как стержневых, так и традиционных спицевых конструкций [21].

С другой стороны, в настоящее время отмечается недостаток данных сравнения эффективности использования АВФ с внутренним остеосинтезом, в особенности, в отношении внешней фиксации в качестве окончательного остеосинтеза. Кроме того, во многие исследования включены как пациенты с множественными и сочетанными травмами, так и пациенты с изолированными переломами, что затрудняет интерпретацию результатов.

Данные о преимуществах АВФ или внутреннего остеосинтеза в отношении функциональных исходов и риска осложнений остаются противоречивыми. Например, в ретроспективном описательном исследовании показано меньшее общее количество осложнений при использовании чрескостного остеосинтеза у пациентов с переломами голени как по сравнению с консервативным лечением, так и с методиками накостного и интрамедуллярного остеосинтеза [32]. К основным осложнениям при использовании чрескостного остеосинтеза относились смещение костных отломков и развитие остеомиелита; при накостном остеосинтезе — деформации на уровне консолидированного перелома, смещение костных отломков и контрактуры голеностопного сустава; при внутрикостном — смещение отломков и вялая консолидация. У пациентов, которым проводили консервативное лечение, чаще всего наблюдали смещение костных отломков, деформации на уровне консолидированного перелома и контрактуры коленного сустава [32]. Хорошие исходы при использовании внеочагового остеосинтеза у пациентов со сложными переломами большеберцовой кости показаны и в другом исследовании, где основными осложнениями были локальное воспаление и нарушение целостности спиц [33].

Похожие результаты получены в исследовании применения АВФ с циркулярными опорами, включавшем пациентов с открытыми переломами большеберцовой кости с тяжелым повреждением мягких тканей (ст. III по Gustilo). Достаточно хорошие функциональные исходы получены и при применении аппарата Илизарова у пациентов с переломами проксимальных отделов большеберцовой кости [34].

А.А. Артемьев и соавт. показали, что при использовании спице-стержневых аппаратов у пациентов с открытыми переломами диафиза большеберцовой кости (I–II ст. по Gustilo) наиболее частыми осложнениями являются воспаление в области выхода спиц (42,1 %) и замедленное сращение (1,8 %), причем в данное исследование включены как пациенты с изолированными (75,4 %), так и с множественными и сочетанными переломами. Авторы использовали методику перехода от временного стержневого остеосинтеза к окончательному спице-стержневому без предварительного демонтажа стержневого аппарата, что позволило сократить длительность оперативных вмешательств. При этом подчеркнуто, что использование стержневых аппаратов в качестве временной фиксации при коротких сроках транспортировки избыточно и более рациональной может быть тактика временной транспортной иммобилизации с последующим первичным остеосинтезом аппаратом Илизарова [15].

Несколько более высокая частота осложнений показана в более раннем исследовании остеосинтеза аппаратом Илизарова при закрытых диафизарных переломах большеберцовой кости: 59 % пациентов отмечали сложности с использованием аппарата, у 6 % отмечали инфицирование области спиц, у 5 % — неправильное сращение перелома. С другой стороны, авторы регистрируют более низкую частоту развития болевого синдрома в коленном суставе при использовании аппарата Илизарова [34]. В ряде исследований и метаанализов показана более высокая частота инфекционных осложнений при использовании остеосинтеза АВФ по сравнению с интрамедуллярным остеосинтезом у пациентов с изолированными открытыми переломами диафиза большеберцовой кости, а также пациентов с политравмой [35, 36, 37]. Кроме того, в метаанализе описана более высокая частота проблем, связанных со сращением переломов при использовании АВФ, по сравнению с интрамедуллярным остеосинтезом [36].

Еще в одном проведенном недавно рандомизированном исследовании ($n = 254$) сравнивали исходы у пациентов с тяжелыми переломами диафиза большеберцовой кости при использовании внешней фиксации кольцевыми аппаратами и внутренней фиксации. У пациентов в группе внешней фиксации статистически значимо чаще встречались такие осложнения, как нарушение сопоставления отломков или отторжение конструкции, в то время как частота остальных осложнений (глубокие инфекции, вероятность ампутации, несращения или неправильного сращения, проблемы с мягкими тканями), как и время заживления были сопоставимы [38].

С другой стороны, в метаанализе J. Liu et al. у пациентов с открытыми переломами костей голени при использовании внешней фиксации показана статистически значимо более высокая частота поверхностных инфекций и неправильного сращения по сравнению с интрамедуллярным остеосинтезом. Напротив, при использовании интрамедуллярного остеосинтеза статистически значимо чаще регистрировали отторжение конструкции. Для глубоких инфекций, сроков сращения и несращения статистически значимых различий не обнаружено [39]. Похожие результаты представлены в метаанализе, сравнившем исходы ORIF и внешней фиксации у пациентов с открытыми переломами пилона: в группе внешней фиксации статистически значимо чаще регистрировали поверхностные инфекции, несращение, остеоартрит и необходимость костной пластики, в то время как частота глубоких инфекционных осложнений и функциональные исходы не отличались [40].

Однако переносить результаты исследований, включавших пациентов с изолированными переломами, на пациентов с множественными и сочетанными травмами следует с осторожностью, поскольку сопутствующие повреждения оказывают влияние на заживление переломов [41]. В связи с этим, исходы разных методов фиксации могут отличаться у пациентов с изолированными и множественными (сочетанными) повреждениями. Так, А.В. Бондаренко с соавт. по результатам ретроспективного анализа сделали вывод, что наименьшее число осложнений у пациентов с переломами голени наблюдали при использовании в качестве второго этапа лечения переломов погружного остеосинтеза (ORIF или интрамедуллярного остеосинтеза), однако у пациентов с тяжелыми открытыми переломами целесообразно использование АВФ [42]. У пациентов с менее тяжелыми травмами в стабильном состоянии, напротив, использование внеочагового остеосинтеза в качестве временной фиксации нецелесообразно [43].

Важными в контексте выбора метода остеосинтеза являются результаты ретроспективного исследования, проведенного В. Gasser et al. и включавшего 210 пациентов с переломами диафиза большеберцовой или бедренной костей (суммарно 244 перелома) в составе множественной травмы (ISS 16 и более баллов) или при тяжелом повреждении мягких тканей (открытые переломы II ст. и выше по классификации Gustilo). Авторы сравнили исходы при использовании трех тактик лечения переломов: ЕТС (первичный интрамедуллярный остеосинтез), DCO (этапное вмешательство, включающее временную внешнюю фиксацию с последующим окончательным остеосинтезом с помощью интрамедуллярного

винта) и внешняя фиксация в качестве окончательного остеосинтеза [43], и показали статистически значимо более высокую частоту осложнений в группе окончательной внешней фиксации (69 % переломов) по сравнению с DCO и ETC (23 % и 20 % соответственно), причем различия сохранялись при введении коррекции на тяжесть состояния при поступлении, которая была выше в группах окончательной внешней фиксации и DCO. К основным осложнениям относили нарушение консолидации или функции системы для остеосинтеза, замедленное сращение или несращение, инфекционные осложнения. На основании результатов исследования сделан вывод о том, что у пациентов с диафизарными переломами длинных костей нижних конечностей необходимо использовать внешнюю фиксацию только в качестве временной методики остеосинтеза, а после стабилизации состояния пациента целесообразен переход к погружному остеосинтезу [43].

Однако важно отметить ограничения описанных выше исследований, включая преимущественно ретроспективный характер и малые размеры выборок, поскольку проведение рандомизированных исследований у данных групп пациентов сопряжено со значительными сложностями [44, 45]. Для получения более объективных данных целесообразным является развитие специальных регистров и анализ накапливаемых данных. Например, в настоящее время ожидаются результаты многоцентрового регистра FROST (*англ.*: Fracture-Related Outcome Study for operatively treated Tibia shaft fractures, Исследование связанных с переломами исходов при оперативном лечении переломов диафиза большеберцовой кости), которое потенциально может расширить понимание частоты осложнений при разных методах лечения пациентов с переломами большеберцовой кости [46].

Открытым вопросом является оптимальная конфигурация и компоновка АВФ для остеосинтеза длинных костей у пациентов с множественными и сочетанными травмами или политравмой. С одной стороны, они должны обеспечивать надежную фиксацию отломков, однако у пациентов в тяжелом состоянии важной также является возможность быстрого наложения аппарата. В исследовании Я.М. Алсмади с соавт. отмечено, что у пациентов с тяжелой травмой (более 40 баллов по ISS) использование одноплоскостных стержневых АВФ сопряжено с более высоким риском осложнений (нагноение мягких тканей, миграция стержней и образование пролежней) по сравнению с двух- и многоплоскостными аппаратами, что может быть связано с недостаточной стабилизацией перелома. С другой стороны, в группе пациентов с меньшей тяжестью травмы (ISS менее 40) подобных различий показано не было [22].

Уменьшение частоты воспаления в области установки компонентов АВФ, а также образования контрактур суставов выявлено при использовании оригинальной конструкции чрескостного одноплоскостного аппарата внешней фиксации [47]. Также для временного остеосинтеза могут быть использованы гибридные стержневые дистракционно-репозиционные конструкции, состоящие из кольцевых или полукольцевых опор, соединенных стержнями, однако для оценки их преимуществ и недостатков в клинической практике необходимо проведение дальнейших исследований [48, 49, 50]. Показали хорошие результаты применения разработанных компоновок АВФ с использованием в качестве опоры секторов, балок и стержней при переломах длинных костей нижних конечностей [50].

Оптимальное время конверсии к окончательному внутреннему остеосинтезу у пациентов с переломами голени в составе множественной и сочетанной травмы на настоящий момент также не выяснено. Результаты исследований остаются противоречивыми. Так, в проведенном недавно исследовании не показано статистически значимых различий осложнений (поверхностной или глубокой инфекции и несращения) у пациентов, которым окончательный остеосинтез проводили в сроки менее 7 дней, 7–13 дней или 14 и более дней, хотя в последней группе наблюдали более длительное оперативное вмешательство при конверсии к окончательному остеосинтезу [51].

В другом исследовании показана статистически значимо более высокая частота инфекционных осложнений в группе пациентов с открытыми переломами голени, у которых время внешней фиксации составило более 28 дней, по сравнению с пациентами, у которых их использование ограничивалось первыми 14 днями после травмы или 15–28 днями, хотя ограничением данного исследования являлось относительно малое количество пациентов с тяжелыми повреждениями мягких тканей (тип III по Gustilo) [20].

ОБСУЖДЕНИЕ

Анализ литературы показал, что на данный момент среди профессионального сообщества нет общепризнанной тактики применения ранней мобилизации переломов длинных трубчатых костей, как элемента противошокового мероприятия у пациентов с политравмой. Приведенные статистические данные об ошибках, осложнениях и исходах лечения значительно разнятся, а иногда и противоречат друг другу, что указывает на сложность и многофакторность данного процесса и оказывает решающее влияние на окончательный клинико-функциональный результат лечения.

Как следует из публикаций, наиболее активно в современной медицине применяется две тактики: применение погружных и наружных методик остеосинтеза. Существенным достоинствам первой методики является оперативное вмешательство по принципу «сделал и забыл». К сожалению, в условиях политравмы, на этапах оказания медицинской помощи не всегда есть возможность выполнить такую операцию в силу отсутствия необходимого оборудования или условий для её осуществления, а также наличие переломов осложненных повреждением мягких тканей, сосудисто-нервных структур, инфицирование области перелома, что, как правило, присутствует в случаях получения политравмы. Все это в значительной мере сужает круг показаний для применения данных методик. Другим немаловажным фактором, снижающим на наш взгляд актуальность применения данных методик, является невозможность создания оптимальных условий для репаративного остеогенеза в условиях постельного режима пациента, а также невозможность манипуляции костными фрагментами в случае необходимости.

Всех этих недостатков лишён метод чрескостного остеосинтеза, который может быть выполнен в любых модификациях, на начальных этапах в минимально травматичной форме он может быть легко дополнен в любом объеме, необходимом для решения конкретной клинической задачи. К его неоспоримым преимуществам относится возможность создания оптимальных условий для консолидации костных фрагментов при ранней функциональной нагрузке, а также возможность манипулирования костными фрагментами с целью репозиции, которая можно осуществить в подходящее для этого время. Также следует отметить, что аппарат Илизарова применим во всех тех случаях, когда использование погружных методов остеосинтеза невозможно.

Таким образом, формируется мнение, что в случаях, когда невозможно применение методик погружного остеосинтеза по принципу «сделал и забыл», аппарат Илизарова является наиболее универсальным и адаптируемым методом чрескостного остеосинтеза, который может быть выполнен в модификации временного остеосинтеза и впоследствии дополнен для расширения его функциональных возможностей.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Учитывая высокую распространенность переломов голени у пациентов с множественными и сочетанными повреждениями, выбор оптимальной тактики лечения данных травм остается важным вопросом современной медицины. В настоящее время наиболее распространенным является дифференцированный подход к лечению переломов у данной категории пациентов, когда выбор методики остеосинтеза основывается на тяжести состояния пациента и общей тяжести травмы. В то время как у стабильных пациентов преимуществами обладает раннее выполнение окончательного внутреннего остеосинтеза, у пограничных и тяжелых пациентов используют тактику «контроля повреждений», когда первично выполняют временный внешний остеосинтез с последующим этапным хирургическим вмешательством. Однако отдельные вопросы использования внеочагового остеосинтеза при переломах костей голени у пациентов с множественными и сочетанными травмами, включая оптимальное время перехода к окончательному внутреннему остеосинтезу, возможность использования внеочагового остеосинтеза в качестве метода окончательной фиксации, а также оптимальная конфигурация и компоновка используемых аппаратов остаются открытыми. Важным ограничением является недостаток данных качественных рандомизированных контролируемых исследований в данной области.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Источник финансирования. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Этическая экспертиза. Не требуется.

Информированное согласие. Не применимо.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. James SL, Castle CD, Dingels ZV, et al. Global injury morbidity and mortality from 1990 to 2017: results from the Global Burden of Disease Study 2017. *Inj Prev*. 2020;26(Suppl 1):i96-i114. doi: 10.1136/injuryprev-2019-043494
2. GBD 2019 Diseases and Injuries Collaborators. Global burden of 369 diseases and injuries in 204 countries and territories, 1990-2019: a systematic analysis for the Global Burden of Disease Study 2019. *Lancet*. 2020;396(10258):1204-1222. doi: 10.1016/S0140-6736(20)30925-9
3. van Breugel JMM, Niemeyer MJS, Houwert RM, Groenwold RHH, Leenen LPH, van Wessem KJP. Global changes in mortality rates in polytrauma patients admitted to the ICU—a systematic review. *World J Emerg Surg*. 2020;15(1):55. doi: 10.1186/s13017-020-00330-3
4. Селиверстов П.А., Шапкин Ю.Г., Акрамов И.Э. Анализ структуры сочетанной и множественной травмы опорно-двигательного аппарата. *Бюллетень медицинских интернет-конференций*. 2013;3(8):1053.
5. Махновский А.И., Эргашев О.Н., Мирошниченко А.Г., Касимов Р.Р. Опыт применения усовершенствованного метода регистрации множественных и сочетанных травм. *Скорая медицинская помощь*. 2019;1(1):40-45. doi: 10.24884/2072-6716-2019-20-1-40-45

6. Banerjee M, Bouillon B, Shafizadeh S, et al. Epidemiology of extremity injuries in multiple trauma patients. *Injury*. 2013;44(8):1015-1021. doi: 10.1016/j.injury.2012.12.007
7. Гуманенко Е.К., Завражнов А.А., Супрун А.Ю., Хромов А.А. Тяжелая сочетанная травма и политравма: определение, классификация, клиническая характеристика, исходы лечения. *Политравма*. 2021;4:6-17.
8. Weber CD, Hildebrand F, Kobbe P, et al. Epidemiology of open tibia fractures in a population-based database: update on current risk factors and clinical implications. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019;45(3):445-453. doi: 10.1007/s00068-018-0916-9
9. Сергеев С.В., Загородний Н.В., Абдулхабилов М.А. и др. *Современные методы остеосинтеза костей при острой травме опорно-двигательного аппарата: Учеб. пособие*. М.: РУДН, 2008:24-27. Доступно по: <https://www.openrepository.ru/article?id=661980>. Ссылка активна на 26.06.2024.
10. Котельников Г.П., Миронов С.П. *Травматология: Национальное руководство*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2008:820.
11. Лернер А.А., Фоменко М.В. Использование принципов "Damage control" при лечении тяжелых повреждений конечностей. *Новости хирургии*. 2012;20(3):128-32.
12. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, Karam MD, Kellam JF. Fracture and Dislocation Classification Compendium-2018. *J Orthop Trauma*. 2018;32 Suppl 1:S1-S170. doi: 10.1097/BOT.0000000000001063
13. Hernigou P. History of external fixation for treatment of fractures. *Int Orthop*. 2017;41(4):845-853. doi: 10.1007/s00264-016-3324-y
14. Кутепов С.М., Гюльназарова С.В. К истории изучения и развития метода чрескостного остеосинтеза на Среднем Урале. *Гений ортопедии*. 2021;27(3):307-312. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-307-312
15. Артемьев А.А., Брижань Л.К., Давыдов Д.В. и др. Остеосинтез по Илизарову как самодостаточный метод лечения переломов костей голени. *Политравма*. 2021;(1):51-59. doi: 10.24411/1819-1495-2021-10006
16. Набиев Е.Н., Тезекбаев К.М., Альходжаев С.С. и др. Лечение переломов костей конечностей и таза при политравме. *Вестник КазНМУ*. 2020;(1):305-307.
17. Li Y, Jiang X, Guo Q, et al. Treatment of distal tibial shaft fractures by three different surgical methods: a randomized, prospective study. *Int Orthop*. 2014;38(6):1261-1267. doi: 10.1007/s00264-014-2294-1
18. Nieto H, Baroan C. Limits of internal fixation in long-bone fracture. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103(1S):S61-S66. doi: 10.1016/j.otsr.2016.11.006
19. Fang X, Jiang L, Wang Y, Zhao L. Treatment of Gustilo grade III tibial fractures with unreamed intramedullary nailing versus external fixator: a meta-analysis. *Med Sci Monit*. 2012;18(4):RA49-56. doi: 10.12659/msm.882610
20. Ye Z, Zhao S, Zeng C, et al. Study on the relationship between the timing of conversion from external fixation to internal fixation and infection in the treatment of open fractures of extremities. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):662. doi: 10.1186/s13018-021-02814-7
21. Токтаров Е.Н., Жанаспаев М.А., Тлемисов А.С. и др. Лечение диафизарных переломов костей голени. Обзор литературы. *Наука и здравоохранение*. 2018;6:58-69.
22. Алсмади Я.М., Солод Э.И., Лазарев А.Ф. и др. Значение выбора конфигурации аппарата наружной фиксации при конверсионном остеосинтезе у пациентов с политравмой. *Политравма*. 2021;(3):37-45. doi: 10.24412/1819-1495-2021-3-37-45
23. Тулупов А.Н. Тяжелая сочетанная травма. Санкт-Петербург: ООО "РА "Русский Ювелир"; 2015:314.
24. Pape HC, Leenen L. Polytrauma management - What is new and what is true in 2020? *J Clin Orthop Trauma*. 2021;12(1):88-95. doi: 10.1016/j.jcot.2020.10.006
25. Bliven EK, Greinwald M, Hackl S, Augat P. External fixation of the lower extremities: Biomechanical perspective and recent innovations. *Injury*. 2019;50 Suppl 1:S10-S17. doi: 10.1016/j.injury.2019.03.041
26. Pape HC, Halvachizadeh S, Leenen L, et al. Timing of major fracture care in polytrauma patients - An update on principles, parameters and strategies for 2020. *Injury*. 2019;50(10):1656-1670. doi: 10.1016/j.injury.2019.09.021
27. Rondanelli AM, Gómez-Sierra MA, Ossa AA, et al. Damage control in orthopaedic and traumatology. *Colomb Med (Cali)*. 2021;52(2):e4184802. doi: 10.25100/cm.v52i2.4802
28. Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Ефимов Е.В. Хирургическая тактика при политравме с повреждениями опорно-двигательного аппарата. *Политравма*. 2014;4:82-88.
29. Li H, Yu D, Wu S, Zhang Y, Ma L. Multiple Comparisons of the Efficacy and Safety for Seven Treatments in Tibia Shaft Fracture Patients. *Front Pharmacol*. 2019;10:197. doi: 10.3389/fphar.2019.00197
30. Шапкин Ю.Г., Селиверстов П.А., Скрипаль Е.А. Феномен "второго удара" после операций остеосинтеза при политравме. *Российский медицинский журнал*. 2017;23(6):331-336. doi: 10.18821/0869-2106-2017-23-6-331-336
31. Patka P. Damage control and intramedullary nailing for long bone fractures in polytrauma patients. *Injury*. 2017;48 Suppl 1:S7-S9. doi: 10.1016/j.injury.2017.04.016
32. Дьячков А.Н., Солдатов Ю.П., Столбиков С.А., Зверев Э.С. Сравнительный анализ ошибок и осложнений при лечении больных с закрытыми переломами костей голени консервативными и оперативными методами в условиях городской больницы и медико-санитарной части. *Медицинская наука и образование Урала*. 2011;12(2):127-30.
33. Ghimire A, Devkota P, Bhandari KK, Kharel Y, Pradhan S. Ilizarov Ring External Fixation for Complex Tibial Plateau Fractures. *Rev Bras Ortop (Sao Paulo)*. 2021;57(4):667-674. doi: 10.1055/s-0041-1739171
34. May JD, Paavana T, McGregor-Riley J, Royston S. Closed Tibial shaft fractures treated with the Ilizarov method: A ten year case series. *Injury*. 2017;48(7):1613-1615. doi: 10.1016/j.injury.2017.05.019
35. Metsemakers WJ, Handojo K, Reynders P, et al. Individual risk factors for deep infection and compromised fracture healing after intramedullary nailing of tibial shaft fractures: a single centre experience of 480 patients. *Injury*. 2015;46(4):740-745. doi: 10.1016/j.injury.2014.12.018
36. Giovannini F, de Palma L, Panfighi A, Marinelli M. Intramedullary nailing versus external fixation in Gustilo type III open tibial shaft fractures: a meta-analysis of randomised controlled trials. *Strategies Trauma Limb Reconstr*. 2016;11(1):1-4. doi: 10.1007/s11751-016-0245-7
37. Duyos OA, Beaton-Cumulada D, Davila-Parrilla A, et al. Management of Open Tibial Shaft Fractures: Does the Timing of Surgery Affect Outcomes? *J Am Acad Orthop Surg*. 2017;25(3):230-238. doi: 10.5435/JAAOS-D-16-00127

38. Major Extremity Trauma Research Consortium (METRC). Modern External Ring Fixation Versus Internal Fixation for Treatment of Severe Open Tibial Fractures: A Randomized Clinical Trial (FIXIT Study). *J Bone Joint Surg Am.* 2022;104(12):1061-1067. doi: 10.2106/JBJS.21.01126
39. Liu J, Xie L, Liu L, et al. Comparing external fixators and intramedullary nailing for treating open tibia fractures: a meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):13. doi: 10.1186/s13018-022-03490-x
40. Daniels NF, Lim JA, Thahir A, Krkovic M. Open Pilon Fracture Postoperative Outcomes with Definitive Surgical Management Options: A Systematic Review and Meta-analysis. *Arch Bone Jt Surg.* 2021;9(3):272-282. doi: 10.22038/abjs.2020.53240.2641
41. Hildebrand F, van Griensven M, Huber-Lang M, et al. Is There an Impact of Concomitant Injuries and Timing of Fixation of Major Fractures on Fracture Healing? A Focused Review of Clinical and Experimental Evidence. *J Orthop Trauma.* 2016;30(3):104-12. doi: 10.1097/BOT.0000000000000489
42. Бондаренко А.В., Гусейнов Р.Г., Плотников И.А. Остеосинтез переломов голени на втором этапе Damage control (контроля повреждений) при политравме. *Политравма.* 2021(3):28-36. doi: 10.24412/1819-1495-2021-3-28-36
43. Pairoon P, Ossendorf C, Kuhn S, et al. Intramedullary nailing after external fixation of the femur and tibia: a review of advantages and limits. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015;41(1):25-38. doi: 10.1007/s00068-014-0448-x
44. Steinhilber E, Bouillon B, Rixen D; Members of the damage control study group. Are large fracture trials really possible? What we have learned from the randomized controlled damage control study? *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018;44(6):917-925. doi: 10.1007/s00068-017-0891-6
45. Hing CB, Tutton E, Smith TO, et al. Correction to: Reamed intramedullary nailing versus circular frame external fixation for segmental tibial fractures (STIFF-F): a mixed methods feasibility study. *Pilot Feasibility Stud.* 2021;7(1):102. doi: 10.1186/s40814-021-00842-y
46. Metsemakers WJ, Kortram K, Ferreira N, et al. Study Group. Fracture-related outcome study for operatively treated tibia shaft fractures (F.R.O.S.T.): registry rationale and design. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):57. doi: 10.1186/s12891-020-03930-x
47. Дюсупов А.А., Дюсупов Алт.А., Дюсупов А.З. и др. Этапное лечение закрытых диафизарных переломов костей голени одноплоскостным чрескостным остеосинтезом. *Наука и здравоохранение.* 2014;(2):79-82.
48. Салохиддинов Ф.Б., Каримов М.Ю., Толочко К.П. Оценка результатов лечения повреждений костей нижних конечностей стержневым аппаратом при множественных и сочетанных травмах. *Гений ортопедии.* 2018;24(1):13-17. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-1-13-17
49. Пальшин Г.А., Тордуин С.С., Максимов А.С., Левченко В.А. Способ остеосинтеза длинных трубчатых костей с использованием дистракционно-репозиционного аппарата внешней фиксации. *Acta Biomedica Scientifica.* 2019;4(6):112-16. DOI: 10.29413/ABS.2019-4.6.17
50. Багиров А.Б., Цискарашвили А.В., Лаймуна Кх.А. и др. Наружный остеосинтез при переломах длинных костей нижних конечностей. *Политравма.* 2018;(3):27-33.
51. Santolini E, Stella M, Divano S, et al. Optimum timing of conversion from DCO to definitive fixation in closed fractures of the lower limb: When and how? *Injury.* 2023;54 Suppl 1:S63-S69. doi: 10.1016/j.injury.2020.09.021

Статья поступила 22.06.2023; одобрена после рецензирования 18.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 22.06.2023; approved after reviewing 18.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Искандар Юнусович Ходжанов — доктор медицинских наук, профессор, руководитель отдела, prof.khodjanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9420-3623>;

Лазиз Амонович Амонов — врач-ординатор, lazizamonov0728@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4553-8046>;

Фаррух Махсудович Махсудов — заведующий отделением, maxsudov707F@gmail.com.

Information about the authors:

Iskandar Yu. Khodzhanov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, prof.khodjanov@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9420-3623>;

Laziz A. Amonov — Resident doctor, lazizamonov0728@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0008-4553-8046>;

Farrukh M. Makhsudov — Head of Department, maxsudov707F@gmail.com.

Вклад авторов:

Ходжанов И.Ю. — подготовка и написание первоначального проекта работы, редактирование статьи.

Амонов Л.А. — идеологическая концепция работы, внесение корректировки в первоначальный вариант, подготовка работы к публикации, редактирование статьи.

Махсудов Ф.М. — сбор и анализ источников литературы, написание текста, редактирование статьи.

Обзорная статья

УДК 616.727.9-009.12-089.15(048.8)

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-728-742>



Хирургическая коррекция посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти (систематический обзор литературы)

Н.В. Абдиба✉, Л.А. Родоманова, А.О. Афанасьев, А.Е. Чижов, А.Р. Миронов, Д.В. Романов, Е.С. Цыбуль

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

Автор, ответственный за переписку: Нино Важаевна Абдиба, ninoabdiba@gmail.com

Аннотация

Введение. Сгибательная контрактура межфаланговых суставов трехфаланговых пальцев является одним из наиболее частых и трудно поддающихся лечению последствий повреждения кисти. Основная задача хирургического лечения — коррекция деформации пальца и увеличение амплитуды движения в межфаланговом суставе.

Цель работы — систематизация данных о причинах возникновения и методах хирургической коррекции посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти.

Материалы и методы. Поиск публикаций выполнен в базах данных eLIBRARY, PubMed, ScienceDirect, Google Scholar, Ovid согласно рекомендациям PRISMA. В исследования включены работы на английском и русском языках, с одним и более случаев посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти, при котором выполнена хирургическая коррекция деформации. Исключены случаи сгибательных контрактур не травматического генеза. Проанализированы этиологические факторы возникновения сгибательных контрактур, проблема разнородности определений и методов регистрации амплитуды движений в суставе, особенности анатомии и методы хирургической коррекции сгибательных контрактур, послеоперационные осложнения.

Результаты. Наиболее частыми причинами сгибательных контрактур стали ожог (32,3 %), вывихи и переломо-вывихи суставов пальцев кисти (23,5 %). Медиана послеоперационного срока наблюдения после хирургического лечения патологии составила 13,5 мес. Распределение методов хирургической коррекции: в 40 % случаев использовали аппарат внешней фиксации (АВФ), открытые методики применяли в 50 %, комбинированную методику — в одном случае (10 %). Исходя из расчетов относительных шансов послеоперационных осложнений, выявлена слабая положительная линейная зависимость между методом АВФ и болевым синдромом, тогда как между открытым методом и болевым синдромом наблюдается слабая отрицательная линейная зависимость.

Обсуждение. Прослеживается неоднородность подходов в отношении методов коррекции сгибательных контрактур, хирургического доступа, техники мобилизации суставов и релиза анатомических структур пальца при открытых методиках, шага дистракции при использовании АВФ, методов восполнения дефицита мягких тканей после устранения сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти.

Заключение. Наблюдается тенденция превалирования открытых методик для прецизионного устранения всех компонентов сгибательной контрактуры сустава и возмещения дефицита мягких тканей пальца. Выявлена слабая положительная линейная зависимость между методом АВФ и болевым синдромом. Достоверной корреляции между открытыми методиками и осложнениями не выявлено. Не выявлено корреляционных связей способа лечения от вида контрактуры, отсутствуют схемы лечения пациентов с данной патологией.

Ключевые слова: межфаланговый сустав, контрактура, сгибательная контрактура суставов пальцев кисти, тугоподвижный палец, контрактура пальцев, посттравматическая контрактура пальцев

Для цитирования: Абдиба Н.В., Родоманова Л.А., Афанасьев А.О., Чижов А.Е., Миронов А.Р., Романов Д.В., Цыбуль Е.С. Хирургическая коррекция посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти (систематический обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2024;30(5):728-742. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-728-742. EDN: XDVILP.

Review article

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-728-742>



Surgical correction of posttraumatic triphalangeal joint flexion contractures of the fingers (systematic literature review)

N.V. Abdiba[✉], L.A. Rodomanova, A.O. Afanasyev, A.E. Chizhov, A.R. Mironov, D.V. Romanov, E.S. Tsybul

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

Corresponding author: Nino V Abdiba, ninoabdiba@gmail.com

Abstract

Introduction Triphalangeal joint flexion contracture of the fingers is a common and challenging posttraumatic hand condition. The goal of surgical treatment is to correct finger deformity and increase interphalangeal range of motion.

The **objective** was to systematize data on the causes of post-traumatic triphalangeal joint flexion contracture of the fingers and methods of surgical correction.

Material and methods The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org), ScienceDirect, Google Scholar, Ovid databases according to PRISMA recommendations. Literature searches included both Russian and English studies, with one or more cases of post-traumatic triphalangeal joint flexion contracture of the fingers with the deformity surgically corrected. Cases of non-traumatic flexion contractures were excluded. Etiological factors of flexion contractures, heterogeneity of definitions and methods for recording the range of motion in the joint, anatomical features, surgical correction of flexion contractures and postoperative complications were reviewed.

Results Common causes of flexion contractures included burns (32.3%), dislocations and fracture-dislocations of the finger joints (23.5%). The median postoperative follow-up period was 13.5 months after surgical treatment. Surgical correction was produced with external fixation device (EFD) in 40% of cases, open procedures performed in 50% and a combined technique employed in one case (10%). Based on calculations of the odds ratios of postoperative complications, a weak positive linear relationship was revealed between EFD and pain syndrome, and a weak negative linear relationship was observed between the open procedure and pain.

Discussion There is heterogeneity of approaches regarding methods for correcting flexion contractures, surgical approaches, techniques for mobilizing joints and releasing the anatomical structures of the finger with open procedures, the distraction rate with EFD, methods for repair of soft tissue defects following the treatment of flexion contractures of interphalangeal joint of a finger.

Conclusion Open procedures are commonly used for precise elimination of all components of flexion contracture of the joint and repair of soft tissue defects of the finger. A weak positive linear relationship was revealed between EF and pain syndrome. There was no significant correlation between open techniques and complications. There were no correlations between the treatment method and the contracture type; there are no treatment regimens for patients with this pathology.

Keywords: interphalangeal joint, contracture, flexion contracture of the joints of the fingers, stiff finger, contracture of the fingers, posttraumatic contracture of the fingers

For citation: Abdiba NV, Rodomanova LA, Afanasyev AO, Chizhov AE, Mironov AR, Romanov DV, Tsybul ES. Surgical correction of posttraumatic triphalangeal joint flexion contractures of the fingers (systematic literature review). *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):728-742. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-728-742

ВВЕДЕНИЕ

Совершенствование хирургической техники, металлоконструкций и шовного материала значительно улучшили оказание помощи при травмах кисти, но отдаленные последствия данных повреждений остаются актуальным разделом современной травматологии и ортопедии [1]. Тугоподвижность суставов пальцев, в частности сгибательные контрактуры межфаланговых суставов, являются трудно поддающимися лечению последствиями повреждений кисти. По данным различных авторов, контрактуры межфаланговых суставов встречаются в 20–38 % случаев после травм кисти различной степени тяжести [2–4]. Sterling Bunnell в 1956 г. первым отметил, что пальцы кисти имеют тенденцию становиться ригидными и, кроме того, принимают физиологически крайне невыгодное положение, непосредственно снижая функцию конечности в целом [5, 6].

Сгибательная контрактура имеет патофизиологическую основу, она становится исходом травмы кисти при неправильно выбранной тактике лечения и отсутствии адекватных реабилитационных мероприятий в послеоперационном и посттравматическом периоде [5].

Существует множество классификаций контрактур суставов пальцев кисти. G. Yang et al. классифицируют контрактуры в зависимости от вовлеченности тех или иных анатомических структур: патология кожи и фасции; повреждения мышц и сухожилий; травма капсульно-связочного аппарата суставов; повреждение костных структур кисти [7]. Учитывая анатомический субстрат и дефицит функции сустава, выделяют дерматогенные с дефицитом функции до 30 % от нормы; дермато-десмогенные с дефицитом функции до 60 %; дермато-десмо-артрогенные с дефицитом функции более 60 % [8]. В своей классификации J.B. Jupiter et al. выделили 8 типов контрактур суставов пальцев в зависимости от повреждения волярных или дорсальных структур пальцев и ограничения объема пассивных или активных движений в суставе [9].

Аналогичная неоднозначная ситуация характерна и для методов хирургического лечения сгибательных контрактур. В зависимости от тяжести контрактуры и вовлечения определенных структур кисти выполняют тенотомии сгибателей и реконструктивные операции на сгибательном и разгибательном аппарате кисти [10, 11]; реконструкцию, мобилизацию ладонной пластинки и удерживателей ладонной пластинки [7]; релиз коллатеральных связок суставов; устранение рубцовых контрактур кожных покровов, в том числе с применением несвободной и свободной кожной пластики [12–14]; корригирующие операции на костях кисти [15].

Обилие методов хирургической коррекции контрактур не является предиктором успешного лечения, вследствие этого в мировой литературе нет консенсуса и строгого алгоритма лечения сгибательных контрактур трехфаланговых пальцев кисти.

Цель работы — систематизация данных о причинах возникновения и методах хирургической коррекции посттравматических сгибательных контрактур суставов трехфаланговых пальцев кисти.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Поиск и отбор публикаций

Данный систематический обзор выполнен в соответствии с международными требованиями PRISMA (англ.: Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses). На первом этапе три автора (Абдиба Н.В., Афанасьев А.О., Чижов А.Е.) независимо друг от друга выполнили отбор публикаций с использованием следующих ключевых слов: interphalangeal joint, contracture, surgical treatment, flexion contractures, stiff finger, posttraumatic / post-traumatic, digital, finger joint, joint mobilization / arthrolysis; сгибательная контрактура суставов пальцев кисти, хирургическое лечение, мобилизация сустава / артролиз, тугоподвижный палец, контрактура пальцев, посттравматическая контрактура пальцев. Поиск литературных источников осуществлен в электронных базах данных eLIBRARY, PubMed (MEDLINE), ScienceDirect, Google Scholar, Ovid с использованием комбинаций операторов OR, AND, NOT и вышеперечисленных ключевых слов.

Запрос для поиска в базе данных PubMed (MEDLINE) включал следующую комбинацию ключевых слов: (posttraumatic OR post-traumatic) AND (flexion deformity finger) OR (stiff OR contracture) AND (finger OR proximal OR distal interphalangeal joint) AND (surgery OR surgical) NOT arthritis NOT Dupuytren NOT congenital NOT foot NOT elbow.

Ретроспективно поиск не был ограничен, дата последнего запроса — 01.10.2023. Поисковые слова в литературе включали термин MeSH (Flexion contracture of finger). Поисковые запросы в перечисленных базах данных использовали в различных комбинациях в качестве предварительной возможности.

На первом этапе были определены критерии включения и исключения статей в исследование.

Критерии включения в работу:

- статьи на русском или английском языках;
- возраст пациентов на момент хирургического лечения более 9 лет;
- применение хирургических методик, направленных на коррекцию сгибательной деформации трехфаланговых пальцев кисти;
- этиологически посттравматический характер сгибательной контрактуры трехфаланговых пальцев кисти;
- серии случаев с анализом исходов лечения одного и более пациентов — в исследование включены статьи IV уровня (серия случаев) и выше в соответствии с иерархией доказательств Национального совета по здравоохранению и медицинским исследованиям (*англ*: National Health and Medical Research Council — NHMRC);
- сочетание посттравматической деформации межфалангового сустава и пястно-фалангового сустава было допустимо, при обязательном наличии первого.

Исключены из исследования статьи, посвященные:

- нейрогенным контрактурам межфаланговых суставов пальцев кисти, заболеваниям и последствиям повреждений центральной нервной системы;
- множественным порокам развития верхних конечностей;
- тяжелым ожогам 3, 4 степени, обширным ожогам, охватывающим кисть и пальцы;
- ортопедическим последствиям аутоиммунных заболеваний (системная красная волчанка, склеродермия, ревматоидный артрит и пр.);
- сгибательным контрактурам суставов пальцев вследствие ладонного фасциального фиброматоза (болезни Дюпюитрена);
- исключительно несовершеннолетними объектами исследования (статьи с разнородными по возрастной характеристике группами пациентов включены в обзор).

В исследование включены оригинальные статьи с информацией о несовершеннолетних пациентах вследствие крайне малого количества работ, подходящих под заявленные критерии. Кроме того, проведен ручной поиск ссылок в обнаруженных статьях для выявления дополнительных исследований, которые могут представлять интерес.

На втором этапе провели анализ резюме публикаций на соответствие критериям включения и исключения, осуществили поиск дублирующих работ с целью их элиминации.

На третьем этапе изучили полнотекстовые статьи, подходящие по критериям данного систематического обзора.

При анализе представленной литературы в перечисленных библиотеках за последние 50 лет найдено крайне малое количество аналитических работ, посвящённых заявленной теме, выявлено отсутствие единообразия определений, интерпретации показателей гониометрии и расчета амплитуды движений в межфаланговом суставе (МФС) кисти, поэтому в работу включены статьи с неполными данными.

С целью исключения недопонимания, далее речь идет о сгибательных контрактурах межфаланговых суставов пальцев кисти, подразумевая палец в положении сгибания в межфаланговом суставе с ограничением как активного, так и пассивного разгибания, с сохранением или дефицитом сгибания в суставе [16]. Соответственно, чтобы сохранить однородность исследования, при анализе литературы исключены статьи, где авторы иначе интерпретируют данную патологию.

Дизайн исследования

Первоначальный поиск в заявленных базах данных выявил 267 источников. Далее после исключения статей, не подходящих по тематике, глав книг, комментариев к статьям, статей на других языках (кроме английского и русского) отобрано 136 статей для первичного скрининга. После изучения заголовков, резюме, а также полнотекстовых публикаций выявлено 10 статей (3,7 %), подходящих под критерии включения и соответствующих цели работы с учетом критерий исключения и разнородности интерпретации определений нозологии. Процесс отбора исследований представлен на рис. 1.

Дизайн статей представлял собой описание клинического случая [17], серий клинических случаев [14, 18–23], а также двух когортных исследований, представленных зарубежными коллегами S. Houshian et al. [24] и отечественной группой авторов [25]. Анализ включенных в обзор исследований представлен в таблице 1.

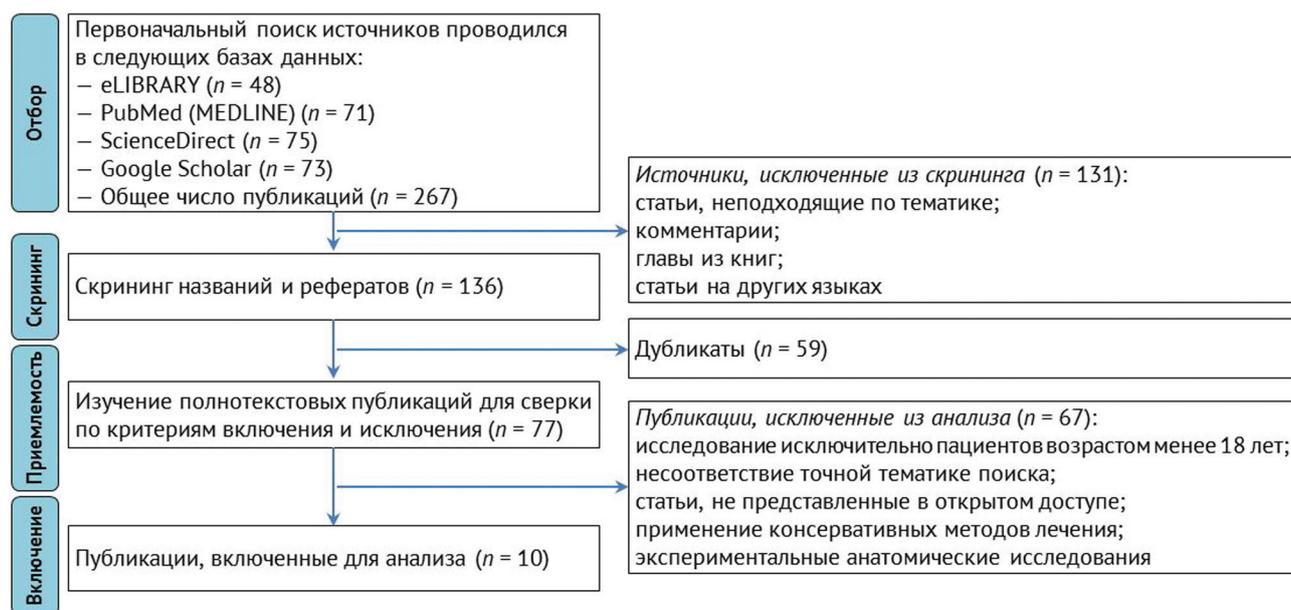


Рис. 1. Блок-схема включения в исследование с использованием предпочтительных элементов отчетности для систематических обзоров и рекомендаций по мета-анализу [26]

Таблица 1

Сводная таблица статей, включенных в систематический обзор литературы

Авторы	Кол-во пациентов, включенных в исследование (n)	Кол-во пролеч. пальцев (n)	Вид / механизм первичной травмы (n)	Средний срок от травмы до операции (мес.)	Задействованный в деформации сустав трехфалангового пальца (n)
R. Ravishanker et al., 2003 [18]	17	21	ожог (n = 15); посттравматический (б.у.) (n = 2)	-	ПМФС ДМФС
P. da Silva et al., 2004 [17]	1	2 (II - 1; III - 1)	повреждение сухожилий сгибателей 2, 3 пальцев	240	ПМФС ДМФС
S. Houshian et al., 2007 [24]	10	10 (II - 2; III - 1; IV - 2; V - 5)	вывихи, переломо-вывихи (б.у.)	15,5	ПМФС
S. Houshian et al., 2007 [19]	30	30 (II - 5; III - 2; IV - 7; V - 16)	тыльный переломо-вывих средней фаланги (n = 19); ладонный переломо вывих средней фаланги (n = 7); вывих средней фаланги (n = 4)	20	ПМФС
S.Hahn et al., 2010 [20]	9	9 (III - 1; IV - 5; V - 3)	ожог (n = 4); применение расщепленных кожных трансплантатов для устранения дефектов по ладонной поверхности пальцев (n = 3); удаление опухоли (n = 2)	249,6	ПМФС
M. Ahmad, 2014 [21]	56	-	ожог (n = 31); посттравматические (б.у.) (n = 21); постинфекционные (n = 4)	-	ПМФС
Т.С. Антонова, Д.В. Ивченко, 2016 [14]	13	14 (II - 6; III - 5; I - 3)	ожог (n = 5); электротравма (n = 2); рваная рана (n = 3); резаная рана (n = 2); минно-взрывная (n = 1)	5	ПМФС
J. Tsenget et al., 2017 [22]	2	3 (III - 1; IV - 2)	операция по поводу стенозирующего лигаментита (n = 1); производственная сочетанная травма (б.у.) (n = 1)	-	ПМФС
А.А. Богов и др., 2022 [25]	30	37	посттравматический генез (б.у.)	-	ПМФС
P. Su et al., 2023 [23]	2	2 (III - 1; IV - 1)	удар мячом (n = 1) (б.у.); резаная рана с повреждением сухожилий сгибателей (n = 1)	1 пациент (240) 2 пациент (> 12)	ПМФС

Таблица 1 (продолжение)

Сводная таблица статей, включенных в систематический обзор литературы

Авторы	Метод хирургического лечения	Дополнительная консервативная терапия	Средний срок наблюдения (мес.)	Осложнения (n)
R. Ravishanker et al., 2003 [18]	АВФ	кистевая реабилитация (кистевая терапия); антибактериальная терапия	самое длинное наблюдение — 31 мес.	инфекция мест выходов спиц (n = 2); краевой некроз (n = 2)
P. da Silva et al., 2004 [17]	АВФ (патент) монологатеральный наружный фиксатор	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	9	нет
S. Houshian et al., 2007 [24]	АВФ	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	12	купируемый болевой синдром (n = 3)
S. Houshian et al., 2007 [19]	АВФ — монологатеральный наружный фиксатор	кистевая реабилитация (кистевая терапия); антибактериальная терапия; НПВС	34	инфекция мест выходов спиц (n = 5); купируемый болевой синдром (n = 9); временная сгибат. деформация ДМФС (n = 1)
S. Hahn et al., 2010 [20]	иссечение рубца, артролиз, трансартикулярная фиксация ПМФС спицей, замещение дефекта перекрестным лоскутом	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	41,2	парестезии пальцев (n = 2); краевой некроз (n = 1)
M. Ahmad, 2014 [21]	Z-пластика (n = 4); мобилизация, кожный трансплантат (n = 38); мобилизация, лоскут (n = 11)	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	15	парциальный некроз кожного трансплантата (n = 5); инфекция (n = 3); рецидив (n = 2)
Т.С. Антонова, Д.В. Ивченко, 2016 [14]	островковый лоскут на собственной пальцевой артерии с соседнего пальца (n = 14), из них (n = 9) в ножку лоскута включался собственный пальцевый нерв; капсулотомия ПМФС (n = 4)	кистевая реабилитация (кистевая терапия), НПВС, препараты, улучшающие реологические св-ва крови (не уточн.)	12	гипестезия лоскута (n = 5); краевой некроз (n = 1)
J. Tsenget et al., 2017 [22]	ладонный нейроваскулярный смещенный лоскут (n = 3); тенолиз сгибателей (n = 2) и мобилизация ладонных пластинок, коллатеральных связок (n = 3)	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	—	нет
А.А. Богов и др., 2022 [25]	артролиз, динамический дистракционный аппарат (модифицированный)	кистевая реабилитация (кистевая терапия), введение препарата гиалуроновой кислоты и плазмы, обогащенной тромбоцитами	—	—
P. Su et al., 2023 [23]	артролиз, тенолиз, замещение дефекта смещенным кожно-жировым лоскутом	кистевая реабилитация (кистевая терапия)	3	—

Примечание: ПМФС — проксимальный межфаланговый сустав; ДМФС — дистальный межфаланговый сустава; НПВС — нестероидные противовоспалительные средства; n — количество наблюдений; «—» — данные в статье не представлены; б.у. — без уточнений.

Риск систематической ошибки

Каждое исследование подверглось методологической оценке качества в соответствии с критериями СЕВМ (англ.: Oxford Center for Evidence-Based Medicine) для определения уровня доказательности исследования. Клинические случаи и серии клинических случаев проанализированы с использованием инструмента критической оценки исследований JBI (англ.: Joanna Briggs Institute Critical Appraisal tools), состоящей из восьми вопросов, для двух когортных исследований использовали аналогичный инструмент критической оценки JBI, ориентированный для данного типа исследований, который, в свою очередь, состоял из одиннадцати вопросов. Результаты исследования представлены на рис. 2.

Статистический анализ

Статистическому анализу подвергли 10 статей, соответствующих целям работы, при суммировании объектов исследования выявлено 170 пациентов. В связи с тем, что 80 % включенных в нашу работу исследований [14, 17–23] представлены сериями случаев и отдельными клиническими наблюдениями, анализ с точки зрения эффективности лечения не корректен. Имеющиеся данные позволяют сделать выводы об основных тенденциях оперативного лечения, анатомического приложения хирургической коррекции, анализ тенденции исходов (первичное свидетельство эффективности), осложнений.

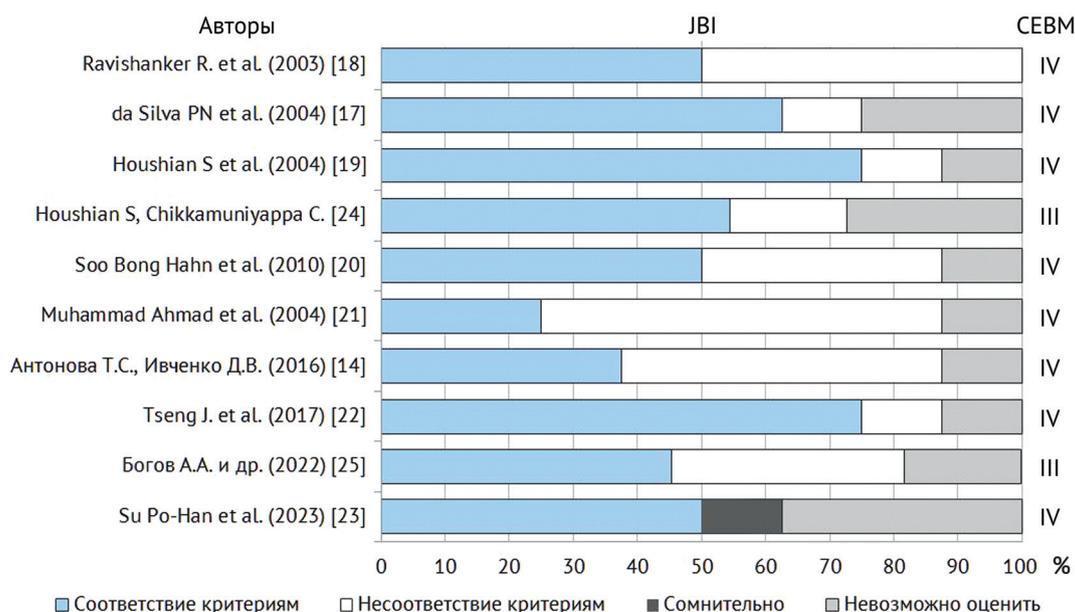


Рис. 2. Методологическая оценка качества статей, включенных в систематический обзор литературы

Применены методы описательной статистики: процентное соотношение этиологических причин возникновения сгибательных контрактур, медиана послеоперационного срока наблюдения после хирургического лечения патологии, процентное распределение методов хирургической коррекции. Послеоперационные осложнения проанализированы с использованием показателя отношения шансов (ОШ) с составлением многопольной таблицы сопряженности. Ни в одной из работ не было выявлено корреляционных связей выбора способа лечения от вида контрактуры, не использовалась ни одна из перечисленных ранее классификаций патологии. Рассмотрена линейная зависимость между двумя методами хирургического лечения (АВФ, открытый метод) и шестью видами осложнений (краевой некроз, инфекция, рецидив деформации, болевой синдром, другие неспецифические осложнения, неврологические нарушения).

Данные представлены в дихотомической шкале (табл. 2), где:

1 — наличие осложнения или применение соответствующего метода лечения;

0 — отсутствие осложнения или применение другого метода лечения.

Вычисление происходило с помощью таблицы сопряженности, которая отражает количество совместных появлений пар значений двух переменных (метод, осложнение):

Для определения линейной зависимости использовали коэффициент корреляции для дихотомических переменных — коэффициент ϕ :

$$\phi = \frac{(AD - BC)}{\sqrt{(A + C)(B + D)(A + B)(C + D)}}$$

В таблице 3 представлена полученная корреляция между методами хирургического лечения и видами осложнений. Полученный коэффициент корреляции позволяет оценить силу связи между двумя переменными (табл. 4).

Таблица 2

Схема построения таблицы сопряженности

		Метод	
		0	1
Осложнение	0	A	B
	1	C	D

Примечание. А — количество случаев, когда переменные равны 0 одновременно; В — количество случаев, когда переменная "Метод" равна 1, переменная "Осложнение" равна 0; С — количество случаев, когда переменная "Метод" равна 0, переменная "Осложнение" равна 1; D — количество случаев, когда переменные равны 1 одновременно.

Таблица 3

Коэффициент корреляции двух методов по отношению к различного рода осложнениям

Осложнение	АВФ	Открытый метод
Краевой некроз	-0,06452903769908233	0,06452903769908233
Инфекция	0,17059725865786293	-0,17059725865786293
Рецидив деформации	-0,07839895392736086	0,07839895392736086
Болевой синдром	0,35317945776459336	-0,35317945776459336
Другие неспецифические осложнения	0,09884244757168141	-0,09884244757168141
Неврологические нарушения	-0,1487282099557987	0,1487282099557987

Таблица 4

Корреляция полученного коэффициента с силой связи между двумя переменными

Значение (по модулю)	Корреляция
до 0,2	очень слабая
до 0,5	слабая
до 0,7	средняя
до 0,9	высокая
свыше 0,9	очень высокая

РЕЗУЛЬТАТЫ

Исходя из данного количества пациентов рассчитано процентное соотношение этиологических причин возникновения сгибательных контрактур суставов пальцев кисти, которые представлены в таблице 5. Наиболее частыми причинами сгибательных контрактур стали ожоги (32,3 %) [14, 18, 20, 21], вывихи и переломо-вывихи суставов пальцев кисти (23,5 %) [19, 24], также в нескольких статьях встречался посттравматический генез патологии без точного описания механизма травмы и поврежденных структур (32,3 %) [18, 21, 23, 25].

Таблица 5

Этиология возникновения сгибательных контрактур суставов пальцев кисти

Этиология	Количество пациентов	
	абс.	%
Посттравматический генез (без уточнения)	55	32,3
Ожог	55	32,3
Вывихи, переломо-вывихи	40	23,5
Осложнение после операции по поводу стенозирующего лигаментита	1	0,6
Электротравма	2	1,2
Рваная рана	6	3,5
Резаная рана	4	2,4
Минно-взрывная	1	0,6
Удаление опухоли	2	1,2
Постинфекционный генез	4	2,4

Причинами сгибательных контрактур могут стать довольно предсказуемые и объяснимые этиологические факторы, такие как электротравмы, минно-взрывные ранения, инфекции. Также вполне логично, что при резаных и в особенности рваных ранах, когда направления повреждения кожных покровов спонтанны и часто не соответствуют хирургическим линиям разрезов, образуются патологические рубцы, которые могут стать причиной ограничения подвижности в суставе [27, 28].

В нашем исследовании всего в одном клиническом случае данная операция стала причиной возникновения сгибательной контрактуры [22], однако осложнения описаны и в ряде статей, не включенных в систематический обзор [29, 30]. Частота осложнений после открытой лигаментотомии в различных источниках колеблется в широких пределах, — от 1 до 43 %, в одном из последних исследований, включающих наблюдение исхода хирургического лечения 795 пальцев, в 12 % ($n = 95$) случаев исследователи зарегистрировали различного рода осложнения (боль, отек, тугоподвижность, рецидив, поверхностная инфекция, глубокая инфекция, нейропраксия, деформация по типу «тетивы лука»), при этом в 2,5 % ($n = 20$) случаев исходом данной операции стала сгибательная контрактура суставов пальцев кисти [29, 30].

Медиана послеоперационного срока наблюдения после хирургического лечения патологии составила 13,5 мес., при этом самое долгосрочное наблюдение выявлено в работе В. Nahn et al. — 41,2 мес. [20], самое краткосрочное наблюдение продлилось 3 мес. [23]. В нескольких работах не было четкого указания периода и длительности послеоперационного наблюдения пациентов [22, 25]. Распределение методов хирургической коррекции было следующим: в 40 % ($n = 4$) случаев использовались АВФ, открытые методики применялись в 50 % случаев ($n = 5$), в одном случае (10 %) использовали комбинированную методику с последовательной мобилизацией суставов задействованного пальца, далее авторы выполняли монтаж динамического дистракционного аппарата.

Послеоперационные осложнения проанализированы с использованием показателя отношения шансов (ОШ) с составлением многопольной таблицы сопряженности. Результаты вычислений показывают слабую положительную линейную зависимость между методом АВФ и болевым синдромом. Это означает, что использование метода АВФ может быть причиной с возникновения болевого синдрома в незначительной степени. Тогда как между открытым методом и болевым синдромом наблюдается слабая отрицательная линейная зависимость. В остальных случаях (краевой некроз, инфекция, рецидив деформации, другие неспецифические осложнения, неврологические нарушения) обнаружена очень слабая линейная корреляция. Однако следует учесть возможность наличия нелинейной зависимости, которая требует проведения более сложного исследования с использованием большего объема данных.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проблема дефиниций, определений и стандартизации измерения объема движений в суставах пальцев кисти

В отечественной литературе наиболее часто под термином «сгибательная контрактура сустава» подразумевают стойкое положение, в котором находится сустав, однако существует также интерпретация, при которой подразумевают дефицит функции в данном суставе, то есть сгибания, при фиксированном положении разгибания в суставе [31–33].

Вероятно, ошибочность в суждении относительно определения сгибательных контрактур основывается на одном из фундаментальных трудов, написанном В.О. Марксом в 1978 г., где дано следующее определение: «Под положением контрактуры понимают вынужденную установку, которую принимает сустав вследствие ограничения в нем движений». Данная фраза, которая может быть интерпретирована, с точки зрения того, что контрактура обуславливается именно тем или иным видом нарушения движений в суставе, вырвана из контекста, и далее автор уточняет: «Сгибательной контрактурой обозначается ограничение разгибательных движений в суставе, разгибательной, наоборот, — ограничение сгибания» [34].

Неточное определение встречается в руководстве по нейрореабилитации, где дается следующее определение: «В соответствии с положением, в котором находится конечность в результате ограничения движения, различают сгибательные (ограничение сгибания), разгибательные (ограничение разгибания), приводящие или отводящие (ограничение приведения или отведения), ротационные (ограничение ротации) контрактуры» [35]. Аналогичным образом дано определение сгибательным контрактурам в большой медицинской энциклопедии (<https://бмэ.орг/index.php/КОНТРАКТУРА>). Однако в большинстве фундаментальных трудов, например, учебнике М.В. Волкова и Г.М. Тер-Егизарова под сгибательной контрактурой подразумевается порочное положение сгибания в суставе [33]. В современных книгах по травматологии и ортопедии различают классификацию контрактур суставов: «По порочному положению сегмента конечности — сгибательные, разгибательные, ротационные и смешанные» [31, 32].

В зарубежной литературе с целью исключения разногласий в 2008 г. при поддержке инициативы Monarch (биоинформационный веб-ресурс для исследователей) создан динамически дополняемый, структурированный и контролируемый словарь фенотипических признаков, встречающихся при наследственных и других заболеваниях человека, — «Онтология фенотипа человека (НРО)» [36]. В данной библиотеке сгибательная контрактура сустава пальца интерпретируется следующим образом: «...согнутый сустав пальца руки или ноги, который невозможно выпрямить активно или пассивно» [16].

Кроме различных взглядов на определение сгибательной контрактуры существует достаточно разнообразный перечень имеющихся терминов, отражающих данную патологию: тугоподвижный палец (stiff finger), палец-крючок (hook finger), фиксированная сгибательная деформация (fixed flexion deformity) или фиксированная сгибательная контрактура (fixed flexion contracture), сгибательная деформация пальца [11, 37, 38].

Показателем исходов и результатов лечения в травматологии и ортопедии, в частности, в хирургии сгибательных контрактур суставов пальцев кисти наиболее надежным является измеренный в периоперационном и отдаленном послеоперационном периоде диапазон движений в суставе. В отечественной литературе популярны термины «амплитуда движений», «объем движений», в зарубежной литературе встречается стандартизированный термин ROM (*англ.*: Range of motion) [39, 40]. Также важным показателем в хирургии сгибательных контрактур является общая амплитуда активных движений пальца (*англ.*: Total active motion), описанная Американским обществом хирургии кисти (ASSH) как сумма активных движений ПФС, ПМФС и ДМФС отдельного пальца в градусах с вычетом дефицита разгибания в суставе [41]. Для измерения амплитуды движений используют гониометр, с помощью которого можно объективно регистрировать угол деформации, при этом важно точно определять исходное положение в суставе (точку отсчета) или «нулевые градусы». J. Witthaut et al. обозначали нейтральное положение угломера как ноль градусов [42], тогда как Н. Лее в своей работе описал полное разгибание как 180° [43]. Наиболее часто полное разгибание в суставе определяется как 0°, но если в клинической практике допустимы оба варианта, то наличие числовых расхождений исходных углов в научной литературе может послужить причиной неверной интерпретации данных гониометрии или невозможности сравнения двух и более работ.

Ни в одной из представленных в систематическом обзоре работ не было расчета ТАМ, кроме того, не во всех исследованиях приведены показатели ROM до и после хирургического лечения. Исходной точкой отсчета при измерении амплитуды движений в суставе во всех проанализированных работах считали 0°. Поскольку ранее гониометрия была признана наиболее частым методом измерения результатов [37, 44], следовательно, можно утверждать, что протокол ROM и ТАМ должен быть представлен в качестве стандарта в публикациях для повышения прозрачности исследований.

Хирургическая анатомия

Теоретическая и практическая сложность сгибательных контрактур межфаланговых суставов пальцев заключается не только в заведомо небольшой области хирургического маневрирования, но и совокупности большого количества анатомических структур в данной области. Межфаланговые суставы явля-

ются суставами простого шарнирного типа, которые окружены внешними стабилизаторами с дугой сгибания/разгибания приблизительно от 90 до 100° в ПМФС и от 80° до 100° в ДМФС [45].

При движении целостность сустава поддерживается балансом мягких тканей, в первую очередь, волярной пластинкой, а также собственными и дополнительными коллатеральными связками [7, 45]. Сухожилия сгибателей и разгибателей обеспечивают вторичный вклад в сохранении стабильности сустава. Ладонная пластинка является основным пассивным ограничителем гиперэкстензии МФС, в положении сгибания она гофрируется, в положении разгибания натягивается (рис. 3). Ладонная пластинка натягивается между смежными фалангами, при этом в области ПМФС находятся локтевая и лучевая удерживающие связки ладонной пластинки (checkrein ligaments) [7,15]. Стабильность во фронтальной плоскости сустава обеспечивается собственными и дополнительными коллатеральными связками [45]. Данные структуры имеют биомеханический интерес в формировании сгибательной контрактуры МФС. Так, собственная коллатеральная связка проксимально и дистально крепится к костям, при этом в каждый момент движения находится в положении натяжения, дополнительная коллатеральная связка дистально крепится к ладонной пластинке и в положении разгибания в МФС натянута, а сгибания в МФС — гофрируется (рис. 3), прогнозируемо повышается риск фиброза при иммобилизации в положении сгибания, поэтому наиболее часто дополнительные коллатеральные связки становятся точкой приложения при устранении сгибательной контрактуры пальцев [11]. Тыльные структуры МФС являются более уязвимыми к травме: капсула суставов тонкая, центральный пучок и терминальный отдел разгибательного аппарата подвержены разрыву при трансляции в суставе [45, 46].

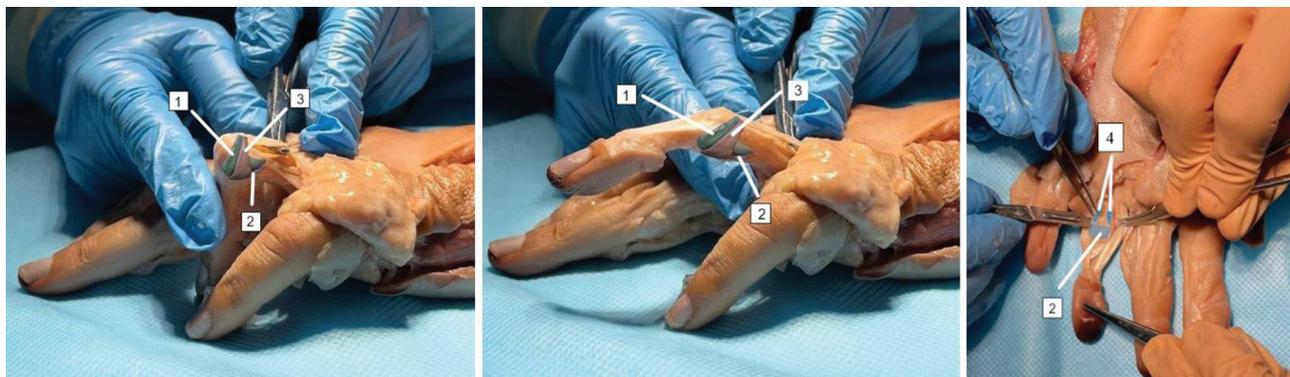


Рис. 3. Анатомия ПМФС: 1 — собственная коллатеральная связка; 2 — ладонная пластинка; 3 — добавочная коллатеральная связка; 4 — удерживающие связки ладонной пластинки (checkrein ligaments)

Таким образом, этиологической основой сгибательной контрактуры может быть любая из перечисленных структур: межфаланговый сустав, ладонная пластинка, связки, удерживающие ладонную пластинку (checkrein ligaments), сухожилия сгибателей пальца, костно-фиброзный канал сухожилий сгибателей, разгибательный аппарат, а также патологический рубец кожных покровов пальца [47, 48].

Варианты хирургического вмешательства

Предложенные методы хирургического лечения пациентов со сгибательными контрактурами межфаланговых суставов пальцев кисти можно разделить на две принципиально отличающиеся группы: закрытые методики (АВФ различных модификаций), открытые методики (артролиз, релиз задействованных анатомических структур, мобилизация/томия ладонной пластинки и пр.).

Стандартным методом устранения посттравматической сгибательной контрактуры суставов пальцев, резистентной к консервативному лечению, является открытая хирургическая коррекция всех компонентов деформации. По-видимому, одним из первых исследователей был R. Curtis [49], который описал последовательное высвобождение капсулы сустава и сообщил о малозначительном увеличении амплитуды движения в суставе (на 13°) с инволюцией движений до значений меньших, чем в дооперационном периоде, а далее появилась серия исследований [50] с сомнительными результатами открытых методик, что послужило причиной популяризации закрытых аппаратных способов устранения сгибательных контрактур суставов пальцев в конце XX века и в первом десятилетии XXI века.

Обосновываются аппаратные методики дистракционным гистогенезом — первым общебиологическим принципом, описанным Г.А. Илизаровым, основанным на фундаментальном открытии общебиологического свойства тканей отвечать на дозированное растяжение регенерацией и ростом [51].

В нашем исследовании в 50 % представленных работ в качестве метода выбора использовали АВФ, из них преимущественно (30 %) были представлены спицевые фиксаторы, со спицами диаметром от 1,0 до 1,2 мм, стержневые фиксаторы использовали в двух исследованиях (20 %), при этом применя-

ли стержни диаметром 2,0 мм. Почти все авторы использовали моноплоскостные аппараты, за исключением R. Ravishanker, который в серии случаев у совершеннолетних пациентов применял спицевой двухплоскостной аппарат [18].

Предложена различная скорость и частота дистракции, которая варьирует в диапазоне от 0,25 до 1 мм/сут. [18] длительностью от одной до четырех недель [17, 18, 24, 52].

Подробное проспективное исследование на небольшой группе пациентов провели S. Houshian et al. [24] для выявления оптимальных параметров дистракции. Сравнение двух групп пациентов с шагом дистракции 0,5 мм в сутки в течение 14 дней и 1 мм в сутки в течение 7 дней не выявило статистически значимых различий, поэтому авторы отдали свое предпочтение второму режиму дистракции, а также подчеркнули значимость дальнейших аналогичных исследований на большей группе пациентов [24].

Практически во всех анализируемых исследованиях аппарат представляет собой две спицы или стержня (дистальный проводится через основание средней фаланги, проксимальный через границу между средней и дистальной третью основной фаланги), два фиксирующих блока и штангу с резьбой для дозированного шага [17–19].

В когортном исследовании А.А. Богов с соавт. применяли модифицированный динамический дистракционный аппарат по типу фиксатора Suzuki, который описан в литературе преимущественно для внеочагового остеосинтеза при переломах фаланг пальцев кисти [25, 53].

Методика дистракционного гистогенеза не всегда применима и эффективна в отношении сгибательных контрактур пальцев, принимая во внимание неудобство, а иногда невозможность ранней реабилитации, отсутствие дифференцированного воздействия на все компоненты сгибательной контрактуры [24]. В ряде исследований описаны противопоказания к применению АВФ при сгибательных контрактурах: постожоговые деформации, врожденные деформации, контрактура Дюпюитрена, наличие хронического регионарного болевого синдрома, повреждения сухожилий, травмы от раздавливания, реплантация сегментов в анамнезе [24].

Открытые операции направлены на высвобождение анатомических структур от рубцов либо пересечение патологически измененных структур, мобилизация которых не эффективна. Пристальный интерес имеют как ладонные, так и тыльные анатомические образования.

Операции на мягких тканях не эффективны при патологических изменениях метаэпифизарных поверхностей, сочленяющих сустав, поэтому первоначально необходимо оценивать состояние и конгруэнтность сустава. Сращение фаланг пальцев с ротационной или угловой деформацией, наличие экзостозов в области сустава также могут стать причиной формирования контрактур [11]. Хирургическое лечение в таких случаях направлено на устранение деформации, резекцию экзостоза. В некоторых работах пациентов с повреждением суставной поверхности более 30 %, задействованного в сгибательной контрактуре пальца, исключали из исследований [24]. Это может быть связано с тем, что у пациентов с данным посттравматическим дефектом изначально были другие цели и ожидания от лечения, такие как устранение болевого синдрома, стабилизация пальца для повышения функциональных возможностей кисти. Данные цели могут реализоваться либо путем артродеза сустава в функционально выгодном положении, либо эндопротезированием, однако, очевидно, что в первом случае диапазон движений в суставе (ROM) не увеличится, при эндопротезировании, вероятно, будет достигнуто снижение болевого синдрома, сохранится определенный объем активных и пассивных движений, но многочисленные обзоры не продемонстрировали значительного улучшения диапазона движений в сравнении с исходным [54, 55].

В отношении волярных структур проксимального межфалангового сустава ряд авторов описывает мобилизацию ладонной пластинки, другие — ее пересечение без последующего восстановления либо пересечения связок, удерживающих ладонную пластинку (checkrein ligaments) [11, 56]. Кроме того, мобилизация сустава включает пересечение добавочных коллатеральных связок, при необходимости, мобилизацию собственных коллатеральных связок.

Также дискутабелен хирургический доступ при устранении сгибательных контрактур суставов пальцев. В серии исследований отдают предпочтение разрезу по нейтральной линии сустава (в литературе «midlateral»), так, чтобы сосудисто-нервный пучок находился волярнее разреза. При данном подходе описывают следующую последовательность действий: рассечение кожи, ПЖК, визуализация костно-фиброзного канала сгибателей, рассечение связки А3, сгибатели и мягкие ткани волярной поверхности отводят крючком, далее рассекают ладонную пластинку, пересекают связки, удерживающие ладонную пластинку, избегая повреждения поперечной пальцевой артерии, далее исследуют сустав на необходимость рассечения/ мобилизации остальных анатомических структур (добавочные и собственные коллатеральные связки) [4, 47].

P. Bruser et al. в своем когортном исследовании отдают предпочтение разрезу по нейтральным линиям, апеллируя большим увеличением диапазона движений в суставе в отдаленном послеоперационном периоде в сравнении с классическим зигзагообразным разрезом по Bruner. Авторы объясняют эффективность первого вида разреза меньшим травматизмом и возможностью динамического шинирования в раннем послеоперационном периоде [57].

Однако, даже при условии отсутствия травмы сгибателей в анамнезе, часто наблюдается спаечный процесс на протяжении костно-фиброзного канала, наиболее выражен данный процесс во второй зоне, а именно в области физиологического перекреста сухожилий поверхностных и глубоких сгибателей (P. Camper). В таком случае разрез по нейтральной линии пальца демонстрирует свою неэффективность, а наиболее комфортен будет зигзагообразный разрез по Bruner и его модификации [28]. В своем исследовании T. Saun et al., основываясь на шкале оценки рубцов (POSAS), пришли к выводу, что хорошей альтернативой классическому доступу по Bruner является ладонный косой разрез, также планируются дальнейшие исследования для определения оптимального доступа при артролизе и тенолизе сгибателей пальцев [58].

В отношении тыльных структур пальца описаны две возможные проблемы: спаечный процесс разгибательного аппарата, требующий тенолиза на протяжении; дисфункция разгибательного аппарата пальца, требующая его реконструкции [59].

Наибольшее внимание авторов уделяется тенолизу разгибательного аппарата пальцев, который, в свою очередь, включает отслаивание сухожилия от кости и медиализацию боковых пучков, последняя может быть выполнена как открытым способом под контролем глаза, так и транскутанно [10, 58, 60].

При длительно существующей выраженной контрактуре либо при наличии патологических рубцов по волярной поверхности после устранения сгибательной контрактуры пальца в положении разгибания возникает дефект мягких тканей, это еще одна дискуссионная проблема данной нозологии [12, 22, 61, 62].

В нашем исследовании 50 % работ посвящено изучению открытых методов коррекции сгибательных контрактур, при этом во всех случаях требовалось пластическое замещение возникшего дефицита тканей волярной поверхности пальца после устранения сгибательной контрактуры. Авторы используют следующие методы: перекрестную кожную пластику [20], смещенный кожно-жировой лоскут, модификации V-Y лоскутов [23], гомодигитальные лоскуты на антеградном и реверсивном кровотоке [14]. В таблице 6 представлены основные точки приложения хирургической коррекции сгибательной контрактуры, изложенные в анализируемых статьях.

Таблица 6

Статьи, включающие методы открытого устранения сгибательных контрактур суставов пальцев кисти

Авторы	Кол-во пациентов (n)	Вид/механизм первичной травмы (n)	Задействованный в деформации сустав	Хирургическая техника	Уточнение анатомических структур, «подвергшихся» артролизу/тенолизу
S.Hahn et al. [20]	9	ожог (n = 4); применение расщепленных кожных трансплантатов; для устранения дефектов по ладонной поверхности пальцев (n = 3); удаление опухоли (n = 2)	ПМФС	иссечение рубца, артролиз, трансартикулярная фиксация ПМФС спицей, замещение дефекта перекрестным лоскутом	релиз ладонной пластинки, удерживателя ладонной пластинки, коллатеральных связок; частичный релиз добавочных коллатеральных связок
M. Ahmad [21]	56	ожог (n = 31); посттравматические (n = 21); постинфекционные (n = 4)	ПМФС	пластическое замещение дефекта мягких тканей после устранения контрактуры	без уточнения
Т.С. Антонова, Д.В. Ивченко [14]	13	ожог (n = 5); электротравма (n = 2); рваная рана (n = 3); резаная рана (n = 2); минно-взрывная (n = 1)	ПМФС	островковый лоскут на собственной пальцевой артерии с соседнего пальца	капсулотомия ПМФС (n = 4) (без уточнения)
J. Tseng et al. [22]	2	операция по поводу стенозирующего лигаментита (n = 1); производственная сочетанная травма (n = 2)	ПМФС	тенолиз, артролиз, ладонный нейроваскулярный смещенный лоскут	томия ладонной пластинки в области прикрепления к о/ф, томия добавочных коллатеральных связок
P. Su et al. [23]	2	удар мячом (n = 1) (без уточнения); резаная рана с повреждением сухожилий сгибателей и их хирургическое восстановление (n = 1)	ПМФС	артролиз, тенолиз, замещение дефекта смещенным кожно-жировым лоскутом	без уточнения

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате анализа данных статей, включённых в статистическую часть, выявлено, что наиболее частыми причинами сгибательных контрактур являются ожог (32,3 %), вывихи и переломо-вывихи суставов пальцев кисти (23,5 %), в небольшом проценте случаев данное осложнение выявлено после рутинной операции по поводу стенозирующего лигаментита (0,6 %).

Анализ литературы выявил разночтения в определениях и обильную терминологию, описывающую одни и те же явления. Для обеспечения сопоставимости результатов в будущих исследованиях необходимо использовать однородную терминологию, исходные углы измерения амплитуды движений в суставах, единую методику расчета TAM и ROM, для верной интерпретации данных необходимо в самом исследовании подробно описывать метод расчёта, который применялся авторами. Также, для унификации научных сведений иностранной и отечественной литературы, вероятно, целесообразно использование словаря Онтологии фенотипа человека (HPO, <https://hpo.jax.org>).

Предложенные методы хирургического лечения пациентов со сгибательными контрактурами межфаланговых суставов пальцев кисти разделились на две принципиально отличающиеся группы: закрытые методики (аппараты внешней фиксации различных модификаций) (50 %) и открытые вмешательства (40 %). В одной из статей была представлена комбинированная методика лечения с последовательной мобилизацией суставов задействованного пальца и далее монтаж динамического дистракционного аппарата (10 %). Исходя из расчетов отношения шансов (ОШ) послеоперационных осложнений, выявлена слабая положительная линейная зависимость между методом АВФ и болевым синдромом. При этом достоверной корреляции между открытыми методиками и осложнениями (краевой некроз, инфекция, рецидив деформации, другие неспецифические осложнения, неврологические нарушения) выявлено не было. Одной из проблем лечения сгибательных контрактур является дефицит мягких тканей и необходимость пластического восполнения тканей волярной поверхности пальца после устранения сгибательной контрактуры. В 50 % представленных работ применяли такие методы как перекрестная кожная пластика, смещенный кожно-жировой лоскут, модификации V-Y лоскутов, гомодигитальные лоскуты на антеградном и реверсивном кровотоке.

В литературе наблюдается тенденция превалирования открытых методик для прецизионного устранения всех компонентов сгибательной контрактуры сустава и далее, при необходимости, возмещения дефицита мягких тканей пальца.

Несмотря на обилие методов лечения и классификаций патологии, не было выявлено корреляционных связей способа лечения от вида контрактуры, не выявлены схемы лечения пациентов с данной патологией. Таким образом, разработка универсального алгоритма принятия решений в лечении контрактур межфаланговых суставов пальцев кисти в зависимости от типа нозологии остается нерешенной задачей и требует дальнейших исследований на больших группах пациентов.

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

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

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Не требуется.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Robinson LS, Sarkies M, Brown T, O'Brien L. Direct, indirect and intangible costs of acute hand and wrist injuries: A systematic review. *Injury*. 2016;47(12):2614-2626. doi: 10.1016/j.injury.2016.09.041
2. Мигулева И.Ю., Файн А.М. Пластика сухожилия глубокого сгибателя как повторное вмешательство после неуспешного лечения повреждений в области пальцев кисти. *Травматология и ортопедия России*. 2024;30(1):5-13. doi: 10.17816/2311-2905-12236
3. Науменко Л. Ю., Маметьев, А.А. Современные аспекты лечения больных с посттравматическими дефектами и деформациями суставов пальцев кисти. *Травма*. 2012;13(3):109-112.
4. Ootes D, Lambers KT, Ring DC. The epidemiology of upper extremity injuries presenting to the emergency department in the United States. *Hand (N Y)*. 2012;7(1):18-22. doi: 10.1007/s11552-011-9383-z
5. Caviglia D, Ciolli G, Fulchignoni C, Rocchi L. Chronic post-traumatic volar plate avulsions of the finger proximal interphalangeal joint: A literature review of different surgical techniques. *Orthop Rev (Pavia)*. 2021;13(1):9058. doi: 10.4081/or.2021.9058
6. Newmeyer WL 3rd. Sterling Bunnell, MD: the founding father. *J Hand Surg Am*. 2003;28(1):161-164. doi: 10.1053/jhsu.2003.50019
7. Yang G, McGlenn EP, Chung KC. Management of the stiff finger: evidence and outcomes. *Clin Plast Surg*. 2014;41(3):501-512. doi: 10.1016/j.cps.2014.03.011
8. Мелихов К.С., Родоманова Л.А., Кутянов Д.И. Лечение посттравматических ишемических приводящих контрактур первого пальца кисти. *Травматология и Ортопедия России*. 2010;16(4): 25-29. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-4-25-29
9. Jupiter JB, Goldfarb CA, Nagy L, Boyer MI. Posttraumatic reconstruction in the hand. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(2):428-435. doi: 10.2106/00004623-200702000-00031
10. Hawken JB, Goitz RJ. Dorsal Approach for Management of Proximal Interphalangeal Joint Flexion Contracture. *J Hand Surg Glob Online*. 2023;6(1):98-102. doi: 10.1016/j.jhsg.2023.07.016
11. Wang ED, Rahgozar P. The Pathogenesis and Treatment of the Stiff Finger. *Clin Plast Surg*. 2019;46(3):339-345. doi: 10.1016/j.cps.2019.02.007
12. Pataradool K. Treatment of Chronic Severe Flexion Contractures of Fingers with Bilateral Side-Finger Flaps (Wing Flaps) and Full-Thickness Skin Graft. *J Hand Surg Asian Pac Vol*. 2020;25(4):469-473. doi: 10.1142/S2424835520500526

13. Noureldin K, Shalaby A, Badawi M. Skin Grafts Vs. Local Skin Flaps in Management of Contracted Scar Finger. *Sur Cas Stud Op Acc J*. 2020;4(5):458-163. doi: 10.32474/SCSOAJ.2020.04.000200
14. Антонова Т.С., Ивченко Д.В. Использование островковых пальцевых лоскутов для устранения сгибательных дермато-десмогенных контрактур проксимальных межфаланговых суставов пальцев кисти. *Актуальные проблемы фармации и медицины: Наука и практика*. 2016;(3):75-79. doi: 10.14739/2409-2932.2016.3.77998
15. Kaplan FT. The stiff finger. *Hand Clin*. 2010;26(2):191-204. doi: 10.1016/j.hcl.2010.02.001
16. Flexion contracture of digit. National Library of Medicine. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/medgen/326595>. Accessed Jul 3, 2024.
17. da Silva PN, Barbosa R, Ferreira P, et al. Correction of long term joint contractures of the hand by distraction. A case report. *Br J Plast Surg*. 2005;58(8):1148-1151. doi: 10.1016/j.bjps.2005.04.028
18. Ravishanker R. Distraction correction for flexion contractures of the fingers: A minimally invasive technique. *Indian J Plastic Surg*. 2003;36(2):99-103.
19. Houshian S, Chikkamuniyappa C, Schroeder H. Gradual joint distraction of post-traumatic flexion contracture of the proximal interphalangeal joint by a mini-external fixator. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(2):206-209. doi: 10.1302/0301-620X.89B2.18448
20. Hahn SB, Kang HJ, Kang ES, Choi YR. Correction of long standing proximal interphalangeal flexion contractures with cross finger flaps and vigorous postoperative exercises. *Yonsei Med J*. 2010;51(4):574-578. doi: 10.3349/ymj.2010.51.4.574
21. Ahmad M. Management of Digital Flexion Contractures. *ISRA Med J*. 2014;6(1):9-11.
22. Tseng J, Lin YT. Neurovascular Advancement Flap to Release Flexion Contracture of the Proximal Interphalangeal Joint. *J Hand Surg Am*. 2017;42(4):300.e1-300.e5. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.01.007
23. Su PH, Hsu CE, Ho TY, et al. Mathematical analysis in the design of digital artery-based V-Y advancement flap in treating proximal interphalangeal joint flexion contracture. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023;24(1):33. doi: 10.1186/s12891-023-06158-7
24. Houshian S, Chikkamuniyappa C. Distraction correction of chronic flexion contractures of PIP joint: comparison between two distraction rates. *J Hand Surg Am*. 2007;32(5):651-656. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.02.01
25. Богов А.А., Фасахов Р.Р., Муллин Р.И., Даутов Т.А.Р. Лечение контрактур проксимального межфалангового сустава кисти. *Медицинский вестник Северного Кавказа*. 2022;17(3):280-283. doi: 10.14300/mnnc.2022.17068
26. Page MJ, McKenzie JE, Bossuyt PM, et al. The PRISMA 2020 statement: an updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*. 2021;372:n71. doi: 10.1136/bmj.n71
27. Nakanishi A, Omokawa S, Iida A, et al. Predictors of Proximal Interphalangeal Joint Flexion Contracture After Homodigital Island Flap. *J Hand Surg Am*. 2015;40(11):2155-2159. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.08.008
28. Fujihara Y, Ota H, Watanabe K. Prognostic factors for outcomes of surgical mobilisation in patients with posttraumatic limited range of motion of the proximal interphalangeal joint: a multivariate analysis. *J Plast Surg Hand Surg*. 2022;56(3):133-137. doi: 10.1080/2000656X.2021.1951743
29. Will R, Lubahn J. Complications of open trigger finger release. *J Hand Surg Am*. 2010;35(4):594-596. doi: 10.1016/j.jhsa.2009.12.040
30. Everding NG, Bishop GB, Belyea CM, Soong MC. Risk factors for complications of open trigger finger release. *Hand (N Y)*. 2015;10(2):297-300. doi: 10.1007/s11552-014-9716-9
31. *Травматология и ортопедия : учебник*. Под ред. Корнилова Н.В., Дулаева А.К. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2023:656. Доступно по: https://static-sl.insales.ru/files/1/4754/12374674/original/travm_ortop_.pdf. Ссылка активна на 27.08.2024.
32. Коломиец А.А., Распопова Е.А. *Травматология и ортопедия : учебное пособие для вузов*. М.: Издательство Юрайт; 2024:234. URL: <https://urait.ru/bcode/542162> (дата обращения: 27.08.2024).
33. Волков М.В., Тер-Егизаров Г.М. *Ортопедия и травматология детского возраста*. М.: Медицина, 1983:464.
34. Маркс В.О. *Ортопедическая диагностика (руководство-справочник)*. Минск: Наука и техника, 1978:512.
35. Белова А.Н. *Нейрореабилитация: руководство для врачей*. М.: Антидор, 2000:565.
36. Köhler S, Gargano M, Matentzoglou N, et al. The Human Phenotype Ontology in 2021. *Nucleic Acids Res*. 2021;49(D1):D1207-D1217. doi: 10.1093/nar/gkaa1043
37. Pratt AL, Ball C. What are we measuring? A critique of range of motion methods currently in use for Dupuytren's disease and recommendations for practice. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:20. doi: 10.1186/s12891-016-0884-3
38. Young N, Terrington N, Francis D, Robinson LS. Orthotic management of fixed flexion deformity of the proximal interphalangeal joint following traumatic injury: A systematic review. *Hong Kong J Occup Ther*. 2018;31(1):3-13. doi: 10.1177/1569186118764067
39. Giladi AM, Chung KC. Measuring outcomes in hand surgery. *Clin Plast Surg*. 2013;40(2):313-322. doi: 10.1016/j.cps.2012.10.006
40. Rodrigues JN, Becker GW, Ball C, et al. Surgery for Dupuytren's contracture of the fingers. *Cochrane Database Syst Rev*. 2015;2015(12):CD010143. doi: 10.1002/14651858.CD010143.pub2
41. Fess EE, Moran CA. *Clinical assessment recommendations*. American Society of Hand Therapists Publ.; 1981.
42. Witthaut J, Jones G, Skrepnik N, et al. Efficacy and safety of collagenase clostridium histolyticum injection for Dupuytren contracture: short-term results from 2 open-label studies. *J Hand Surg Am*. 2013;38(1):2-11. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.10.008
43. Lee H, Eo S, Cho S, Jones NF. The Surgical Release of Dupuytren's Contracture Using Multiple Transverse Incisions. *Arch Plast Surg*. 2012;39(4):426-430. doi: 10.5999/aps.2012.39.4.426
44. Ball C, Pratt AL, Nanchahal J. Optimal functional outcome measures for assessing treatment for Dupuytren's disease: a systematic review and recommendations for future practice. *BMC Musculoskelet Disord*. 2013;14:131. doi: 10.1186/1471-2474-14-131
45. Pang EQ, Yao J. Anatomy and Biomechanics of the Finger Proximal Interphalangeal Joint. *Hand Clin*. 2018;34(2):121-126. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.002
46. Joyce KM, Joyce CW, Conroy F, et al. Proximal interphalangeal joint dislocations and treatment: an evolutionary process. *Arch Plast Surg*. 2014;41(4):394-397. doi: 10.5999/aps.2014.41.4.394
47. Hogan CJ, Nunley JA. Posttraumatic proximal interphalangeal joint flexion contractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2006;14(9):524-533. doi: 10.5435/00124635-200609000-00002
48. Houshian S, Jing SS, Chikkamuniyappa C, et al. Management of posttraumatic proximal interphalangeal joint contracture. *J Hand Surg Am*. 2013;38(8):1651-1658. doi: 10.1016/j.jhsa.2013.03.014

49. Curtis R.M. Capsulectomy of the interphalangeal joints of the fingers. *J Bone Joint Surg Am.* 1954;36-A(6):1219-1232.
50. Curtis RM. Management of the stiff proximal interphalangeal joint. *Hand.* 1969;1(1):32-37. doi: 10.1016/0072-968X(69)90036-9
51. Chen W., Qu L. Открытие и клиническое значение второго общебиологического принципа Илизарова («Харбинский феномен» костного транспорта). *Гений ортопедии.* 2021;27(3):296-298. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-3-296-298
52. Patel MR, Joshi BB. Distraction method for chronic dorsal fracture dislocation of the proximal interphalangeal joint. *Hand Clin.* 1994;10(2):327-337.
53. Wang HZ, Zhao JY, Zhang ZS. A novel dynamic distraction external fixator for proximal interphalangeal joint fracture dislocation. *J Int Med Res.* 2019;47(4):1628-1635. doi: 10.1177/0300060519826821
54. Yamamoto M, Malay S, Fujihara Y, et al. A Systematic Review of Different Implants and Approaches for Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty. *Plast Reconstr Surg.* 2017;139(5):1139e-1151e. doi: 10.1097/PRS.0000000000003260
55. Riggs JM, Burns PB, Chung KC. An Outcomes Study of Proximal Interphalangeal Joint Silicone Implant Arthroplasty Using the Volar Approach. *Plast Reconstr Surg.* 2022;150(2):341-351. doi: 10.1097/PRS.0000000000009359
56. Watson HK, Light TR, Johnson TR. Checkrein resection for flexion contracture of the middle joint. *J Hand Surg Am.* 1979;4(1):67-71. doi: 10.1016/s0363-5023(79)80107-0
57. Brüser P, Poss T, Larkin G. Results of proximal interphalangeal joint release for flexion contractures: midlateral versus palmar incision. *J Hand Surg Am.* 1999;24(2):288-294. doi: 10.1053/jhsu.1999.0288
58. Saun TJ, Truong JL, Ahluwalia R, Richards RR. A novel approach to the proximal interphalangeal joint: The volar oblique incision - a retrospective cohort study. *Scars Burn Heal.* 2020;6:2059513120981941. doi: 10.1177/2059513120981941
59. Kammerdnakta S, Huetteman HE, Chung KC. Complications of Proximal Interphalangeal Joint Injuries: Prevention and Treatment. *Hand Clin.* 2018;34(2):267-288. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.014
60. Rongières M. Management of posttraumatic finger contractures in adults. *Hand Surg Rehabil.* 2018;37(5):275-280. doi: 10.1016/j.hansur.2018.06.003
61. Fattah JH. Trapeze Flap for Correction of Post Burn Finger Flexion Contractures. *J Sur Anesth Res.* 2020;1(1):1-9. doi 10.47363/JSAR/2020(1)101
62. Идрисов Х.К., Родоманова Л.А. Восполнение дефицита кожного покрова после субтотальной апоневрэктомии при контрактуре Дюпюитрена тяжелой степени: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России.* 2022;28(2):114-123. doi: 10.17816/2311-2905-1767

Статья поступила 13.05.2024; одобрена после рецензирования 02.07.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 13.05.2024; approved after reviewing 02.07.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Нино Важаевна Абдиба — врач травматолог-ортопед, лаборант-исследователь, ninoabdiba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9152-5299>;

Любовь Анатольевна Родоманова — доктор медицинских наук, профессор, врач травматолог-ортопед, заведующая отделением, rodomanovaliubov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>;

Артем Олегович Афанасьев — врач травматолог-ортопед, afar_kav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6407-5888>;

Александр Евгеньевич Чижов — врач-ординатор, Santillabox@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2019-6242>;

Артём Романович Миронов — врач травматолог-ортопед, лаборант-исследователь, ortopedix@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9273-8680>;

Дмитрий Валерьевич Романов — врач травматолог-ортопед, заведующий отделением, dr.romanov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9847-7867>;

Евгений Сергеевич Цыбуль — кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, научный сотрудник, na4med@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8105-3635>.

Information about the authors:

Nino V. Abdiba — orthopaedic surgeon, research assistant, ninoabdiba@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9152-5299>;

Lyubov A. Rodomanova — Doctor of Medical Sciences, Professor, orthopaedic surgeon, Head of Department, rodomanovaliubov@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2402-7307>;

Artem O. Afanasyev — orthopaedic surgeon, afar_kav@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0003-6407-5888>;

Alexander E. Chizhov — resident doctor, Santillabox@mail.ru, <https://orcid.org/0009-0002-2019-6242>;

Artem R. Mironov — orthopaedic surgeon, laboratory assistant-researcher, ortopedix@yandex.ru, <https://orcid.org/0009-0001-9273-8680>;

Dmitry V. Romanov — orthopaedic surgeon, Head of Department, dr.romanov79@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-9847-7867>;

Evgeny S. Tsybul — Candidate of Medical Sciences, orthopaedic surgeon, researcher, na4med@inbox.ru, <https://orcid.org/0009-0001-8105-3635>.

Вклад авторов:

Абдиба Н.В. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация материала, написание текста статьи.

Родоманова Л.А. — дизайн исследования, интерпретация полученных данных, подготовка и редактирование текста.

Афанасьев А.О. — анализ и интерпретация полученных данных, написание и редактирование текста.

Чижов А.Е. — сбор и обработка материала, написание и редактирование текста.

Миронов А.Р. — сбор и обработка материала, редактирование текста.

Романов Д.В. — интерпретация полученных данных, редактирование текста.

Цыбуль Е.С. — интерпретация полученных данных, редактирование текста.

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

Обзорная статья

УДК 616.727.9-77-089.843

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-743-752>

Эндопротезирование проксимального межфалангового сустава кисти: современное состояние проблемы

П.В. Федотов✉, Д.В. Ковалев, А.С. Михайлов

Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Россия

Автор, ответственный за переписку: Павел Владимирович Федотов, mr_vulfgar@mail.ru

Аннотация

Введение. Проксимальный межфаланговый сустав (ПМФС) играет важную роль в обеспечении оптимальной ловкости пальцев, силы хвата и общей функциональности кисти. Эндопротезирование — перспективное направление развития в оперативном лечении артрита ПМФС кисти, однако противоречивость результатов побуждает мировое научное сообщество к сдержанности и дальнейшему исследованию проблем, связанных с эндопротезированием ПМФС.

Цель работы — на основе анализа зарубежной и отечественной медицинской литературы выявить основные проблемы эндопротезирования ПМФС.

Материалы и методы. В представленном обзоре литературы проведён анализ зарубежных и отечественных научных публикаций, посвящённых вопросам лечения заболеваний и повреждений ПМФС. Поиск проведен в электронных базах данных Google Scholar, PubMed, e-LIBRARY по поисковым фразам: эндопротезирование проксимального межфалангового сустава, артродез проксимального межфалангового сустава, остеоартрит проксимального межфалангового сустава; arthroplasty of the proximal interphalangeal joint, arthrodesis of the proximal interphalangeal joint, osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint. Глубина исследования — 37 лет. Тезисы конференций и отчеты о клинических случаях исключены.

Результаты и обсуждение. Основными проблемами при эндопротезировании ПМФС являются выбор имплантата и оптимального оперативного доступа с учетом сложной анатомии и биомеханики сустава. Описаны дорсальный, ладонный и латеральный хирургические доступы, каждый из них со своими преимуществами и недостатками. Дорсальные подходы используются наиболее часто, поскольку их легче выполнить, однако при этом повреждается хрупкий разгибательный аппарат с последующим развитием отставания разгибателей. Ряд исследователей показал, что ригидность и отставание разгибателей были наиболее частыми послеоперационными осложнениями. Доступны несколько комбинаций материалов: от классического «хром–кобальт–полиэтилен» до «керамики – керамики» и «пироуглерода – пироуглерода». Большинство из них еще не выдержали испытания временем, и для большинства имплантатов все еще не хватает реальных долгосрочных серий наблюдения выживаемости конструкции.

Заключение. Морфология суставов, малые размеры костей, сложная биомеханика и высокая нагрузка на кисть представляют собой особую проблему при эндопротезировании ПМФС.

Ключевые слова: проксимальный межфаланговый сустав, эндопротезирование суставов кисти, артропластика проксимального межфалангового сустава, биомеханика пальцев кисти

Для цитирования: Федотов П.В., Ковалев Д.В., Михайлов А.С. Эндопротезирование проксимального межфалангового сустава кисти: современное состояние проблемы. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):743-752. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-743-752. EDN: XVJPDТ.



Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint of the hand: the current state of the problem

P.V. Fedotov✉, D.V. Kovalev, A.S. Mikhailov

Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russian Federation

Corresponding author: Pavel V. Fedotov, mr_vulfgar@mail.ru

Abstract

Introduction The proximal interphalangeal joint (PIP joint) plays an important role in ensuring optimal finger dexterity, grip strength and overall hand functionality. Arthroplasty is a promising direction in the surgical treatment of arthritis of the PIP joint of the hand, however, the inconsistency of the results encourages the world scientific community to be restrained and further investigate the problems associated with PIP joint arthroplasty.

The **purpose** of the work was to identify the main problems of PIP joint arthroplasty based on the analysis of foreign and domestic medical literature.

Materials and methods In this literature review, an analysis of foreign and domestic scientific publications devoted to the treatment of diseases and injuries of PIP joint was carried out. The purpose of the study was to provide a brief historical background and identify the main problems of PIP joint arthroplasty based on the analysis of foreign and domestic medical literature.

Results and discussion The choice of the implant and the surgical approach used are the two most frequently discussed issues in PIP joint arthroplasty; dorsal, palmar and lateral surgical approaches are described, each with its own advantages and disadvantages. Dorsal approaches are used most often because they are easier to perform; however, the fragile extensor apparatus is damaged with the subsequent development of extensor lag. A number of authors concluded that stiffness and extensor lag were the most common postoperative complications. Several combinations of materials are available: from classic chrome-cobalt/polyethylene to ceramic/ceramic and pyrocarbon/pyrocarbon. Most of them have not stood the test of time yet, and for most implants there is still a lack of real long-term monitoring series for survival of the design.

Conclusion The morphology of joints, small bone sizes, complex biomechanics and the load on the hand are a special problem in PIP joint arthroplasty. It is still not possible to restore the full range of motion in this joint, despite the success of colleagues in arthroplasty of large joints.

Keywords: proximal interphalangeal joint, arthroplasty, hand joints, arthroplasty of the proximal interphalangeal joint, biomechanics of the fingers of the hand

For citation: Fedotov PV, Kovalev DV, Mikhailov AS. Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint of the hand: the current state of the problem. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):743-752. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-743-752

ВВЕДЕНИЕ

Проблема лечения остеоартрита проксимального межфалангового сустава (ПМФС) обусловлена низкой частотой распространения заболевания наряду с его высокой медико-социальной значимостью (существенное ограничение двигательных функций пальцев кисти, приводящее к снижению качества жизни); недостаточным уровнем освещаемости проблемы ввиду недостаточного клинического опыта и дефицита высококвалифицированных специалистов в этой области; непрерывной сменой линейек имплантатов ПМФС на медицинском рынке. Все это ограничивает возможности сравнения клинической эффективности эндопротезирования ПМФС, проведения многоцентровых исследований его результатов, в том числе на отдаленных сроках наблюдения.

Проксимальный межфаланговый сустав (ПМФС) играет важную роль в обеспечении оптимальной ловкости пальцев, силы хвата и общей функциональности кисти [1]. Остеоартрит ПМФС встречается относительно часто, с распространенностью 18 % при рентгенологической оценке [2], и поражает в основном женщин в возрасте от 60 до 79 лет, однако и мужчины, и женщины страдают одинаково часто в возрасте от 80 до 89 лет. На основании рентгенографии (R) и фотографий (P) распространенность остеоартрита проксимального межфалангового сустава кисти (R — 18 %; P — 6 %) ниже, чем в дистальном межфаланговом (DIP) суставе (R — 35 %; P — 24 %) или запястно-пястном (СМС) суставе (R — 21 %; P — 8 %) [2, 3]. Зарубежные коллеги сообщают, что межфаланговые суставы доминирующей руки демонстрируют более высокую распространенность остеоартрита, чем в недоминантной руке [4]. Дегенеративные изменения в данном суставе чаще всего являются следствием идиопатического остеоартрита (до 60 %), посттравматического артрита (последствия внутрисуставных переломов, повреждений связок) (до 25 %), системных воспалительных заболеваний (наиболее часто — ревматоидный артрит — до 15 %), а также наблюдаются при опухолевых поражениях (энхондрома, хондросаркома) [5]. Остеоартрит проксимального межфалангового сустава пальца (как первичный, так и вторичный) может вызывать боль с сопутствующим ограничением диапазона движений, что часто приводит к глобальному ухудшению функции кисти [6]. На ПМФС приходится примерно 85 % движений, необходимых для функционального хвата [7].

До сих пор не удается восстановить полный объем движений в данном суставе, несмотря на успехи коллег в эндопротезировании крупных суставов. Консервативное лечение остеоартрита ПМФС может уменьшить такие симптомы как боль, отек, скованность, а также снижение силы хвата на ранних стадиях. Однако при прогрессировании симптомов заболевания показано хирургическое вмешательство [8].

Вторичный остеоартроз чаще всего обусловлен посттравматическими изменениями, за которыми следуют хронические нестабильные воспалительные заболевания. Будучи блоковидным суставом, он чрезвычайно стабилен в сагитальной плоскости, но имеет ограниченную толерантность к угловым, осевым и вращательным нагрузкам. Таким образом, ПМФС является одним из наиболее подверженных травмам суставов. Уязвимость ПМФС связана с его незащищенным положением в пальце и длинным моментным плечом. Из потенциальных травм руки травмы ПМФС довольно распространены среди населения в целом и особенно выражены у спортсменов [9, 10].

По данным научной литературы, основными оперативными методами лечения пациентов с деформирующим артрозом ПМФС сустава III стадии являются артродез и тотальное эндопротезирование. Идеальная цель лечения терминальной стадии остеоартроза ПМФС — безболезненное восстановление достаточной подвижности и стабильности. Указательный и средний пальцы являются зажимающими партнерами большого пальца, а четвертому пальцу и мизинцу необходима подвижность, чтобы схватывать более крупные предметы. При выборе правильного метода лечения проблем ПМФС необходимо учитывать степень нестабильности и деформации [11, 12]. Целью всех этих методов лечения является уменьшение боли, что приводит к улучшению общей функции кисти. Артродез остается основным методом спасения при терминальной стадии артрита ПМФС и особенно полезен в случаях нестабильности, деформации или недостаточности костной ткани суставов, которые обычно не поддаются артропластике. Хотя при артродезе жертвуют подвижностью сустава ради достижения стабильности, часто это необходимый компромисс для оптимизации функции кисти [1].

Цель работы — на основе анализа зарубежной и отечественной медицинской литературы выявить основные проблемы эндопротезирования проксимального межфалангового сустава кисти.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В представленном обзоре литературы проведён анализ зарубежных и отечественных научных публикаций, посвящённых вопросам лечения заболеваний и повреждений ПМФС. Поиск проведен в электронных базах данных Google Scholar, PubMed, e-LIBRARY на русском и английском языках по поисковым фразам: эндопротезирование проксимального межфалангового сустава, артродез

проксимального межфалангового сустава, остеоартрит проксимального межфалангового сустава; arthroplasty of the proximal interphalangeal joint, arthrodesis of the proximal interphalangeal joint, osteoarthritis of the proximal interphalangeal joint. Глубина исследования — 37 лет.

В материал обзора вошли научные публикации по эндопротезированию, функциональной анатомии и биомеханике проксимального межфалангового сустава с 1988 по 2024 год включительно. Тезисы конференций и отчеты о клинических случаях исключены.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Проведенный анализ медицинской литературы по эндопротезированию ПМФС как одного из оперативных методов лечения пациентов с терминальными стадиями деформирующего артроза показал, что с момента его внедрения и по настоящее время предложено множество вариантов и способов его выполнения.

В определении хирургической тактики играет роль множество критериев: комплаентность, род деятельности и функциональные запросы пациента, анатомические особенности строения ПМФС и уникальная функция каждого пальца кисти. Так, для II и III пальцев более важна безболезненная стабильность для эффективного противопоставления I пальцу, в то время как для IV и V пальцев — максимально возможный объем сгибания, т.к. они отвечают за силу хвата кисти. Отсюда следует, что на II и III пальцах более предпочтительны артродезирующие операции, а на IV и V пальцах — эндопротезирование. Однако достоверных и полных данных исследований на данный момент недостаточно для того, чтобы подтвердить или опровергнуть данный тезис. По сравнению с эндопротезированием неоспоримыми преимуществами артродеза являются значимое снижение болевого синдрома, вплоть до полного его отсутствия, а также при адекватной фиксации ПМФС в физиологических положениях (20–30° сгибания для II и III и 40–50° для IV и V пальцев) возможность достичь удовлетворительного цилиндрического захвата кисти. Однако при этом в значительной степени пострадают прецизионные виды хвата, точные движения и мелкая моторика, что может быть важным для представителей некоторых профессий [13, 14].

Для восстановления функции ПМФС особое значение имеет понимание его анатомо-физиологических особенностей. Различная морфология ПМФС II–V пальцев, малые размеры костей, сложная биомеханика и высокая нагрузка на кисть создают ряд проблем при эндопротезировании.

Особенности анатомии и биомеханики проксимального межфалангового сустава кисти

ПМФС образован головкой основной фаланги и основанием средней фаланги пальца кисти. Головка основной фаланги имеет форму трапециевидного валика с мышцелками радиальной и локтевой асимметричной формы и межмышцелковой плоской бороздкой. Мыщелки различаются от II к V пальцу. Во фронтальной плоскости более выражен локтевой мыщелок указательного и среднего пальцев, а на безымянном и мизинце — лучевой мыщелок (рис. 1). Соответствующая суставная лунка основания средней фаланги имеет два плоских вогнутых выступа, между которыми в тыльно-ладонном направлении проходит седловидный гребень. Основание средней фаланги несколько шире головки базальной фаланги как во фронтальной, так и в сагиттальной плоскостях [15].

Диапазон движений в ПМФС составляет 0–0–100° по нейтрально-нулевому методу. Данный сустав обеспечивает 85 % сгибательной дуги пальцев, остальные 15 % берет на себя дистальный межфаланговый сустав [16]. Долгое время ПМФС считали «простым» блоковидным соединением только с одним центром вращения в головке базальной фаланги и основании средней фаланги — не абсолютно конгруэнтны [16, 17]. Во фронтальной плоскости мышцелки головки проксимальной фаланги сочленяются с соответствующими вогнутыми выступами суставной впадины основания средней фаланги через относительно небольшие контактные поверхности, находящиеся не на вершинах мышцелков, а ближе к центру [18].



Рис. 1. Дорсо-пальмарная рентгенограмма четырех пальцев левой кисти в прямой проекции. На указательном и среднем пальцах более выражен локтевой мыщелок головки проксимальной фаланги, на безымянном и мизинце более выражен лучевой мыщелок головки проксимальной фаланги (белые клинья — для иллюстрации угла наклона) [18]

Радиус дуги суставной поверхности основания средней фаланги примерно на 30 % больше радиуса дуги мыщелка головки основной фаланги. Разница в размерах и несоответствие формы суставов-партнеров обеспечивают возможность перекачивающе-скользящих движений при сгибании и разгибании, а также боковых сгибаний и легких ротационных движений. При сжатии кулака форма суставов пальцев приводит к сложным движениям отдельных фаланг: средняя и дистальная фаланги указательного и среднего пальцев, а также средняя фаланга мизинца супинированы, средняя и дистальная фаланги безымянного пальца и дистальная фаланга мизинца пронированы [19, 20]. Выбор имплантата и используемого оперативного доступа — два наиболее часто обсуждаемых вопроса при артропластике ПМФС.

Хирургические доступы для выполнения артропластики проксимального межфалангового сустава применяются различными авторами в зависимости от возникшей клинической ситуации, или их выбор руководствуется личным опытом хирурга.

Хирургические доступы к проксимальному межфаланговому суставу

Для артропластики ПМФС описаны дорсальный, ладонный и латеральный доступы. Каждый из них обладает своими преимуществами и недостатками. Дорсальные подходы используют наиболее часто, поскольку их легче выполнить, однако при этом повреждается хрупкий разгибательный аппарат с последующим развитием отставания разгибателей [19].

Наиболее частой причиной повторных вмешательств при артропластике ПМФС является дисфункция разгибательного аппарата [21]. Это побудило хирургов изучить альтернативные ладонные и латеральные доступы к данному суставу пальца. Ладонный и латеральные доступы предлагают несколько теоретических преимуществ по сравнению с дорсальным доступом. Оба доступа дают хирургам возможность избежать разрезов на разгибательном аппарате и, следовательно, не влекут за собой длительной послеоперационной иммобилизации, что практически исключает возможность послеоперационных спаек и позволяет сразу начать реабилитацию [22].

Дорсальный хирургический доступ является наиболее широко применяемым и технически наименее требовательным по сравнению с ладонным и латеральными доступами. Он также хорош, когда необходимо одновременно исправить определенные состояния мягких тканей — такие как легкая деформация «лебединой шеи» или «бутоньерки». Выполняют прямой или слегка изогнутый продольный разрез. Описано несколько методов доступа к суставу. A.B. Swanson et al. выступали за раскол по средней линии центрального скольжения сухожилия разгибателя [23]. Альтернативой является подход, описанный A. Chamay, при котором используют V-образный лоскут-разгибатель, обеспечивающий хороший обзор сустава и позволяющий создать длинный стабильный шов для закрытия сухожилия [24].

В своем исследовании E. Vodmer et al. сделали вывод о том, что подход с расщеплением сухожилия, как правило, приводит к лучшим результатам и связан с меньшим количеством осложнений по сравнению с подходом, описанным A. Chamay [24, 25].

В соответствии с потребностями выбранного имплантата формируют костные каналы и выполняют опиловы. Для силиконовых имплантатов линию резекции планируют в соответствии с размером имплантата, при этом следует позаботиться о том, чтобы сохранить как можно большую часть коллатеральных связок. Натяжение следует выбирать так, чтобы были возможны полное сгибание и разгибание. Если есть задержка растяжения, необходим либо имплантат меньшего размера, либо большая резекция кости. При значительной деформации сустава или недостаточности коллатеральных связок необходимо наложение армирующего шва связок и/или поэтапное расслабление на сократившейся стороне. Сустав должен быть хорошо сбалансирован и при этом с возможностью полного пассивного диапазона движений. Исправить любую деформацию, не скорректированную на операционном столе, практически невозможно даже при правильном применении программы реабилитации.

Дорсальный доступ нарушает работу разгибательного аппарата, поэтому необходима иммобилизация. Это подвергает пациента высокому риску потери разгибания из-за удлинения сухожилия, если мобилизация слишком ранняя, или вероятности тугоподвижности сустава, если мобилизация продолжительная [26, 27].

Ладонный хирургический доступ имеет, по крайней мере, теоретически несколько преимуществ перед другими подходами. При этом методе сухожилия не повреждаются напрямую и, в частности, деликатный механизм разгибателей остается нетронутым. Однако ладонный доступ технически более сложен и предлагает ограниченное пространство для имплантации искусственного сустава. Кроме того, ранее существовавший дисбаланс сухожилий исправить труднее. Техника, описанная D.B. Herren et al., обеспечивает хороший доступ к суставу [28]. Формируют кожный лоскут на радиальном основании, сухожилие сгибателей обнажают и вскрывают поперечно, затем с локтевой и лучевой сторон разрез продолжают с освобождением добавочных коллатеральных связок. Доступ к суставу достигают за счет гиперразгибания. Некоторое расслабление локтевой коллатеральной связки может потребоваться, если сустав недостаточно эластичен для хорошего обнажения. Остеофиты аккуратно удаляют, поскольку

ку это может быть потенциальным местом защемления сгибаемого имплантата. Затем резецируют головку проксимальной фаланги, при этом необходимо позаботиться о том, чтобы идентифицировать сосудисто-нервный пучок и защитить его ретракторами. Подготовку кости и имплантацию эндопротеза выполняют так же, как и при дорсальном доступе. В случаях с ранее существовавшим отклонением сухожилия сгибателя из-за латеральной деформации сухожилие может быть рецентрировано. Перед окончательным закрытием важно еще раз проверить пассивный диапазон движений. В конце процедуры латеральный край ладонной пластинки подшивают к добавочной связке. Программа реабилитации следует принципам, изложенным для дорсального подхода, но не требует никакой специальной защиты сухожилий разгибателей и разрешает даже пассивные движения [29, 30].

Трудно сделать вывод, насколько хорош ладонный подход. Однако при дорсальном доступе необходима иммобилизация, чтобы добиться процесса восстановления сухожилия. Ладонную пластинку и влагалище сухожилий сгибателей подвергают риску при ладонном или переднем доступе. Ладонный подход используется реже, поскольку его сложнее выполнить. Его преимущество заключается в сохранении непрерывности механизмов разгибателей и сгибателей и симметричном растяжении коллатеральных связок [30–33].

Латеральный хирургический доступ — наименее распространенный подход, используемый для артропластики ПМФС. Разрез идет по средней линии на локтевой стороне пальца и изгибается дорсально на средней фаланге. После освобождения косых и поперечных волокон ретикулярных связок разгибательный аппарат приподнимается и может быть мобилизован латерально, при этом место прикрепления центральной накладке остается неповрежденным. Локтевой сосудисто-нервный пучок остается на ладонной стороне сустава. При классическом латеральном доступе локтевая коллатеральная связка должна быть полностью отделена таким образом, чтобы можно было открыть сустав с лучевой стороны. Лучше всего это сделать с помощью треугольного лоскута, который можно отогнуть проксимально. Имплантат можно установить, как описано ранее. Для закрытия необходимо повторно прикрепить локтевую коллатеральную связку таким образом, чтобы была возможна активная реабилитация. Локтевая сторона должна быть защищена наложением шины на срок до шести недель. G.I. Bain et al. описали модифицированный латеральный доступ, при котором коллатеральную связку расщепляют для установки имплантата и восстанавливают из стороны в сторону [34]. По крайней мере, теоретически опасность нестабильности уменьшается, и возможна ранняя неограниченная активная мобилизация.

Латеральный доступ используют реже, поскольку он обеспечивает ограниченное воздействие на суставы. Основным его недостатком является перерезание поперечной ретикулярной связки и одной из коллатеральных связок с риском боковой нестабильности. Некоторые авторы для решения этой проблемы выполняли восстановление связок с использованием чрескостных швов или анкеров [35, 36].

Отметим, что преимуществом дорсального доступа к ПМФС является улучшение визуализации суставной поверхности, тогда как недостатком можно считать нарушение центрального скольжения и разгибательного механизма, что требует обязательного восстановления разгибательного аппарата с последующей задержкой в диапазоне двигательных упражнений. Ладонный доступ к ПМФС может сохранить целостность сухожилия разгибателя, что позволяет осуществлять ранний диапазон движений в послеоперационном периоде.

Единое мнение о том, какой из доступов дает лучшие результаты лечения, отсутствует. G.V. Tranchida et al. в исследовании на примере 66 взрослых пациентов (88 пальцев), перенесших эндопротезирование ПМФС, сравнили среднее изменение объема движений, послеоперационный объем движений и частоту послеоперационных осложнений, а также изучили связь продолжительности иммобилизации и времени до начала реабилитации с послеоперационным объемом движений. В данном исследовании не было выявлено статистических различий в среднем послеоперационном диапазоне движений, частоте осложнений или ревизионных операциях между ладонным и дорсальным доступами для артропластики ПМФС [37].

Вдобавок не стоит забывать, что ладонный доступ более травматичен и сложен в применении и требует от хирурга больших знаний и времени в выполнении.

Следовательно, оптимальным является дорсальный доступ, так как он наиболее прост в выполнении, однако требует адекватного восстановления разгибательного аппарата пальца, прочной фиксации и ранней реабилитации. Именно поэтому данный доступ используют чаще.

Выбор имплантата

Помимо анатомических особенностей ПМФС и обусловленных ими трудностей выбора хирургического доступа, важной проблемой остается выбор имплантата, который должен обладать идентичной здоровому суставу морфологией суставных поверхностей, максимальной мобильностью, идентичной стабильностью и устойчивостью, наряду с небольшой потерей костной массы во время имплантации.

Кроме того, стабильная и надежная фиксация и скользящая пара без истирания — свойства, которыми также должен обладать идеальный искусственный сустав. Пути реализации всех этих возможностей эндопротеза до сих пор до конца не найдены, и не только для сустава пальца. Что касается описанной выше анатомии, можно сделать следующие наблюдения относительно имеющихся в настоящее время эндопротезов суставов пальцев. Ни одна из существующих в настоящее время модификаций имплантатов не соответствует морфологии естественного сустава пальца. Однако, анализируя литературу, можно проследить определенную тенденцию перехода к модульным компонентам и менее связанным конструкциям. Несмотря на дальнейшее развитие материалов и конструкции, силиконовый протез, разработанный А.В. Swanson в начале 1960-х годов, остается наиболее часто имплантируемым искусственным суставом в ПМФС пальцев кисти [23]. Это не настоящий протез, а скорее гибкий заполнитель, который инкапсулирован соединительной тканью и скользит вперед и назад по костномозговому каналу. А.В. Swanson (1994) придерживался мнения, что свободное скольжение силиконового заполнителя необходимо для хорошей подвижности сустава, а также положительно влияет на его долговечность. Способность скользить позволяет уменьшить силы, действующие на кость. Автор описал это скольжение: при сгибании пальца силиконовый заполнитель в костномозговом канале скользит дистально, а при разгибании — проксимально, как «поршневой эффект» [23, 38]. Боковая устойчивость остается проблемой, особенно в отношении указательного и среднего пальцев, где стабильность важна для защемления [39, 40, 41]. Поэтому некоторые авторы по-прежнему рекомендуют артродез указательного пальца [42]. По сравнению с протезами из металла, керамики или пироуглерода, имплантаты-заполнители из силикона значительно дешевле. Несмотря на хорошие отдаленные результаты, их недостатками являются отсутствие стабильности, переломы имплантатов и фрагментация силикона, которые неоднократно наблюдают с течением времени. По данным современной литературы, имплантаты из силикона не уступают более новым имплантатам, а осложнения хорошо известны. Поэтому для улучшения результатов следует переместить акцент на оперативный подход [31, 43]. Новейшее поколение суставных имплантатов ПМФС основано на принципах замены поверхности с использованием двухкомпонентной концепции [44–49].

Проксимальный компонент заменяет двухмышечковую головку проксимальной фаланги, а дистальный компонент имеет своего рода чашку, которая сочленяется с головкой. Большинство этих имплантатов не представляет собой настоящей концепции восстановления поверхности, поскольку необходимо резецировать значительный объем кости, а для обеспечения адекватной фиксации необходимы длинные ножки для обоих компонентов. Доступно несколько комбинаций материалов: от классического «хром – кобальт – полиэтилен» до «керамики – керамики» и «пироуглерода – пироуглерода».

Имплантаты из пиролитического углерода с минимальными ограничениями использовали в качестве альтернативы силиконовому эндопротезированию. H.G. Tuttle et al. сообщили в общей сложности о 15 послеоперационных осложнениях, наиболее частым из которых был заметный скрип в суставе [50]. У 50 % пациентов в этой серии наблюдали неполное облегчение боли. Только два сустава показали рентгенологические признаки расшатывания. R.M. Nunley et al. показали недостаточное облегчение боли и отсутствие улучшения объема движений у пациентов после установки эндопротезов из пиролитического углерода по поводу посттравматического артрита ПМФС [51]. Хотя пироуглерод обладает превосходной биосовместимостью и идеальными характеристиками скольжения, описаны проблемы, связанные с трудностями при остеоинтеграции и скрипом в суставах. Выживаемость имплантатов из пиролитического углерода составила 85 % (83 из 97) в течение пяти лет наблюдения с высокой удовлетворенностью пациентов. Пациентов следует информировать о том, что данная процедура обеспечивает хорошее облегчение боли, но не увеличивает диапазон движений [52].

В своем исследовании V.J.W. Notermans et al. сделали вывод, что ригидность и отставание разгибателей были наиболее частыми послеоперационными осложнениями [53]. Также многие авторы наиболее частым осложнением называют ригидность [52, 54, 55]. В обзоре 76 повторных артропластик ПМФС T. Pritsch et al. обнаружили, что дисфункция разгибателей была наиболее частым (67 %) показанием к повторной операции [56].

В целом новое поколение имплантатов ПМФС, основанное на концепции шлифовки, казалось логичным развитием артропластики ПМФС, но большинство из них еще не выдержало испытания временем, и для большинства имплантатов не хватает реальных долгосрочных серий наблюдения выживаемости конструкции [11].

Колоссальные успехи применения пары трения «керамика – керамика» в хирургии крупных суставов сподвигло клиницистов к более широкому применению данной пары трения в хирургии мелких суставов [3, 57–59]. За время использования керамики в эндопротезировании тазобедренного сустава исследователи по достоинству оценили высоко конкурентные качества данного материала: износостойкость, биоинертность и биосовместимость. Имплантаты из керамики с гидроксипатитным по-

крытием показали воодушевляющую комбинацию оптимальной трибологической пары и остеоинтеграции одновременно, что значительно стимулирует интерес к изучению данного материала [60].

Определенные успехи в эндопротезировании ПМФС представили в своем независимом исследовании М.И. Мурадов с соавт. и П.В. Федотов с соавт. на примере анализа результатов эндопротезирования. Авторы отмечают стойкое увеличение объема движений и высокий процент удовлетворенности пациентов — 82 % [3, 61].

Хотя результаты в отношении расшатывания эндопротеза и боли в последние годы улучшились, некоторые проблемы остаются нерешенными. Морфология суставов, малые размеры костей, сложная биомеханика и нагрузка на кисть представляют собой особую проблему при эндопротезировании ПМФС. До сих пор не удается восстановить полный объем движений в данном суставе, несмотря на успехи коллег в эндопротезировании крупных суставов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ литературы показал, что выбор имплантата и хирургической тактики — наиболее частые проблемы при эндопротезировании ПМФС, требующие решения и дальнейшего изучения. Правильное понимание различных хирургических подходов, их показаний, техники и недостатков поможет оптимизировать результаты лечения пациентов. Комфортность каждого подхода поможет хирургу свести к минимуму осложнения, улучшить функцию и индивидуализировать лечение первичного или вторичного артрита ПМФС.

Имплатируя эндопротезы ПМФС, которые выпускают в различных исполнениях, можно надежно устранить боль, сохраняя при этом определенную степень подвижности. Однако пациент должен быть проинформирован об ограниченной механической прочности и сроке службы установленных конструкций. Следует наладить взаимоотношения с пациентом, так как без его адекватного желания и работы достигнуть хорошего результата невозможно, несмотря на отличную хирургическую технику и выбор оптимального имплантата.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Не заявлен.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Faulkner H, An V, Lawson RD, Graham DJ, Sivakumar BS. Proximal Interphalangeal Joint Arthrodesis Techniques: A Systematic Review. *Hand (N Y)*. 2023;18(1):74-79. doi: 10.1177/1558944721998019
2. Wilder FV, Barrett JP, Farina EJ. Joint-specific prevalence of osteoarthritis of the hand. *Osteoarthritis Cartilage*. 2006;14(9):953-7. doi: 10.1016/j.joca.2006.04.013
3. Мурадов М.И., Байтингер В.Ф., Камолов Ф.Ф. и др. Оценка отдаленных результатов эндопротезирования суставов пальцев кисти. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии*. 2016;(1):33-41. doi: 10.17223/1814147/56/5
4. Jonsson H. Age related prevalence of hand osteoarthritis diagnosed by photography (HOAScore). *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):508. doi: 10.1186/s12891-017-1870-0
5. Николаенко А.Н., Иванов В.В., Згирский Д.О. и др. Эндопротезирование проксимального межфалангового сустава. Обзор литературы. *Medline.ru*. 2022;23:748-766.
6. Srnec JJ, Wagner ER, Rizzo M. Implant Arthroplasty for Proximal Interphalangeal, Metacarpophalangeal, and Trapeziometacarpal Joint Degeneration. *J Hand Surg Am*. 2017;42(10):817-825. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.07.030
7. Forte A, Murray P. Osteoarthritis and prosthetic joints in the hand.. In: Farhadieh RD, Bulstrode NW, Mehrara BJ, Cugno S. (eds). *Plastic Surgery - Principles and Practice*. Elsevier Publ.; 2022:896-905. doi: 10.1016/B978-0-323-65381-7.00057-5
8. Yamamoto M, Malay S, Fujihara Y, et al. A Systematic Review of Different Implants and Approaches for Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty. *Plast Reconstr Surg*. 2017;139(5):1139e-1151e. doi: 10.1097/PRS.0000000000003260
9. Kamnerdnakta S, Huetteman HE, Chung KC. Complications of Proximal Interphalangeal Joint Injuries: Prevention and Treatment. *Hand Clin*. 2018;34(2):267-288. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.014
10. Hensler S, Behm P, Wehrli M, et al. Lateral stability in healthy proximal interphalangeal joints versus surface replacement and silicone arthroplasty: Results of a three-dimensional motion analysis study. *Hand Surg Rehabil*. 2020;39(4):296-301. doi: 10.1016/j.hansur.2020.02.013
11. Herren D. The proximal interphalangeal joint: arthritis and deformity. *EFORT Open Rev*. 2019;4(6):254-262. doi: 10.1302/2058-5241.4.180042
12. Mercer D, Imada AO. Arthrodesis and arthroplasty of the small joints. *Oper Tech Orthop*. 2020;30(4):100832. doi: 10.1016/j.oto.2020.100832
13. Vitale MA, Fruth KM, Rizzo M, et al. Prosthetic Arthroplasty Versus Arthrodesis for Osteoarthritis and Posttraumatic Arthritis of the Index Finger Proximal Interphalangeal Joint. *J Hand Surg Am*. 2015;40(10):1937-1948. doi: 10.1016/j.jhsa.2015.05.021
14. Richards T, Ingham L, Russell I, Newington D. The Long-term Results of Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty of the Osteoarthritic Index Finger. *Hand (N Y)*. 2022;17(2):266-270. doi: 10.1177/1558944720921468
15. Pang EQ, Yao J. Anatomy and Biomechanics of the Finger Proximal Interphalangeal Joint. *Hand Clin*. 2018;34(2):121-126. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.002

16. Leibovic SJ, Bowers WH. Anatomy of the proximal interphalangeal joint. *Hand Clin.* 1994;10(2):169-178.
17. Millrose M, Vonderlind HC, Thannheimer A, et al. Arthrodesis of the Proximal Interphalangeal Joint of the Finger-A Biomechanical Study of Primary Stability. *J Pers Med.* 2023;13(3):465. doi: 10.3390/jpm13030465
18. Hohendorff B, Spies CK, Unglaub F, et al. Anatomy of the metacarpophalangeal and proximal interphalangeal finger joint with respect to arthroplasty. *Orthopade.* 2019;48(5):368-377. (In German) doi: 10.1007/s00132-019-03716-7
19. Le Glédic B, Hidalgo Diaz JJ, Vernet P, et al. Comparison of proximal interphalangeal arthroplasty outcomes with Swanson implant performed by volar versus dorsal approach. *Hand Surg Rehabil.* 2018;37(2):104-109. doi: 10.1016/j.hansur.2017.11.008
20. Zhu AF, Rahgozar P, Chung KC. Advances in Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty: Biomechanics and Biomaterials. *Hand Clin.* 2018;34(2):185-194. doi: 10.1016/j.hcl.2017.12.008
21. Natera L, Moya-Gómez E, Lamas-Gómez C, et al. Proximal interphalangeal joint replacement: A comparison between the volar and dorsal approach. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol.* 2014;58(5):303-8. (In Span) doi: 10.1016/j.recot.2014.04.003
22. Renfree KJ. Surgical approaches for proximal interphalangeal joint arthroplasty. *Bone Joint J.* 2022;104-B(12):1329-1333. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.104B12.BJJ-2022-0946>.
23. Swanson AB, de Groot Swanson G. Flexible implant resection arthroplasty of the proximal interphalangeal joint. *Hand Clin.* 1994;10(2):261-266.
24. Chamay A. A distally based dorsal and triangular tendinous flap for direct access to the proximal interphalangeal joint. *Ann Chir Main.* 1988;7(2):179-183. doi: 10.1016/s0753-9053(88)80061-9
25. Bodmer E, Marks M, Hensler S, et al. Comparison of outcomes of three surgical approaches for proximal interphalangeal joint arthroplasty using a surface-replacing implant. *J Hand Surg Eur Vol.* 2020;45(6):608-614. doi: 10.1177/1753193419891382. Epub 2019 Dec 9
26. Wei DH, Strauch RJ. Dorsal surgical approaches to the proximal interphalangeal joint: a comparative anatomic study. *J Hand Surg Am.* 2014;39(6):1082-1087. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.02.004
27. Bickel KD. The dorsal approach to silicone implant arthroplasty of the proximal interphalangeal joint. *J Hand Surg Am.* 2007;32(6):909-913. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.04.013
28. Herren DB, Simmen BR. Palmar approach in flexible implant arthroplasty of the proximal interphalangeal joint. *Clin Orthop Relat Res.* 2000;(371):131-135. doi: 10.1097/00003086-200002000-00016
29. Shirakawa K, Shiota M. Surface replacement arthroplasty using a volar approach for osteoarthritis of proximal interphalangeal joint: results after a minimum 5-year follow-up. *Hand (N Y).* 2020;15(1):81-86. doi: 10.1177/1558944718787332
30. Bouacida S, Lazerges C, Coulet B, Chammas M. Proximal interphalangeal joint arthroplasty with Neuflex® implants: relevance of the volar approach and early rehabilitation. *Chir Main.* 2014;33(5):350-355. doi: 10.1016/j.main.2014.07.004
31. Lautenbach M, Kim S, Berndsen M, Eisenschenk A. The palmar approach for PIP-arthroplasty according to Simmen: results after 8 years follow-up. *J Orthop Sci.* 2014;19(5):722-728. doi: 10.1007/s00776-014-0605-4
32. Stoecklein HH, Garg R, Wolfe SW. Surface replacement arthroplasty of the proximal interphalangeal joint using a volar approach: case series. *J Hand Surg Am.* 2011;36(6):1015-1021. doi: 10.1016/j.jhsa.2011.03.003
33. Proubasta IR, Lamas CG, Natera L, Millan A. Silicone proximal interphalangeal joint arthroplasty for primary osteoarthritis using a volar approach. *J Hand Surg Am.* 2014;39(6):1075-1081. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.03.033
34. Bain GI, McGuire DT, McGrath AM. A Simplified Lateral Hinge Approach to the Proximal Interphalangeal Joint. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2015;19(3):129-132. doi: 10.1097/BTH.0000000000000094
35. Merle M, Villani F, Lallemand B, et al. Proximal interphalangeal joint arthroplasty with silicone implants (NeuFlex) by a lateral approach: a series of 51 cases. *J Hand Surg Eur Vol.* 2012;37(1):50-55. doi: 10.1177/1753193411413851
36. Segalman KA. Lateral approach to proximal interphalangeal joint implant arthroplasty. *J Hand Surg Am.* 2007;32(6):905-908. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.04.011
37. Tranchida GV, Allen ST, Moen SM, et al. Comparison of volar and dorsal approach for PIP arthroplasty. *Hand (N Y).* 2021;16(3):348-353. doi: 10.1177/1558944719861718
38. Srncic JJ, Wagner ER, Rizzo M. Implant Arthroplasty for Proximal Interphalangeal, Metacarpophalangeal, and Trapeziometacarpal Joint Degeneration. *J Hand Surg Am.* 2017;42(10):817-825. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.07.030
39. Amirtharajah M, Fufa D, Lightdale N, Weiland A. Conical, radiographic, and patient-reported results of surface replacing proximal interphalangeal joint arthroplasty of the hand. *Iowa Orthop J.* 2011;31:140-144.
40. Helder O, Marks M, Schweizer A, et al. Complications after surface replacing and silicone PIP arthroplasty: an analysis of 703 implants. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2021;141(1):173-181. doi: 10.1007/s00402-020-03663-5
41. Weistra K, Kan HJ, van Alebeek VAHJ, Ritt MJPF. Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty Using a Silicone Implant: A Comparison Between Integra and NeuFlex in 72 Cases. *Hand (N Y).* 2024;19(2):236-240. doi: 10.1177/15589447221122829
42. Sweets TM, Stern PJ. Proximal interphalangeal joint prosthetic arthroplasty. *J Hand Surg Am.* 2010;35(7):1190-1193. doi: 10.1016/j.jhsa.2010.04.005
43. Forster N, Schindele S, Audigé L, Marks M. Complications, reoperations and revisions after proximal interphalangeal joint arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43(10):1066-1075. doi: 10.1177/1753193418770606
44. Schindele SF, Hensler S, Audigé L, et al. A modular surface gliding implant (CapFlex-PIP) for proximal interphalangeal joint osteoarthritis: a prospective case series. *J Hand Surg Am.* 2015;40(2):334-340. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.10.047
45. Athlani L, Gaisne E, Bellemère P. Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint with the TACTYS® prosthesis: Preliminary results after a minimum follow-up of 2 years. *Hand Surg Rehabil.* 2016;35(3):168-178. doi: 10.1016/j.hansur.2015.12.013
46. Jennings CD, Livingstone DP. Surface replacement arthroplasty of the proximal interphalangeal joint using the SR PIP implant: long-term results. *J Hand Surg Am.* 2015;40(3):469-473.e6. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2014.11.015>.
47. Griffart A, Agneray H, Loubersac T, et al. Arthroplasty of the proximal interphalangeal joint with the Tactys® modular prosthesis: Results in case of index finger and clinodactyly. *Hand Surg Rehabil.* 2019;38(3):179-185. doi: 10.1016/j.hansur.2019.03.001

48. Regas I, Pluvy I, Leroy M, et al. Arthroplasty for destroyed proximal interphalangeal joint in hand trauma surgery: Silicone hinged NeuFlex® or gliding Tactys®? *Hand Surg Rehabil.* 2022;41(6):681-687. doi: 10.1016/j.hansur.2022.09.006
49. Wagner ER, Weston JT, Houdek MT, et al. Medium-Term Outcomes With Pyrocarbon Proximal Interphalangeal Arthroplasty: A Study of 170 Consecutive Arthroplasties. *J Hand Surg Am.* 2018;43(9):797-805. doi: 10.1016/j.jhssa.2018.06.020
50. Tuttle HG, Stern PJ. Pyrolytic carbon proximal interphalangeal joint resurfacing arthroplasty. *J Hand Surg Am.* 2006;31(6):930-939. doi: 10.1016/j.jhssa.2006.02.018
51. Nunley RM, Boyer MI, Goldfarb CA. Pyrolytic carbon arthroplasty for posttraumatic arthritis of the proximal interphalangeal joint. *J Hand Surg Am.* 2006;31(9):1468-1474. doi: 10.1016/j.jhssa.2006.07.017
52. Watts AC, Hearnden AJ, Trail IA, et al. Pyrocarbon proximal interphalangeal joint arthroplasty: minimum two-year follow-up. *J Hand Surg Am.* 2012;37(5):882-888. doi: 10.1016/j.jhssa.2012.02.012
53. Notermans BJW, Lans J, Ponton RP, et al. Factors Associated with Reoperation after Pyrocarbon Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty for the Arthritic Joint: A Retrospective Cohort Study. *J Hand Microsurg.* 2021;13(3):132-137. doi: 10.1055/s-0040-1709088
54. Dickson DR, Nuttall D, Watts AC, et al. Pyrocarbon Proximal Interphalangeal Joint Arthroplasty: Minimum Five-Year Follow-Up. *J Hand Surg Am.* 2015;40(11):2142-2148.e4. doi: 10.1016/j.jhssa.2015.08.009
55. Desai A, Gould FJ, Mackay DC. Outcome of pyrocarbon proximal interphalangeal joint replacement. *Hand Surg.* 2014;19(1):77-83. doi: 10.1142/S0218810414500130
56. Pritsch T, Rizzo M. Reoperations following proximal interphalangeal joint nonconstrained arthroplasties. *J Hand Surg Am.* 2011;36(9):1460-1466. doi: 10.1016/j.jhssa.2011.06.002
57. Федотов П.В., Ковалев Д.В., Михайлов А.С. Гемизендопротезирование плюснефаланговых суставов при остеохондропатии головки плюсневой кости (болезнь Фрайберга-Келлера II). *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2022;(4):52-56. doi: 10.17238/2226-2016-2022-4-52-56
58. Фроленков А.В., Ульянов В.Ю., Горякин М.В. Опыт тотального эндопротезирования первого плюснефалангового сустава. *Саратовский научно-медицинский журнал.* 2019;15(3):633-636.
59. Александров Т.И., Прохоренко В.М., Чорний С.И. Эндопротезирование лучезапястного сустава: обзор литературы и анализ собственных наблюдений. *Современные проблемы науки и образования.* 2017;(4). URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=26607> (дата обращения: 27.08.2024).
60. Волокитина Е.А., Антропова И.П., Тимофеев К.А., Труфаненко Р.А. Современное состояние и перспективы использования имплантатов из циркониевых керамических материалов в травматологии и ортопедии. *Гений ортопедии.* 2024;30(1):114-123. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-1-114-123. EDN: OBNLBM.
61. Федотов П.В., Ковалев Д.В., Рыбаков С.Н. Оценка отдаленных результатов эндопротезирования проксимального межфалангового сустава кисти. *Гений ортопедии.* 2024;30(2):191-199. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-2-191-199. EDN: NZXUGJ.

Статья поступила 27.04.2024; одобрена после рецензирования 20.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 27.04.2024; approved after reviewing 20.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Павел Владимирович Федотов — врач травматолог-ортопед, mr_vulfgar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2833-235X>;

Дмитрий Васильевич Ковалев — заведующий отделением, врач травматолог-ортопед, kovalev@orthoscheb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4011-6409>;

Анатолий Сергеевич Михайлов — врач травматолог-ортопед, polik_travm@orthoscheb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0533-0570>.

Information about the authors:

Pavel V. Fedotov — orthopaedic surgeon, mr_vulfgar@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-2833-235X>;

Dmitry V. Kovalev — Head of the Department, orthopaedic surgeon, kovalev@orthoscheb.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4011-6409>;

Anatoly S. Mikhailov — orthopaedic surgeon, polik_travm@orthoscheb.ru, <https://orcid.org/0000-0003-0533-0570>.

Обзорная статья

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765>

УДК 616.72-022.1-089.843:615.33



Оптимизация ревизионной артропластики: роль индивидуальных артикулирующих спейсеров

Б.Ш. Минасов, Р.Р. Якупов, В.Н. Акбашев✉, А.Р. Билялов, Т.Б. Минасов, М.М. Валеев,
Т.Р. Мавлютов, К.К. Каримов, А.Р. Бердин

Башкирский государственный медицинский университет, Уфа, Россия

Автор, ответственный за переписку: Владислав Николаевич Акбашев, Vlad-akb@mail.ru

Аннотация

Введение. Современная медицина стремится к постоянному совершенствованию хирургических методов и технологий для достижения максимально эффективных результатов лечения. Одной из ключевых областей современной ортопедической практики и неотъемлемой частью лечения пациентов с осложнениями после первичного эндопротезирования является ревизионная артропластика. Наиболее значимыми при ревизионной артропластике считают первый этап, который заключается в удалении предыдущего имплантата и установке спейсера с антибиотиком, основная функция которого — заполнение «пустого пространства», локальное выделение антибиотика и обеспечение механической стабильности, что способствует сохранению костной ткани для установки ревизионного эндопротеза на окончательном этапе ревизии. В последние десятилетия артикулирующие индивидуальные спейсеры стали объектом повышенного внимания, представляя собой перспективное средство для оптимизации первого этапа ревизионной артропластики.

Цель работы — обобщить современные данные и представить комплексную информацию о спейсерах, используемых при двухэтапном ревизионном протезировании, включая методы их изготовления, физико-химические свойства, клиническое применение и возможности индивидуализации в рамках первого этапа ревизионной артропластики, а также текущие и перспективные направления в их развитии.

Материалы и методы. Поиск литературы за период 2018–2023 гг. проведен в электронных базах PubMed, eLibrary, Cochrane Library по поисковым словам и словосочетаниям: тотальное эндопротезирование, осложнения, ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция, аддитивное производство, 3D-печать, total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articular spacer, joint spacer, periprosthetic infection, additive manufacturing, 3D printing.

Результаты. Проведенный сравнительный анализ использования фабричных, самодельных, динамических и статических моделей спейсеров показывает, что выбор для ревизионной артропластики крупных суставов артикулирующих спейсеров является наиболее актуальным. Фабричные спейсеры обладают рядом преимуществ, таких как стандартизированный размерный ряд, надежность и доступность использования в медицинских учреждениях. Однако они имеют ограничения использования при наличии выраженных дефектов костной ткани.

Обсуждение. Применение индивидуальных спейсеров представляет собой перспективное направление, поскольку такие спейсеры могут быть адаптированы под уникальные особенности каждого пациента. Однако, несмотря на большие ожидания от индивидуальных спейсеров, остается актуальной задача разработки оптимальных технологий для их быстрого прототипирования. Инвестиции в исследования и разработки в этом направлении имеют потенциал создания инновационных решений, способных значительно улучшить результаты ревизионной артропластики.

Заключение. Статья подчеркивает важность систематизации знаний о спейсерах и роль новых исследований в улучшении их дизайна и функциональности. Прогресс в области материаловедения, аддитивных технологий и персонализированного подхода к изготовлению спейсеров расширяет возможности применения ревизионной артропластики и ее эффективность. Персонализированный подход и усовершенствованные методы локальной доставки лекарственных средств, обеспечивающие контролируемое высвобождение антибиотиков, могут значительно повысить результаты лечения перипротезной инфекции.

Ключевые слова: ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция

Для цитирования: Минасов Б.Ш., Якупов Р.Р., Акбашев В.Н., Билялов А.Р., Минасов Т.Б., Валеев М.М., Мавлютов Т.Р., Каримов К.К., Бердин А.Р. Оптимизация ревизионной артропластики: роль индивидуальных артикулирующих спейсеров. *Гений ортопедии*. 2024;30(5):753-765. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765. EDN: YGQXMO.

© Минасов Б.Ш., Якупов Р.Р., Акбашев В.Н., Билялов А.Р., Минасов Т.Б., Валеев М.М., Мавлютов Т.Р., Каримов К.К., Бердин А.Р., 2024



Optimizing revision arthroplasty: the role of customized articulating spacers

B.Sh. Minasov, R.R. Yakupov, V.N. Akbashev✉, A.R. Bilyalov, T.B. Minasov, M.M. Valeev, T.R. Mavlyutov, K.K. Karimov, A.R. Berdin

Bashkir State Medical University, Ufa, Russian Federation

Corresponding author: Vladislav N. Akbashev, Vlad-akb@mail.ru

Abstract

Introduction The advancement of surgery is set against a backdrop of continuous development and surgical innovations have transformed the way clinical care is delivered. Revision surgery might be required to address complications of primary arthroplasty. The first stage of revision arthroplasty would involve removal of an implant and placement of an antibiotic-impregnated cement spacer to maintain the joint space and stability, prevent soft tissue retraction, provide local antibiotic release and preserve bone tissue for revision implantation at the final stage of revision. Custom-made articulating spacers are a promising tool for optimizing the first stage of revision arthroplasty.

The **objective** was to summarize the current data and present comprehensive information about spacers used in two-stage revision arthroplasty including manufacturing techniques, physical and chemical properties, clinical applications, the possibility of customization within the first stage of revision arthroplasty, current and promising directions for research.

Material and methods The original literature search was conducted on key resources including Scientific Electronic Library (www.elibrary.ru), the National Library of Medicine (www.pubmed.org), the Cochrane Library (www.cochranelibrary.com) between 2018 and 2023 using search words and phrases: total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articulating spacer, periprosthetic joint infection, additive manufacturing, 3D printing.

Results A comparative analysis of factory supplied, home-made, dynamic and static spacer models showed that the choice of articulating spacers for revision arthroplasty of major joints is of great relevance. Advantages of factory-made spacers include standardized range of sizes, the reliability and availability for medical institutions. They are characterized by limited use in repair of severe bone defects.

Discussion Custom-made articulating spacers enable specific tailoring to accommodate individual defects. Despite high expectations from custom-made spacers, development of optimal technologies for rapid prototyping is essential. Investments in research and development in this area have the potential to create innovative solutions that can significantly improve the results of revision arthroplasty.

Conclusion The paper explores the importance of systemization of knowledge about spacers and the role of new research in improving the design and functionality. Progress in the field of materials science, additive technologies and a personalized approach to spacer manufacturing can expand possibilities of revision arthroplasty and the effectiveness. Personalized approaches and improved methods of local drug delivery that provide controlled release of antibiotics can improve the results of treatment of periprosthetic joint infections.

Keywords: revision arthroplasty, articulating spacer, periprosthetic joint infection

For citation: Minasov BSh, Yakupov RR, Akbashev VN, Bilyalov AR, Minasov TB, Valeev MM, Mavlyutov TR, Karimov KK, Berdin AR. Optimizing revision arthroplasty: the role of customized articulating spacers. *Genij Ortopedii*. 2024;30(5):753-765. doi: 10.18019/1028-4427-2024-30-5-753-765

ВВЕДЕНИЕ

Тотальное эндопротезирование является одним из самых успешных методов хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний крупных суставов, в том числе и остеоартроза (ОА), позволяя восстановить утраченную функцию и биомеханику сустава [1]. Однако пациенты, ранее перенесшие первичную артропластику (ПА), нуждаются в повторном хирургическом вмешательстве — ревизионной артропластике (РА) [2, 3].

Современная медицина активно развивает хирургические методики и технологии с целью достижения результатов максимально эффективного лечения. В области ортопедической хирургии ключевым направлением является ревизионная артропластика, которая становится все более значимой в контексте возрастающего числа осложнений после первичного эндопротезирования. Перипротезная инфекция входит в тройку лидеров осложнений после первичного эндопротезирования, на которую приходится от 1 до 15,3 % случаев, уступая место асептическому расшатыванию и вывиху эндопротеза [4]. Двухэтапное ревизионное эндопротезирование является «золотым стандартом» лечения перипротезной инфекции, которое было описано еще в 1983 г. J.N. Insall et al. [5, 6]. Первый этап заключается в удалении ранее установленного эндопротеза с установкой временного импланта, изготовленного из костного цемента с добавлением антибиотика-спейсера. На втором этапе удаляют спейсер и устанавливают ревизионный эндопротез. Одной из ключевых функций спейсера, помимо локальной доставки антибиотика, является поддержание механической стабильности сустава, обеспечение оптимального натяжения мышц и напряжения мягких тканей, что играет важную роль в конечном функциональном результате и лечении перипротезной инфекции [7]. В последние десятилетия особое внимание уделяется артикулирующим индивидуальным спейсерам как перспективному средству оптимизации первого этапа ревизионной артропластики. Спейсеры позволяют улучшить процесс хирургического вмешательства и повысить его эффективность по сравнению с одноэтапной методикой. Кроме того, применение персонализированного подхода в производстве артикулирующих спейсеров, основанного на индивидуальных биомеханических и реабилитационных характеристиках каждого пациента, обеспечивает высокую степень адаптации лечебного процесса. Это способствует значительному улучшению исходов хирургических вмешательств и ускоряет восстановление функциональности сустава, что является критически важным для оптимизации общеклинических результатов.

Цель работы — обобщить современные данные и представить информацию о спейсерах, используемых при двухэтапном ревизионном протезировании, рассмотреть методы их изготовления, физико-химические свойства и клиническое применение при первом этапе ревизионной артропластики.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Отбор литературы проведен в базах научных статей PubMed, eLibrary, Cochrane Library. Поиск осуществлен по ключевым словам: тотальное эндопротезирование, осложнения, ревизионная артропластика, артикулирующий спейсер, перипротезная инфекция, аддитивное производство, 3D-печать, total arthroplasty, complications, revision arthroplasty, articular spacer, joint spacer, periprosthetic infection, additive manufacturing, 3D printing. Из полученной выборки отобраны статьи, наиболее подходящие тематике исследования, содержащие актуальные, значимые идеи, предпочтение отдавалось работам 2017-2023 гг. включительно. Мы рассматривали публикации независимо от языка, на котором они были опубликованы, без ограничений по дизайну исследований.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эпидемиология

Наиболее частой причиной проведения РА после первичного эндопротезирования коленного сустава являются перипротезная инфекция (ППИ) (25,2–50,0 %) и нестабильность компонентов эндопротезов (16,1–36,5 %) [8]. В США в период с 1 октября 2005 г. по 31 декабря 2006 г. наиболее частой причиной РА были инфекционные осложнения со стороны имплантов — 25,2 %, механическое расшатывание — 16,1 %, при этом инфекция была наиболее частым показанием к артротомии и удалению эндопротеза (79,1 %) [9]. В России, по данным исследования 63 750 пациентов, перенесших тотальное эндопротезирование коленного сустава (ТЭП КС), 2 573 пациента (4 %) нуждались в ревизионной артропластике, в том числе 1 747 случаев ППИ. Авторы отмечают несостоятельность точных данных о числе инфицированных больных в отчете из-за ряда проблем с мониторингом больных, перенесших перипротезную инфекцию [2]. Данные об эпидемиологии перипротезной инфекции после эндопротезирования коленного сустава (ЭП КС) представлены в таблице 1. Согласно прогнозам, к 2030 г. количество РА тазобедренного сустава увеличится на 43–70 %, а коленного сустава — на 78–182 % [10].

Рассматривая эпидемиологию ППИ при эндопротезировании тазобедренного сустава, можно заметить корреляцию с коленным суставом. Так, в регистре Германии причиной РА являются перипротезные инфекции (23,5–35,1 %), а в Швеции наиболее распространенными причинами ревизии в период

2004–2021 гг. были асептическое расшатывание (49,2 %), инфекция (21,5 %), вывих (13,4 %) и перипротезный перелом (9,2 %) [11–13]. В России за 2019 г. число ревизионных артропластик тазобедренного и коленного суставов, обусловленных ППИ, составило 2,91 % [2]. Таким образом, перипротезная инфекция занимает одно из ведущих мест среди причин ревизионной артропластики.

Таблица 1

Эпидемиология ППИ при ТЭП КС в исследованиях разных авторов

Источники	Период исследования, гг.	Количество пациентов, чел.		
		перенесших ЭП КС	перенесших РЭП КС	инфицированных ППИ
The Swedish Arthroplasty Register [12]	2009–2018	127 060	4 669	1447
Levašič V. et al. [14]	2002–2018	10 698	870	109
Nham F.H. et al. [15]	2006 – третий квартал 2015	5 901 057	465 968	114 721
Середа А.П. с соавт. [2]	январь 2019 – декабрь 2019	63 750	2 573	1 747
Tarazi J.M. et al. [9]	01.10.2005 – 31.12.2006	–	60 436	15 233
Иванцов В.А. с соавт. [16]	2012–2016	483	–	39
Корнилов Н.Н. с соавт. [17]	2001–2016	373	28	4

Среди множества вариантов лечения ППИ лучшим считается ревизионная хирургия (ревизионная артропластика), которая делится на одно- и двухэтапную [18]. При одноэтапной операции инфицированный протез удаляют с последующим дебридментом мягких и костной тканей, санацией инфицированного очага и реимплантацией нового ревизионного эндопротеза [19]. В качестве альтернативы может быть использована двухэтапная РА. На первом этапе оперативного лечения производят удаление ранее установленного инфицированного эндопротеза и установку временного импланта, изготовленного из костного цемента с добавлением антибиотика-спейсера. Основная функция спейсера заключается в купировании инфекции, заполнении «вредного пространства», возникшего после удаления эндопротеза и костного дебридмента. Второй этап включает удаление спейсера и установку ревизионного эндопротеза. Отличительной особенностью данного метода является наличие «промежуточного этапа» между удалением и реимплантацией протеза, во время которого назначают этиотропную антибиотикотерапию в зависимости от интраоперационно культивированного патогена и его чувствительности к антибиотикам. Этот этап позволяет детально оценить эффективность антибактериального лечения и улучшить прогнозы исхода лечения за счет консервативной терапии [15, 16]. Несмотря на широкое признание двухэтапной РА «золотым стандартом» лечения протезной инфекции, стоит отметить высокие затраты, потенциальное увеличение рисков развития осложнений, смертности и продолжительности госпитализации пациента [20]. Современные исследования указывают на сопоставимую частоту развития рецидивов инфекции при одноэтапной и двухэтапной ревизиях тазобедренного и коленного суставов, что подчеркивает необходимость индивидуального подхода к выбору того или иного метода лечения [19–22].

Спейсеры коленного и тазобедренного сустава могут быть представлены в различных видах и формах, зависящих от способа изготовления и уровня артикуляции [16–18]. В зависимости от степени подвижности спейсеры классифицируют на артикулирующие (динамические) и статические (неподвижные) [23–25]. Не существует единого мнения о том, какие спейсеры, артикулирующие или статические, лучше использовать. Зарубежные авторы отмечают отсутствие существенной разницы в развитии рецидива инфекции, однако использование динамических спейсеров позволяет добиться лучших функциональных результатов после проведения второго этапа операции за счет наличия диапазона движений в суставе. Помимо этого они обеспечивают меньшую сложность реимплантации, возможность ранней реабилитации и сокращения продолжительности операции, в то время как при использовании статических спейсеров наблюдают меньший процент риска послеоперационной хронической инфицированности и развития болевого синдрома [24–31].

По способу изготовления спейсеры бывают преформированными и фабричными. Фабричные спейсеры производят медицинские компании для временной установки в область пораженного сустава [32]. Данный тип спейсеров обычно имеет определенную форму и размеры, соответствующие стандартным требованиям [33]. Несмотря на универсальность и доступность, у преформированных спейсеров есть как преимущества, так и недостатки. Преимущества включают стандартизацию и возможность их немедленного использования интраоперационно. К недостаткам можно отнести ограниченную адаптацию к уникальным особенностям каждого отдельного случая, что может потребовать дополнительных корректировок во время операции (табл. 2).

Таблица 2

Преимущества и недостатки фабричных спейсеров [32–34]

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> — Широкий выбор производителей — Большой опыт клинического применения — Не требует дополнительных этапов изготовления для использования во время операции — Известные механические свойства и трибологические характеристики 	<ul style="list-style-type: none"> — Ограниченная линейка размеров — Высокая стоимость — Короткий срок выделения антибиотика — Не могут быть использованы при различных дефектах костной ткани, выраженной нарушенной анатомии сустава — Высокий риск протрузии дна вертлужной впадины — Высокий риск вывихов — Нестабильная фиксация

В ряде случаев может потребоваться изготовление индивидуальных спейсеров, которые точно соответствуют нарушенной анатомии и особенностям пациента [35–37]. Данный вид спейсеров уменьшает риск вторичной деформации, обладает высоким показателем послеоперационной оценки состояния пациентов по шкале WOMAC, но характеризуется более высокой стоимостью [35–38].

В некоторых случаях спейсеры могут быть изготовлены вручную хирургом во время операции [39]. Анализ K. David et al. показал значительно более высокую частоту переломов спейсеров, изготовленных хирургом, по сравнению с преформированными спейсерами. Автор отмечает, что спейсеры, изготовленные хирургами, имеют тенденцию к более «агрессивному» разрушению, чем фабричные. Это может быть связано со способом смешивания и доставкой цемента при подготовке и установке спейсера, а также с нарушением конгруэнтности между суставными поверхностями. Кроме того, сочетание высокодозного смешивания антибиотиков приводит к уменьшению механической прочности спейсера. Помимо этого, более высокая частота переломов может объясняться отсутствием армирования различными металлоконструкциями [40].

Можно разработать уникальный метод изготовления и конструкции спейсера, который сочетает стандартные техники с индивидуально подобранными элементами из металлических сплавов, силикона, полиэтилена и других материалов (персонализированные пресс-формы). Применение данной комбинированной технологии не только придаёт спейсеру необходимую форму и усиливает его механические свойства, но также улучшает фиксацию, обеспечивая надёжное соединение с костными структурами. Это увеличивает функциональность спейсера и снижает риск интра- и послеоперационных осложнений [35, 39].

Последние научные достижения в области медицины привели к развитию технологии 3D-печати и неуклонному росту ее применения в ортопедии [41]. Данные технологии позволяют создавать индивидуальные спейсеры с использованием точных моделей анатомии пациента [42–44]. Аддитивные технологии применяют для изготовления артикулирующих спейсеров коленного или тазобедренного сустава, они представляют собой инновационное направление в области медицинской имплантации [41, 44]. Каждый метод имеет свои преимущества и недостатки (табл. 3), и их выбор должен быть основан на клинических и индивидуальных факторах [41–44].

Таблица 3

Преимущества и недостатки аддитивных технологий в изготовлении спейсеров [41–44]

Преимущества	Недостатки
<ul style="list-style-type: none"> — Изготовление спейсера любой формы, размера и структуры — Возможность топологической оптимизации — Изготовление с учетом нарушенной анатомии костных структур и конгруэнтности сустава, что недоступно для фабричных спейсеров — Быстрое прототипирование — Более стабильная фиксация за счет анатомического изготовления, армирования и меньшей цементной мантии 	<ul style="list-style-type: none"> — Длительный процесс изготовления — Необходимость в специализированном оборудовании и материалах для изготовления индивидуальных спейсеров — Ограниченный выбор материалов

Важно отметить, что выбор метода изготовления спейсеров коленного и тазобедренного сустава зависит от конкретной ситуации, требований пациента, доступных ресурсов и предпочтений хирурга, главное — обеспечение стабильности и функциональности сустава.

Армирование представляет собой внедрение укрепляющих конструкций внутрь спейсера для улучшения его механической прочности и повышения стабильности фиксации, помимо этого, оно может повысить его стойкость к износу и деформации, что способствует более длительному сроку службы. Особенно важно

учитывать, что спейсер должен прослужить до момента проведения II этапа РА [13, 45]. Также армирование позволяет создавать спейсеры с более сложными формами и структурами, которые точно соответствуют анатомии пациента. Но, несмотря на положительные стороны, у армирования имеется и ряд недостатков, например, более высокая стоимость, связанная с использованием дополнительных материалов, и увеличение времени и этапов изготовления спейсера. При этом некорректное армирование или неправильный выбор материалов могут привести к развитию осложнений, таких как повреждение самого спейсера, или развитию перелома вследствие неправильного распределения нагрузки на кость [46]. Все это указывает на необходимость дополнительной разработки технологии или методики правильного позиционирования армирующих конструкций относительно спейсера. Некоторые типы спейсеров тазобедренного и коленного сустава, виды и частота механических осложнений представлены в таблице 4.

Таблица 4

Типы изготовления спейсеров и связанные с ними осложнения

Вид армирования	Тип изготовления	Особенности строения	Кол-во спейсеров	Результаты	Источник
Стержень Steinmann	Стандартная пресс-форма	Спейсер представляет собой бедренный компонент эндопротеза, который изготавливают с использованием металлической пресс-формы с дополнительным армированием стержнем steinmann	26	У 1 пациента (3,8 %) наблюдался вывих спейсера и у 2 (7,7 %) — перелом спейсера	[47]
Авторы не указывают вид армирования	Стандартная пресс-форма	Пресс-форма состоит из полиоксиметилена	88	Вывих спейсера — $n = 15$ (17 %), перелом спейсера — $n = 9$ (10,2 %), перелом бедра — $n = 12$ (13,6 %)	[48]
Стержень Steinmann	Стандартная пресс-форма	Спейсер представляет собой монополярный бедренный компонент, изготовленный из металлической пресс-формы с покрытием	138	Перелом спейсера — $n = 12$ (8,7 %), вывих спейсера — $n = 12$ (8,7 %), перипротезный перелом бедра — $n = 1$ (0,7 %), протрузии дна вертлужной впадины — $n = 1$ (0,7 %)	[49]
Спицы Киршнера	Индивидуальная пресс-форма	Спейсер изготовлен с использованием индивидуальной пресс-формы, которая была получена с использованием аддитивных технологий и компьютерного моделирования	1	Авторы заявляют о поломке спейсера, которая была связан с травмой (падением)	[38]
Спица Киршнера	Пресс-форма	Спицу Киршнера диаметром 5 мм изгибали под углом 130° и заливали цементом с использованием силиконовой формы	41	Перелом спейсера — $n = 2$ (4,8 %), вывих спейсера — $n = 3$ (7,3 %), перипротезный перелом — $n = 1$ (2,4 %)	[50]
—	Фабричный	Использовали фабричные простерилизованные компоненты эндопротезов	21	Перелом спейсера — $n = 0$, вывих спейсера — $n = 1$ (4,7 %), перипротезный перелом — $n = 1$ (4,7 %)	[50]
Стержень Steinmann	Пресс-форма	Цементные артикулирующие спейсеры с ванкомицином и двумя стержнями Steinmann были изготовлены с помощью самодельной пресс-формы	266	Перелом спейсера — $n = 28$ (10,5 %), вывих спейсера — $n = 10$ (3,8 %)	[51]
Компоненты эндопротеза	Ручной	Нанесение цемента с добавлением 4,8 г тобрамицина и/или 4,0 г ванкомицина на внутреннюю поверхность полиэтиленового вкладыша вертлужного или большеберцового компонента эндопротеза	54	Авторы не отмечают наличия осложнений	[52]
—	Пресс-форма	Артикулирующий спейсер коленного сустава выполнен из 2 компонентов: бедренного и большеберцового, изготовленных из пресс-формы	32	Перипротезный перелом плато большеберцовой кости — $n = 1$ (3,125 %), вывих надколенника — $n = 1$ (3,125 %)	[53]
—	Пресс-форма	Спейсер состоит из бедренного и большеберцового компонентов, изготовленных из парафиновой пресс-формы по типу CR	66	Нестабильность спейсера — $n = 3$ (4,5 %), перелом спейсера — $n = 2$ (3 %), перипротезный перелом — $n = 1$ (1,5 %), вывихи — $n = 20$ (30 %),	[54]

Таблица 4 (продолжение)

Типы изготовления спейсеров и связанные с ними осложнения

Вид армирования	Тип изготовления	Особенности строения	Кол-во спейсеров	Результаты	Источник
–	Пресс-форма	Спейсер состоит из бедренного и большеберцового компонентов, изготовленных из парафиновой пресс-формы по типу PS	75	Нестабильность спейсера – $n = 1$ (1,3 %), перелом спейсера – $n = 2$ (2,6 %), перипротезный перелом – $n = 1$ (1,3 %), вывихи – $n = 1$ (1,3 %)	[54]
Металлический стержень	Фабричный спейсер	Спейсер изготавливается из акрилового цемента, пропитанного гентамицином, и представляет собой бедренный компонент, армированный металлическим стержнем	23	Вывих спейсера – $n = 2$ (8,3 %)	[55]
К-спица	Пресс-форма	Спейсер представляет собой монополярный бедренный компонент, изготовленный с использованием силиконовой формы и армированный К-спицей диаметром 5 мм, изогнутой под угол 130°	13	Перелом спейсера – $n = 5$ (38,46 %), вывих спейсера – $n = 3$ (23,08 %), перипротезные переломы – $n = 1$ (7,69 %), частичная или полная протрузия дна вертлужной впадины – $n = 3$ (23,08 %)	[56]
Бедренный компонент эндопротеза	Пресс-форма	Спейсер изготавливался с помощью силиконовой пресс-формы, но в качестве армирования использовался полноценный бедренный компонент без головки	10	Вывих спейсера – $n = 3$ (30 %), частичная или полная протрузия дна вертлужной впадины – $n = 3$ (30 %)	
Бедренный компонент эндопротеза и полиэтиленовый вертлужный компонент	Ручной метод	На бедренный и вертлужный компоненты наносили цемент с антибиотиком	13	Вывих спейсера – $n = 1$ (7,69 %), перипротезный перелом – $n = 1$ (7,69 %)	

Армирование спейсеров позволяет улучшить механические свойства, особенно в сегментах с высокой осевой нагрузкой. Однако неправильный выбор позиционирования, центрации, а также типа и формы армирующей конструкции может привести к увеличению нагрузки на элементы спейсера или на кость, что, в свою очередь, увеличивает риск осложнений, которые могут включать в себя вывихи (частота встречаемости для тазобедренного сустава – 4,86–16,4 %) [57–59]), перипротезные переломы (для спейсера тазобедренного сустава – 1–3 %), поломку самого спейсера – 3,0–5,9 % [60, 61]. Что касается спейсеров коленного сустава, то частота медиолатеральных вывихов и перипротезных переломов варьирует в пределах 9,1–12,0 % [62, 63]. Важно отметить, что частота осложнений может зависеть не только от вида и типа армирующей конструкции, но и от технологии изготовления и вида спейсера, будь-то фабричный или самодельный. A. Sambri et al. в систематическом обзоре сравнили осложнения при использовании спейсеров различных типов изготовления. Всего было проанализировано 1659 спейсеров, из которых 798 были фабричными, 301 преформированным (изготовлены из пресс-форм) и 560 спейсеров изготовлены ручным способом. Так, наибольшее количество механических осложнений наблюдали в группе преформированных спейсеров – (37,2 ± 21,6) %, на втором месте расположились спейсеры ручной работы – (19,2 ± 24,7) %, и самое меньшее число осложнений наблюдали у фабричных спейсеров – (13,8 ± 5,2) %. При этом не обнаружено существенной разницы в частоте механических осложнений между спейсерами с различными типами металлического армирования и без него: (18,2 ± 18,6) % и (23,2 ± 17,6) % соответственно [64].

Регулирование бедренного офсета

Регулирование бедренного офсета является важным аспектом ревизионной артропластики тазобедренного сустава [65]. Каждый пациент имеет уникальную анатомию и функциональные потребности, и правильная регулировка и определение оптимального офсета могут улучшить результаты операции [66, 67]. Для регулирования бедренного офсета и планирования процедуры хирурги могут использовать данные о пациенте, полученные из предварительного обследования. С появлением современных технологий и методов, таких как компьютерное моделирование, аддитивные технологии и 3D-планирование, данные этапы становятся более быстрыми и предсказуемыми [68]. Всё это позволяет минимизировать ошибки и улучшить результаты операции, а также способствовать восстановлению нормальной биоме-

ханики тазобедренного сустава [69–71]. В свою очередь, неправильное регулирование бедренного офсета может привести к несоответствию длины конечности, дисбалансу натяжения мышц, неправильному распределению нагрузки, преждевременному износу спейсера, неудовлетворенности функциональными результатами [70]. Правильная настройка позволит избежать этих проблем и достичь оптимального центрирования и стабильности сустава, улучшая результаты операции [71]. Регулирование бедренного офсета при проведении первого этапа ревизионной артропластики возможно только при использовании самодельного артикулирующего спейсера, причем в качестве армирования, как правило, используют бедренный компонент эндопротеза и головку. Что касается фабричных спейсеров тазобедренного сустава с регулируемым офсетом, то на сегодняшний день отсутствуют данные о наличии таких медицинских изделий.

Выделение антибиотиков

Пролонгированное выделение антибиотиков является важным аспектом при использовании спейсеров в лечении перипротезной инфекции суставов [72]. Этот подход позволяет обеспечить локальное длительное высвобождение антибиотиков в суставную полость, что способствует эффективной борьбе с инфекцией [73].

Для достижения пролонгированного выделения антибиотиков из спейсера сустава применяют различные методы и технологии. Антибиотики могут быть внедрены непосредственно в материал спейсера во время его изготовления, при этом антибиотики встраиваются в структуру спейсера и могут высвобождаться постепенно с течением времени [74]. Помимо этого, антибиотики могут быть микроинкапсулированы в материал спейсера, где микросферы или микро-гранулы с антибиотиками встроены в матрицу спейсера, обеспечивая контролируемое высвобождение антибиотиков в течение времени [75]. Также внутри спейсера могут быть созданы резервуары, в которых размещаются антибиотики, например, перед внедрением спейсера в сустав. Ещё одним способом внедрения антибиотика может быть покрытие спейсера тонким слоем материала, содержащего антибактериальные препараты, и в данном случае имеется возможность контролировать высвобождение антибиотиков из покрытия в течение продолжительного времени [76]. Во множестве исследований рассмотрено соответствие различных антибиотиков определённым типам цементных смесей (табл. 5).

Таблица 5

Концентрация выделения антибиотика при комбинации различных видов цемента

Вид цемента	Антибиотик	Концентрация антибиотика (г / на 40 г цемента)	Время выделения антибиотика (мкг/мл)					Источник
			1 ч	1 день	2 дня	7 дней	Общее кол-во дней	
Palacos	Vancomycin	2	–	72	–	6.6	до 7	[82]
Palacos	Gentamicin	0,5	–	39	–	1.9	до 7	[83]
Palacos	Gentamicin	1	30,61	–	53,9	–	до 2	[84]
Simplex	Azertanam	4	–	1003	–	313.6	до 7	[85]
Palacos	Voriconazole	8	–	–	–	–	до 14	[85]
Cemex	Vancomycin	0,15–0,17	–	13,8–40	–	–	до 1	[63]
ПММА	Moxifloxacin	4	–	–	29,8	27	до 14	[83]
ПММА	Rifampin	4	–	–	21,7	23,2	до 21	
ПММА	Meropenem	4	–	–	18	14	до 14	
ПММА	Cefotaxime	4	–	–	15	11,6	до 14	

Количество антибиотика, загружаемого в цемент, является одним из наиболее важных факторов, поскольку чрезмерное его количество может изменять механическую прочность цемента [72, 77]. Поэтому часто рекомендуют не включать антибиотики в объеме более 10–15 % массы смеси. При превышении этого показателя механические свойства цемента значительно ухудшаются. Рекомендации производителей по добавлению антибиотиков в костный цемент обычно составляют 5 % от массы смеси, однако доза загрузки также зависит от того, используют ли АБ для профилактики или лечения активной инфекции. В частности, для профилактики используют более низкую дозу, чтобы предотвратить неблагоприятное механическое воздействие на имплантат, а для лечения инфекции требуются более высокие дозы, чтобы обеспечить локальное пролонгированное выделение антибиотика. Например, профилактическая низкая доза составляет 0,5–1 г антибиотика на 40 г цементного порошка, в то время как лечебная доза составляет 1–2 г на 40 г порошка, а высокая – около 4,6 г на 40 г порошка [77].

Исследование, проведенное при ручном добавлении антибиотика ванкомицина в спейсер, содержащий гентамицин, показало, что такое сочетание значительно увеличивает скорость высвобождения обоих антибиотиков, но в то же время обнаружено снижение прочности костного цемента на сжатие.

В ряде исследований, посвященных добавлению отдельных антибиотиков в костный цемент, отмечено объединение антибиотиков в полиметилметакрилатный цемент в качестве наилучшей стратегии расширения антимикробного спектра. Например, гентамицин, ванкомицин и тобрамицин в основном включают в цементные смеси благодаря их способности воздействовать на различные грамположительные организмы, такие как золотистый стафилококк, стрептококки и грамотрицательные бактерии (*Pseudomonas aeruginosa*). Гликопептиды, такие как ванкомицин, обычно используют в качестве профилактического средства или для лечения тяжелых инфекций, вызванных грамположительными кокками. Он наиболее эффективно ингибирует синтез клеточной стенки грамположительных микроорганизмов и обладает бактерицидным действием [77].

В последние годы интерес направлен на выбор различных антибиотиков, совмещенных более чем с одним препаратом, и биоматериалов с особым акцентом на системы доставки, такие как покрытия поверхности имплантата гидрогелем, керамикой, микроносителем, микросферами или наночастицами [50, 78–80]. Доказано, что шероховатые поверхности, обычно встречающиеся на металлических имплантатах (сплавы кобальт-хром или титан), усиливают колонизацию бактерий, если шероховатость поверхности приближается к размеру отдельной бактерии (1 мкм), и препятствуют колонизации, если поры на поверхности близки по размеру к остеобластам. Также зарубежными авторами выявлено, что такие факторы, как высокая гидрофобность поверхности и низкая поверхностная свободная энергия, характерные для кобальт-хромовых поверхностей, препятствуют распространению бактерий на поверхности [62].

Сульфат кальция — наиболее часто используемый заменитель костного трансплантата, который может быть сформован интраоперационно в рентгеноконтрастные капсулы, рассасывающиеся через 30–60 дней. Исследования *in vitro* сульфата кальция, нагруженного антибиотиками, показали лучшие характеристики по сравнению с полиметилметакрилатом (ПММА) [81].

В клинической практике также используется циклодекстрин, представляющий собой циклический олигосахарид, состоящий из 6–8 мономеров глюкозы, с гидрофобной внутренней и относительно гидрофильной внешней поверхностью. Циклодекстрин, связываясь с нерастворимым полимером, в котором содержатся лекарственные препараты, образует комплекс включений циклодекстрина, что способствует контролируемому и пролонгированному высвобождению лекарственного средства [62].

Проведенный сравнительный анализ использования фабричных, самодельных, динамических и статических моделей спейсеров позволяет отметить высокую актуальность и растущую потребность в применении именно артикулирующих спейсеров для ревизионной артропластики крупных суставов не только в Российской Федерации, но и в мире. Это объясняется ежегодным увеличением числа операций ревизионной артропластики с учетом прогнозов на будущее. Фабричные спейсеры, несомненно, обладают рядом преимуществ, включая стандартизированный размерный ряд, надежность и доступность использования, особенно в медицинских учреждениях, где отсутствует техническая возможность изготавливать спейсеры самостоятельно. Однако они также имеют ограничения в использовании при наличии выраженных дефектов костной ткани у пациентов. В этом контексте изготовление индивидуальных спейсеров представляет собой перспективное направление, поскольку они могут быть адаптированы под уникальные особенности каждого конкретного случая. Несмотря на большие ожидания от индивидуальных спейсеров, остается актуальной задача разработки оптимальных технологий для быстрого прототипирования. Инвестиции в исследования и разработки в этом направлении открывают перспективу создания инновационных решений, способных значительно улучшить результаты ревизионной артропластики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Перспективным направлением в области применения артикулирующих спейсеров является персонализированный подход к их изготовлению, который позволяет учитывать особенности каждого пациента индивидуально, а также подбирать оптимальный метод пролонгированного локального выделения антибиотика и армирования. Достижение этой цели может быть обеспечено совершенствованием технологий сканирования и быстрого прототипирования для точного воссоздания анатомических особенностей суставов.

Конфликт интересов. Не заявлен.

Источник финансирования. Работа выполнена при поддержке Российского научного фонда по гранту № 23-15-20042.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Lemme NJ, Veeramani A, Yang DS, et al. Total Hip Arthroplasty After Hip Arthroscopy Has Increased Complications and Revision Risk. *J Arthroplasty*. 2021;36(12):3922-3927.e2. doi: 10.1016/j.arth.2021.07.020
2. Середа А.П., Кочиш А.А., Черный А.А. и др. Эпидемиология эндопротезирования тазобедренного и коленного суставов и перипротезной инфекции в Российской Федерации. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(3):84-93. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-84-93

3. Lombardo DJ, Siljander MP, Sobh A, et al. Periprosthetic fractures about total knee arthroplasty. *Musculoskelet Surg.* 2020;104(2):135-143. doi: 10.1007/s12306-019-00628-9
4. Otto-Lambertz C, Yagdiran A, Wallscheid F, et al. Periprosthetic Infection in Joint Replacement. *Dtsch Arztebl Int.* 2017;114(20):347-353. doi: 10.3238/arztebl.2017.0347
5. Pangaud C, Ollivier M, Argenson JN. Outcome of single-stage versus two-stage exchange for revision knee arthroplasty for chronic periprosthetic infection. *EFORT Open Rev.* 2019;4(8):495-502. doi: 10.1302/2058-5241.4.190003
6. Insall JN, Thompson FM, Brause BD. Two-stage reimplantation for the salvage of infected total knee arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am.* 1983;65-A(8):1087-1098.
7. Lee YS, Chen AF. Two-Stage Reimplantation in Infected Total Knee Arthroplasty. *Knee Surg Relat Res.* 2018;30(2):107-114. doi: 10.5792/ksrr.17.095
8. Мансуров Д.Ш., Ткаченко А.Н., Сайганов С.А. и др. Негативные последствия эндопротезирования коленного сустава. *Вестник экспериментальной и клинической хирургии.* 2022;15(4):354-361. doi: 10.18499/2070-478X-2022-15-4-354-361
9. Tarazi JM, Chen Z, Scuderi GR, Mont MA. The Epidemiology of Revision Total Knee Arthroplasty. *J Knee Surg.* 2021;34(15):1396-1401. doi: 10.1055/s-0041-1735282
10. Schwartz AM, Farley KX, Guild GN, Bradbury TL Jr. Projections and Epidemiology of Revision Hip and Knee Arthroplasty in the United States to 2030. *J Arthroplasty.* 2020;35(6S):S79-S85. doi: 10.1016/j.arth.2020.02.030
11. Grimberg A, Lützner J, Melsheimer O, Morlock M, Steinbrück A. (2023) German Arthroplasty Registry (Endoprothesenregister Deutschland - EPRD) - Annual Report 2022. doi: 10.36186/reportepd072023
12. Annual report 2021. *The Swedish Arthroplasty Register.* 2021. doi: 10.18158/SyujK_qxc
13. Walter N, Baertl S, Lang S, et al. Treatment of Periprosthetic Joint Infection and Fracture-Related Infection with a Temporary Arthrodesis Made by PMMA-Coated Intramedullary Nails - Evaluation of Technique and Quality of Life in Implant-Free Interval. *Front Surg.* 2022;9:917696. doi: 10.3389/fsurg.2022.917696
14. Levašič V, Pišot V, Milošev I. Arthroplasty Register of the Valdoltra Orthopaedic Hospital and implant retrieval program. *Zdrav Vestn.* 2009;78:73-80. (In Sloven.)
15. Nham FH, Patel I, Zalikhia AK, El-Othmani MM. Epidemiology of primary and revision total knee arthroplasty: analysis of demographics, comorbidities and outcomes from the national inpatient sample. *Arthroplasty.* 2023;5(1):18. doi: 10.1186/s42836-023-00175-6
16. Иванцов В.А., Лашковский В.В., Богданович И.П., Лазаревич С.Н. Лечение глубокой перипротезной инфекции коленного сустава. *Журнал ГрГМУ.* 2018;16(1):96-100. doi: 10.25298/2221-8785-2018-16-1-96-100
17. Корнилов Н.Н., Федоров Р.Э., Куляба Т.А., Филь А.С. Анализ повторных хирургических вмешательств после частичной артропластики коленного сустава: пятнадцатилетний опыт наблюдений. *Современные проблемы науки и образования.* 2018;(2). doi: 10.17513/spno.27451
18. Lu J, Han J, Zhang C, et al. Infection after total knee arthroplasty and its gold standard surgical treatment: Spacers used in two-stage revision arthroplasty. *Intractable Rare Dis Res.* 2017;6(4):256-261. doi: 10.5582/irdr.2017.01049
19. Lindberg-Larsen M, Odgaard A, Fredborg C, et al. One-stage versus two-stage revision of the infected knee arthroplasty - a randomized multicenter clinical trial study protocol. *BMC Musculoskelet Disord.* 2021;22(1):175. doi: 10.1186/s12891-021-04044-8
20. Kunutsor SK, Beswick AD, Whitehouse MR, Blom AW. One- and two-stage surgical revision of infected elbow prostheses following total joint replacement: a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord.* 2019;20(1):467. doi: 10.1186/s12891-019-2848-x
21. Goud AL, Harlianto NI, Ezzafzafi S, et al. Reinfection rates after one- and two-stage revision surgery for hip and knee arthroplasty: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143(2):829-838. doi: 10.1007/s00402-021-04190-7
22. Wang X, Zhang W. Research progress of two-stage revision for periprosthetic joint infection after hip and knee arthroplasties. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2019;33(12):1566-1571. (In Chin.). doi: 10.7507/1002-1892.201901098
23. Vasarhelyi E, Sidhu SP, Somerville L, et al. Static vs Articulating Spacers for Two-Stage Revision Total Knee Arthroplasty: Minimum Five-Year Review. *Arthroplast Today.* 2022;13:171-175. doi: 10.1016/j.artd.2021.10.010
24. Warwick HS, Tan TL, Weiser L, et al. Comparison of Static and Articulating Spacers After Periprosthetic Joint Infection. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev.* 2023;7(2):e22.00284. doi: 10.5435/JAAOSGlobal-D-22-00284
25. Nahhas CR, Chalmers PN, Parvizi J, et al. Randomized Trial of Static and Articulating Spacers for Treatment of the Infected Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty.* 2021;36(6):2171-2177. doi: 10.1016/j.arth.2021.01.031
26. Tao J, Yan Z, Pu B, et al. Comparison of dynamic and static spacers for the treatment of infections following total knee replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2022;17(1):348. doi: 10.1186/s13018-022-03238-7
27. Fiore M, Sambri A, Filippini M, et al. Are Static Spacers Superior to Articulated Spacers in the Staged Treatment of Infected Primary Knee Arthroplasty? A Systematic Review and Meta-Analysis. *J Clin Med.* 2022;11(16):4854. doi: 10.3390/jcm11164854
28. Charette RS, Melnic CM. Two-Stage Revision Arthroplasty for the Treatment of Prosthetic Joint Infection. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2018;11(3):332-340. doi: 10.1007/s12178-018-9495-y
29. Mazzucchelli L, Rosso F, Marmotti A, et al. The use of spacers (static and mobile) in infection knee arthroplasty. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2015;8(4):373-382. doi: 10.1007/s12178-015-9293-8
30. Chen YP, Wu CC, Ho WP. Autoclaved metal-on-cement spacer versus static spacer in two-stage revision in periprosthetic knee infection. *Indian J Orthop.* 2016;50(2):146-153. doi: 10.4103/0019-5413.177587
31. Craig A, King SW, van Duren BH, et al. Articular spacers in two-stage revision arthroplasty for prosthetic joint infection of the hip and the knee. *EFORT Open Rev.* 2022;7(2):137-152. doi: 10.1530/EOR-21-0037
32. Jaenisch M, Ben Amar S, Babasiz M, et al. Commercially manufactured spacers for the treatment of periprosthetic joint infection of the hip. *Oper Orthop Traumatol.* 2023;35(3-4):179-187. doi: 10.1007/s00064-023-00802-0
33. Garcia-Oltra E, Garcia S, Bosch J, et al. Clinical results and complications of a two-stage procedure in hip infection using preformed antibiotic-loaded cement spacers. *Acta Orthop Belg.* 2019;85(4):516-524.

34. Rollo G, Logroscino G, Stomeo D, et al. Comparing the use of preformed vs hand-made antibiotic spacer cement in two stages revision of hip periprosthetic infection. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(Suppl 5):S772-S778. doi: 10.1016/j.jcot.2020.08.003
35. Mederake M, Hofmann UK, Fink B. Clinical evaluation of a new technique for custom-made spacers in septic two-stage revision of total hip arthroplasties. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(8):5395-5403. doi: 10.1007/s00402-022-04748-z
36. Quayle J, Barakat A, Klasan A, et al. External validation study of hip peri-prosthetic joint infection with cemented custom-made articulating spacer (CUMARS). *Hip Int*. 2022;32(3):379-385. doi: 10.1177/1120700020960669
37. Noia G, Meluzio MC, Sircana G, et al. The use of custom-made antibiotic-loaded spacer in periprosthetic knee infection caused by XDR organism: case report and review of literature. *Eur Rev Med Pharmacol Sci*. 2019;23(2 Suppl):19-25. doi: 10.26355/eurrev_201904_17470
38. Liu YB, Pan H, Chen L, et al. Total hip revision with custom-made spacer and prosthesis: A case report. *World J Clin Cases*. 2021;9(25):7605-7613. doi: 10.12998/wjcc.v9.i25.7605
39. Ohtsuru T, Morita Y, Murata Y, et al. Custom-made, antibiotic-loaded, acrylic cement spacers using a dental silicone template for treatment of infected hip prostheses. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(4):615-620. doi: 10.1007/s00590-017-2117-3
40. Kugelman D, Roof M, Egol A, et al. Comparing Articulating Spacers for Periprosthetic Joint Infection After Primary Total Hip Arthroplasty: All-Cement Versus Real-Component Articulating Spacers. *J Arthroplasty*. 2022;37(7S):S657-S663. doi: 10.1016/j.arth.2021.12.008
41. Kong L, Mei J, Ge W, et al. Application of 3D Printing-Assisted Articulating Spacer in Two-Stage Revision Surgery for Periprosthetic Infection after Total Knee Arthroplasty: A Retrospective Observational Study. *Biomed Res Int*. 2021;2021:3948638. doi: 10.1155/2021/3948638
42. Restrepo S, Smith EB, Hozack WJ. Excellent mid-term follow-up for a new 3D-printed cementless total knee arthroplasty. *Bone Joint J*. 2021;103-B(6 Supple A):32-37. doi: 10.1302/0301-620X.103B6.BJJ-2020-2096.R1
43. Allen B, Moore C, Seyler T, Gall K. Modulating antibiotic release from reservoirs in 3D-printed orthopedic devices to treat periprosthetic joint infection. *J Orthop Res*. 2020;38(10):2239-2249. doi: 10.1002/jor.24640
44. Cherny AA, Kovalenko AN, Kulyaba TA, Kornilov NN. A prospective study on outcome of patient-specific cones in revision knee arthroplasty. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2021;141(12):2277-2286. doi: 10.1007/s00402-021-04047-z
45. Lin TL, Tsai CH, Fong YC, et al. Posterior-Stabilized Antibiotic Cement Articulating Spacer With Endoskeleton-Reinforced Cam Reduces Rate of Post-Cam Mechanical Complications in Prosthetic Knee Infection: A Preliminary Study. *J Arthroplasty*. 2022;37(6):1180-1188.e2. doi: 10.1016/j.arth.2022.01.094
46. Razii N, Kakar R, Morgan-Jones R. The 'apple core' cement spacer for the management of massive bone loss in two-stage revision knee arthroplasty for infection. *J Orthop*. 2020;20:301-304. doi: 10.1016/j.jor.2020.05.011
47. Fu J, Xiang Y, Ni M, et al. The use of augmented antibiotic-loaded cement spacer in periprosthetic joint infection patients with acetabular bone defect. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):448. doi: 10.1186/s13018-020-01831-2
48. Jung J, Schmid NV, Kelm J, et al. Complications after spacer implantation in the treatment of hip joint infections. *Int J Med Sci*. 2009;6(5):265-273. doi: 10.7150/ijms.6.265
49. Faschingbauer M, Reichel H, Bieger R, Kappe T. Mechanical complications with one hundred and thirty eight (antibiotic-laden) cement spacers in the treatment of periprosthetic infection after total hip arthroplasty. *Int Orthop*. 2015;39(5):989-994. doi: 10.1007/s00264-014-2636-z
50. Cai YQ, Fang XY, Huang CY, et al. Destination Joint Spacers: A Similar Infection-Relief Rate But Higher Complication Rate Compared with Two-Stage Revision. *Orthop Surg*. 2021;13(3):884-891. doi: 10.1111/os.12996
51. Du YQ, Zhou YG, Hao LB, et al. Mechanical complications with self-made, antibiotic-loaded cement articulating spacers in the treatment of the infected hip replacement. *Zhongguo Gu Shang*. 2017;30(5):436-440. (In Chinese) doi: 10.3969/j.issn.1003-0034.2017.05.009
52. Evans RP. Successful treatment of total hip and knee infection with articulating antibiotic components: a modified treatment method. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(427):37-46. doi: 10.1097/01.blo.0000143739.07632.7c
53. Tsai CH, Hsu HC, Chen HY, et al. A preliminary study of the novel antibiotic-loaded cement computer-aided design-articulating spacer for the treatment of periprosthetic knee infection. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):136. doi: 10.1186/s13018-019-1175-0
54. Lin TL, Tsai CH, Fong YC, et al. Cruciate-Retaining vs Posterior-Stabilized Antibiotic Cement Articulating Spacers for Two-Stage Revision of Prosthetic Knee Infection: A Retrospective Cohort Study. *J Arthroplasty*. 2021;36(11):3750-3759. e2. doi: 10.1016/j.arth.2021.06.023
55. Corona PS, Barro V, Mendez M, et al. Industrially prefabricated cement spacers: do vancomycin- and gentamicin-impregnated spacers offer any advantage? *Clin Orthop Relat Res*. 2014;472(3):923-932. doi: 10.1007/s11999-013-3342-7
56. Zhang W, Fang X, Shi T, et al. Cemented prosthesis as spacer for two-stage revision of infected hip prostheses: a similar infection remission rate and a lower complication rate. *Bone Joint Res*. 2020;9(8):484-492. doi: 10.1302/2046-3758.98.BJR-2020-0173
57. Rava A, Bruzzone M, Cottino U, et al. Hip Spacers in Two-Stage Revision for Periprosthetic Joint Infection: A Review of Literature. *Joints*. 2019;7(2):56-63. doi: 10.1055/s-0039-1697608
58. Romanò CL, Romanò D, Albisetti A, Meani E. Preformed antibiotic-loaded cement spacers for two-stage revision of infected total hip arthroplasty. Long-term results. *Hip Int*. 2012;22 Suppl 8:S46-53. doi: 10.5301/HIP.2012.9570
59. D'Angelo F, Negri L, Binda T, et al. The use of a preformed spacer in two-stage revision of infected hip arthroplasties. *Musculoskelet Surg*. 2011;95(2):115-120. doi: 10.1007/s12306-011-0128-5
60. Burastero G, Basso M, Carrega G, et al. Acetabular spacers in 2-stage hip revision: is it worth it? A single-centre retrospective study. *Hip Int*. 2017;27(2):187-192. doi: 10.5301/hipint.5000446
61. Hsieh PH, Chen LH, Chen CH, et al. Two-stage revision hip arthroplasty for infection with a custom-made, antibiotic-loaded, cement prosthesis as an interim spacer. *J Trauma*. 2004;56(6):1247-1252. doi: 10.1097/01.ta.0000130757.53559.bf
62. Struelens B, Claes S, Bellemans J. Spacer-related problems in two-stage revision knee arthroplasty. *Acta Orthop Belg*. 2013;79(4):422-426.

63. Lau AC, Howard JL, Macdonald SJ, et al. The Effect of Subluxation of Articulating Antibiotic Spacers on Bone Defects and Degree of Constraint in Revision Knee Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(1):199-203. doi: 10.1016/j.arth.2015.07.009
64. Sambri A, Fiore M, Rondinella C, et al. Mechanical complications of hip spacers: a systematic review of the literature. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143(5):2341-2353. doi: 10.1007/s00402-022-04427-z
65. Ng KCG, Jeffers JRT, Beaulé PE. Hip Joint Capsular Anatomy, Mechanics, and Surgical Management. *J Bone Joint Surg Am*. 2019;101(23):2141-2151. doi: 10.2106/JBJS.19.00346
66. Rath B, Eschweiler J, Beckmann J, et al. Revision total hip arthroplasty : Significance of instability, impingement, offset and gluteal insufficiency. *Orthopade*. 2019;48(4):315-321. (In German) doi: 10.1007/s00132-019-03704-x
67. Saunders P, Shaw D, Sidharthan S, et al. Hip offset and leg-length restoration in revision hip arthroplasty with a monoblock, hydroxyapatite-coated stem. *Hip Int*. 2023;33(5):880-888. doi: 10.1177/11207000221117782
68. Tone S, Hasegawa M, Naito Y, et al. Comparison between two- and three-dimensional methods for offset measurements after total hip arthroplasty. *Sci Rep*. 2022;12(1):12644. doi: 10.1038/s41598-022-16952-3
69. Kim SS, Kim HJ, Shim CH. Relationships between Femoral Offset Change and Clinical Score following Bipolar Hip Arthroplasty in Femoral Neck Fractures. *Hip Pelvis*. 2021;33(2):78-86. doi: 10.5371/hp.2021.33.2.78
70. López RE, Gómez Aparicio S, et al. Comparison of the correction of the femoral offset after the use of a stem with modular neck and its monoblock homologue in total primary hip arthroplasty. *Rev Esp Cir Ortop Traumatol*. 2022;66(2):77-85. doi: 10.1016/j.recot.2021.08.003
71. Heckmann ND, Chung BC, Wier JR, et al. The Effect of Hip Offset and Spinopelvic Abnormalities on the Risk of Dislocation Following Total Hip Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2022;37(7S):S546-S551. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.028
72. Sebastian S, Liu Y, Christensen R, et al. Antibiotic containing bone cement in prevention of hip and knee prosthetic joint infections: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Translat*. 2020;23:53-60. doi: 10.1016/j.jot.2020.04.005
73. Bingham J. When and How Should I Use Antibiotic Cement in Primary and Revision Joint Arthroplasty? *J Arthroplasty*. 2022;37(8):1435-1437. doi: 10.1016/j.arth.2022.02.001
74. von Hertzberg-Boelch SP, Luedemann M, Rudert M, Steinert AF. PMMA Bone Cement: Antibiotic Elution and Mechanical Properties in the Context of Clinical Use. *Biomedicines*. 2022;10(8):1830. doi: 10.3390/biomedicines10081830
75. Lewis G. Antibiotic-free antimicrobial poly (methyl methacrylate) bone cements: A state-of-the-art review. *World J Orthop*. 2022;13(4):339-353. doi: 10.5312/wjo.v13.i4.339
76. Gandhi R, Backstein D, Zywił MG. Antibiotic-laden Bone Cement in Primary and Revision Hip and Knee Arthroplasty. *J Am Acad Orthop Surg*. 2018;26(20):727-734. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00305
77. Wall V, Nguyen TH, Nguyen N, Tran PA. Controlling Antibiotic Release from Polymethylmethacrylate Bone Cement. *Biomedicines*. 2021;9(1):26. doi: 10.3390/biomedicines9010026
78. Bouji N, Wen S, Dietz MJ. Intravenous antibiotic duration in the treatment of prosthetic joint infection: systematic review and meta-analysis. *J Bone Jt Infect*. 2022;7(5):191-202. doi: 10.5194/jbji-7-191-2022
79. Tschon M, Sartori M, Contartese D, et al. Use of Antibiotic Loaded Biomaterials for the Management of Bone Prosthesis Infections: Rationale and Limits. *Curr Med Chem*. 2019;26(17):3150-3174. doi: 10.2174/0929867325666171129220031
80. Badge H, Churches T, Xuan W, et al. Timing and duration of antibiotic prophylaxis is associated with the risk of infection after hip and knee arthroplasty. *Bone Jt Open*. 2022;3(3):252-260. doi: 10.1302/2633-1462.33.BJO-2021-0181.R1
81. Levack AE, Cyphert EL, Bostrom MP, et al. Current Options and Emerging Biomaterials for Periprosthetic Joint Infection. *Curr Rheumatol Rep*. 2018;20(6):33. doi: 10.1007/s11926-018-0742-4
82. Anagnostakos K, Becker SL, Sahan I. Antifungal-Loaded Acrylic Bone Cement in the Treatment of Periprosthetic Hip and Knee Joint Infections: A Review. *Antibiotics* (Basel). 2022;11(7):879. doi: 10.3390/antibiotics11070879
83. Mensah LM, Love BJ. A meta-analysis of bone cement mediated antibiotic release: Overkill, but a viable approach to eradicate osteomyelitis and other infections tied to open procedures. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*. 2021;123:111999. doi: 10.1016/j.msec.2021.111999
84. Mariaux S, Furustrand Taffin U, Borens O. Diagnosis of Persistent Infection in Prosthetic Two-Stage Exchange: Evaluation of the Effect of Sonication on Antibiotic Release from Bone Cement Spacers. *J Bone Jt Infect*. 2018;3(1):37-42. doi: 10.7150/jbji.23668
85. Klinder A, Zaatreh S, Ellenrieder M, et al. Antibiotics release from cement spacers used for two-stage treatment of implant-associated infections after total joint arthroplasty. *J Biomed Mater Res B Appl Biomater*. 2019;107(5):1587-1597. doi: 10.1002/jbm.b.34251

Статья поступила 22.02.2024; одобрена после рецензирования 17.06.2024; принята к публикации 01.08.2024.

The article was submitted 22.02.2024; approved after reviewing 17.06.2024; accepted for publication 01.08.2024.

Информация об авторах:

Булат Шамильевич Минасов — доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой, B.minasov@ya.ru, <https://orcid.org/0000-0002-1733-9823>;

Расуль Радикович Якупов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, rasulr@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0001-7650-1926>;

Владислав Николаевич Акбашев — ассистент кафедры, Vlad-akb@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0000-7070-217X>;

Азат Ринатович Билялов — кандидат медицинских наук, доцент, доцент кафедры, azat.bilyalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1273-9430>;

Тимур Булатович Минасов — доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры, m004@yandex.ru, <https://orcid.org/0000-0003-1916-3830>;

Марат Мазгарович Валеев — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, valeevmm@rambler.ru;

Тагир Рыфатович Мавлютов — доктор медицинских наук, доцент, профессор кафедры, mavlutovtagir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5398-9356>;

Киёмиддин Камолиддинович Каримов — кандидат медицинских наук, доцент, Karimov-doktor@mail.ru;
Азамат Радикович Бердин — студент 3 курса, Limoroshow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7624-5528>.

Information about the authors:

Bulat Sh. Minasov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department, B.minasov@ya.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-1733-9823>;

Rasul R. Yakupov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, rasulr@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7650-1926>;

Vladislav N. Akbashev — Assistant of the Department, Vlad-akb@mail.ru. <https://orcid.org/0009-0000-7070-217X>;

Azat R. Bilyalov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department,
azat.bilyalov@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-1273-9430>;

Timur B. Minasov — Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department, m004@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1916-3830>;

Marat M. Valeev — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department, valeevmm@rambler.ru;

Tagir R. Mavlyutov — Doctor of Medical Sciences, Associate Professor, Professor of the Department,
mavlutovtagir@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-5398-9356>;

Kiemiddin K. Karimov — Candidate of Medical Sciences, Associate Professor, Karimov-doktor@mail.ru;

Azamat R. Berdin — 3rd year student, Limoroshow@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-7624-5528>.

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 15.10.2024. Дата выхода 30.10.2024

Формат 60 × 84 1/8. Усл. печ. л. 16,97

Тираж 75 экз. Заказ № 12566. 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