

ISSN 0869-8678 (Print)
ISSN 2658-6738 (Online)

В Е С Т Н И К
ТРАВМАТОЛОГИИ
И ОРТОПЕДИИ

ИМЕНИ Н.Н. ПРИОРОВА
2022 том 29 №2

N.N. Priorov Journal
of Traumatology
and Orthopedics

2022 Volume 29 Issue 2

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации

Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций (Роскомнадзор), свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 77 - 76249 от 19 июля 2019 г.

ИЗДАТЕЛЬ

ООО «Эко-Вектор Ай-Пи»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулочек, д. 3, литера А, помещение 1Н

E-mail: info@eco-vector.com

WEB: <https://eco-vector.com>

РЕКЛАМА

Отдел рекламы

Тел.: +7 (495) 308 83 89

E-mail: adv@eco-vector.com

РЕДАКЦИЯ

Зав. редакцией

Трухина Диана Аршалуйсовна

E-mail: vto@eco-vector.com

Тел.: +7 (967) 153-70-05

АДРЕС РЕДАКЦИИ

127349, г. Москва, Шенкурский проезд, 3Б, офис 311

ПОДПИСКА

Подписка на печатную версию через интернет:

www.journals.eco-vector.com/

www.pressa-ef.ru

ИНДЕКСАЦИЯ

• РИНЦ

• Google Scholar

• Ulrich's International Periodicals Directory

• WorldCat

Оригинал-макет изготовлен

ООО «Эко-Вектор».

Корректор: *А.С. Островская*

Верстка: *Ф.А. Игнащенко*

Обложка: *Ф.А. Игнащенко*

Сдано в набор 16.12.2022.

Подписано в печать 27.12.2022.

Формат 60 × 88 1/8. Печать офсетная.

Печ. л. 13,5. Усл. печ. л. 12,5.

Уч.-изд. л. 7,4. Тираж 500 экз. Заказ No 2-9160-lv

Отпечатано в ООО «Типография Фурсова».

196105, Санкт-Петербург, ул. Благодатная, д. 69.

ISSN 0869-8678 (Print)

ISSN 2658-6738 (Online)

Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова

Том 29 | Выпуск 2 | 2022

ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ НАУЧНЫЙ
МЕДИЦИНСКИЙ ЖУРНАЛ

ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР

Миронов Сергей Павлович — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., президент ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

ЗАМЕСТИТЕЛЬ ГЛАВНОГО РЕДАКТОРА

Ветрилэ Марчел Степанович — канд. мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

ОТВЕТСТВЕННЫЙ СЕКРЕТАРЬ

Цыкунов Михаил Борисович — д-р мед. наук, проф. кафедры медицинской реабилитации ФДПО ФГБОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, Москва, Россия

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Баиндурашвили А.Г. — акад. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Виссарионов С.В. — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Голубев И.О. — д-р мед. наук, проф., ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», Москва, Россия

Губин А.В. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Дубров В.Э. — д-р мед. наук, проф., МГУ им. М.В. Ломоносова, Москва, Россия

Еськин Н.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Загородний Н.В. — чл.-корр. РАН, д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Иванов П.А. — д-р мед. наук, проф., ГБУЗ г. Москвы «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, Россия

Каграманов С.В. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Крупаткин А.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Кулешов А.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Михайлова Л.К. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Морозов А.К. — д-р мед. наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Мурылев В.Ю. — д-р мед. наук, проф. ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» Минздрава России (Сеченовский университет), Москва, Россия

Мушкин А.Ю. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт физиопульмонологии» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Орleckий А.К. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Очкуренок А.А. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Попков Д.А. — д-р мед. наук, проф., чл.-корр. Французской Академии медицинских наук, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Родионова С.С. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Рябых С.О. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. академика Г.А. Илизарова» Минздрава России, Курган, Россия

Снетков А.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва, Россия

Солод Э.И. — д-р мед. наук, проф., ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, Москва, Россия

Тихилов Р.М. — д-р мед. наук, проф., ФГБУ «Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Черкашин А. — д-р мед. наук, Техасский детский госпиталь, Даллас, США

Хосни Г.А. — Университет Бенха, Бенха, Египет

Иванов М. — д-р мед. наук, Образовательные больницы Шеффилда Фонда NHS, Великобритания

Кириенко А. — Клинический институт, Роззано, Италия

Чаудхари М. — Госпиталь Чодри, Акола, Индия

Миткович М.Б. — проф. Нишский Университет, Ниш, Сербия

Мадан С.С. — д-р мед. наук, Детский госпиталь, Шеффилд, Великобритания

Глэд В. — д-р мед. наук, Университет здравоохранения Сан-Антонио, Сан-Антонио, США

Кавагути Е. — Университет Тоямы, Япония

Редакция не несет ответственности за содержание рекламных материалов. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. К публикации принимаются только статьи, подготовленные в соответствии с правилами для авторов. Направляя статью в редакцию, авторы принимают условия договора публичной оферты. С правилами для авторов и договором публичной оферты можно ознакомиться на сайте: <https://journals.eco-vector.com/0869-8678/>. Полное или частичное воспроизведение материалов, опубликованных в журнале, допускается только с письменного разрешения издателя — издательства «Эко-Вектор».

16+

© ООО «Эко-Вектор Ай-Пи», 2022

ЭКО • ВЕКТОР



FOUNDER:

National Medical Research Center
of Traumatology and Orthopedics
N.N. Priorov

PUBLISHER

Eco-Vector
Address: 3 liter A, 1H, Aptekarsky
pereulok, 191186, Saint Petersburg,
Russian Federation
E-mail: info@eco-vector.com
WEB: <https://eco-vector.com>

ADVERTISE

Adv. department

Phone: +7 (495) 308 83 89
E-mail: adv@eco-vector.com

EDITORIAL OFFICE

Executive editor
Diana A. Trukhina
Email: vto@eco-vector.com
Phone: +7 (967) 153-70-05

EDITORIAL OFFICE ADDRESS

office 311, 3B, Shenkurskiy proezd, 127349,
Moscow, Russian Federation

SUBSCRIPTION

For print version:
www.journals.eco-vector.com

INDEXATION

- Russian Science Citation Index
- Google Scholar
- Ulrich's International Periodicals
Directory
- WorldCat

TYPESET

complete in Eco-Vector
Proofreader: *A.S. Ostrovskaya*
Layout editor: *Ph. Ignashchenko*
Cover: *Ph. Ignashchenko*

ISSN 0869-8678 (Print)
ISSN 2658-6738 (Online)

N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics

Volume 29 | Issue 2 | 2022

QUARTERLY PEER-REVIEW MEDICAL JOURNAL

EDITOR-IN-CHIEF

Sergey P. Mironov — Academician of the Russian Academy of Sciences, MD, Professor, Head of N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

DEPUTY EDITOR-IN-CHIEF

Marchel S. Vetrile — MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

EXECUTIVE SECRETARY

Mikhail B. Tsykunov — MD, Professor the Department "Medical Rehabilitation" at N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

EDITORIAL BOARD

Baindurashvili A.G. — corresponding member of RAS, MD, Professor, Research children's orthopedic Institute G.I. Turner, Saint-Petersburg, Russia.

Vissarionov S.V. — corresponding member of RAS, MD, Professor, G.I. Turner National Medical Research Center of Pediatric Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia.

Vorotnikov A.A. — MD, Professor, Stavropol State Medical University, Stavropol, Russia.

Golubev I.O. — MD, Professor, RUDN University, Moscow, Russia.

Gubin A.V. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Dubrov V.E. — MD, Professor, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia.

Zagorodny N.V. — corresponding member of RAS, Professor, MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Kagramanov S.V. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Krupatkin A.I. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Kuleshov A.A. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Mikhailova L.K. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Morozov A.K. — MD, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Murylev V.Yu. — MD, Professor, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia.

Mushkin A.Yu. — MD, Professor, St. Petersburg National Medical Research Institute for Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia.

Orletskiy A.K. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Ochkurenko A.A. — MD, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia.

Popkov D.A. — MD, Professor, corresponding member of French Academy of Medicine, G.A. Ilizarov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia.

Rodionova S.S. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Ryabykh S.O. — MD, Professor, G.A. Ilizarov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia.

Snetkov A.I. — MD, Professor, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia.

Solod E.I. — MD, Professor, Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Moscow, Russia.

Tikhilov R.M. — MD, Professor, Vreden Russian Research Institute of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia.

Cherkashin A. — MD, Texas Scottish Rite Hospital for Children, Dallas, USA

Hosny G.A. — Benha University, Benha, Egypt

Ivanov M. — MD, PhD, MSc, FRCS, Sheffield Teaching Hospitals NHS Foundation Trust, Sheffield, United Kingdom

Kirienko A. — Clinical Institute, Rozzano, Italy

Chaudhary M. — Chaudhary Trust Hospital, Akola, India

Mitkovic M.B. — University of Nis, Nis, Serbia

Madan S.S. — MBBS; FRCS; MCh; MBA; FlntLM, Sheffield Children's Hospital, Sheffield, United Kingdom

Glad V. — PhD, UT Health San Antonio, San Antonio, USA

Kawaguchi Y. — Toyama University, Toyama, Japan

The editors are not responsible for the content of advertising materials. The point of view of the authors may not coincide with the opinion of the editors. Only articles prepared in accordance with the guidelines are accepted for publication. By sending the article to the editor, the authors accept the terms of the public offer agreement. The guidelines for authors and the public offer agreement can be found on the website: <https://journals.eco-vector.com/0869-8678/>. Full or partial reproduction of materials published in the journal is allowed only with the written permission of the publisher — the Eco-Vector publishing house.

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ



Ю.Л. Зейналов, А.В. Бурцев

Идиопатический сколиоз: отдалённые результаты лечения больных методом транспедикулярной фиксации. Ретроспективное продольное исследование 117

А.С. Михайлов, Н.П. Прищепа, Д.В. Ковалев, А.В. Ефимов, П.В. Федотов, М.И. Иванов, Н.А. Крючков

Микопlasма как возможный триггер развития идиопатического аваскулярного некроза головки бедренной кости 129

А.И. Колесник, Н.С. Гаврюшенко, Л.В. Фомин, С.В. Донченко, И.М. Солодилов, Д.А. Иванов, А.В. Овчаренко, В.В. Суриков, Е.П. Тарасов

Усиленное универсальное репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения переломов вертлужной впадины: предварительные результаты лабораторных статических испытаний 139

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ



А.А. Снетков, Д.В. Хаспекоев, А.И. Снетков, Г.Н. Мачак

Эндопротезирование рукоятки грудины при хондросаркоме G₁: клинический случай 151



С.В. Колесов, М.Б. Цыкунов, С.Б. Багиров, С.В. Семендуев, Н.С. Морозова

Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью в оценке предоперационной подготовки пациентки с диастематомиелией I типа: клинический случай 161

В.В. Островский, А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, С.П. Бажанов, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин

Одноэтапная вентральная коррекция вторичного груднопоясничного кифоза у пациента с несостоятельной транспедикулярной фиксацией перелома Th12 позвонка 173

ОБЗОРЫ



М.А. Самарин, Х.З.А. Аси, А.В. Кривова, С.С. Родионова, И.А. Соломянник

Эпидемиология переломов проксимального отдела бедренной кости у лиц старше 50 лет: что изменилось за последние 30 лет? 181



П.А. Матвеев, И.В. Шведовченко, А.А. Кольцов

Трансплантация некротоснабжаемых фаланг пальцев стопы при врожденных недоразвитиях кисти 193



Н.А. Аганесов, А.Ф. Лазарев, А.А. Кулешов, М.С. Ветрилэ, И.Н. Лисянский, С.Н. Макаров, В.Р. Захарин

Повреждения заднего полуколыца таза: классификация, диагностика, методы лечения 205



— в открытом доступе на сайте журнала

CONTENTS

ORIGINAL STUDY ARTICLES



Yusif L. Zeynalov, Alexander V. Burtsev

Idiopathic scoliosis: long-term results of treatment of patients with the method of transpedicular fixation. Retrospective longitudinal study 117

Anatoliy S. Mikhaylov, Nadezhda P. Prishchepa, Dmitriy V. Kovalev, Andrey V. Efimov, Pavel V. Fedotov, Mikhail I. Ivanov, Nikolay A. Kryuchkov

Mycoplasma as a possible trigger for the development of idiopathic avascular necrosis of the femoral head 129

Aleksandr I. Kolesnik, Nikolay S. Gavryushenko, Leonid V. Fomin, Sergey V. Donchenko, Ivan M. Solodilov, Dmitriy A. Ivanov, Anton V. Ovcharenko, Vladislav V. Surikov, Evgeniy P. Tarasov

Universal reposition and fixation ring for surgical treatment of acetabulum fractures: preliminary results of laboratory static tests 139

CASE REPORTS



Alexandr A. Snetkov, Dmitriy V. Khaspekov, Andrei I. Snetkov, Gennadiy N. Machak

Endoprosthesis replacement of the sternum handle in G₁ chondrosarcoma: clinical case 151



Sergey V. Kolesov, Mikhail B. Tsykunov, Samir B. Bagirov, Semen V. Semenduev, Nataliia S. Morozova

The use of the apparatus of an intelligent system with biofeedback in the evaluation of preoperative preparation of a patient with type I diastematomyelia: clinical case 161

Vladimir V. Ostrovskij, Alexey E. Shulga, Vladimir V. Zaretskov, Sergey P. Bazhanov, Sergey V. Likhachev, Alexey A. Smolkin

One-stage ventral correction of the secondary thoracolumbar kyphosis in a patient with failed transpedicular fixation of Th12 fracture 173

REVIEWS



Mikhail A. Samarin, Zaid A. Asi Habiballah, Alla V. Krivova, Svetlana S. Rodionova, Irina A. Solomyannik

Epidemiology of fractures of the proximal femur in people older than 50 years: what has changed in the last 30 years? 181



Pavel A. Matveev, Igor V. Shvedovchenko, Andrey A. Koltsov

Non-vascularized toe phalanges transplantation in congenital hand malformations 193



Nikolay A. Aganesov, Anatolii F. Lazarev, Aleksandr A. Kuleshov, Marchel S. Vetrile, Igor N. Lisyansky, Sergei N. Makarov, Vitalii R. Zakharin

Posterior pelvic ring injuries: classification, diagnosis, methods of treatment 205



Open Access online

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110815>

Идиопатический сколиоз: отдалённые результаты лечения больных методом транспедикулярной фиксации. Ретроспективное продольное исследование

Ю.Л. Зейналов¹, А.В. Бурцев²

¹ Госпиталь военно-медицинского управления Службы государственной безопасности Республики Азербайджан, Баку, Республика Азербайджан;

² НМИЦ травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Анализ результатов лечения больных идиопатическим сколиозом должен включать как объективные методы оценки, такие как рентгенография и мультиспиральная компьютерная томография, так и субъективные, относящиеся к реакции пациента или его родителей на лечение. Только анализ комплекса показателей позволит объективно оценить отдалённый результат лечения.

Цель. Изучить отдалённые результаты лечения методом задней транспедикулярной фиксации больных идиопатическим сколиозом различной степени тяжести.

Материалы и методы. Исследованы результаты лечения методом задней транспедикулярной фиксации 300 больных идиопатическим сколиозом различной степени тяжести. Для оценки эффективности лечения применяли клинические и лучевые методы диагностики, а также опросники SRS30 и SRS22.

Результаты. Отдалённые результаты наблюдения через 1 год после операции изучены у всех (100%) больных, через 2 года — у 225 (75%) пациентов, ещё у 150 (50%) больных отдалённый результат лечения исследован через 5 лет, у 15 из них (10%) — спустя 10–12 лет. Анализ результатов лечения показал, что достигнутая величина коррекции сохранялась с небольшой её потерей в зависимости от величины исходной деформации и достигнутой коррекции после операции. Анализ анкеты-опросника SRS22 через 2 года после лечения при III степени тяжести деформации (по Чаклину) показал, что показатели функции и боли после операции практически не изменились, самооценка, внешний вид и отношение окружающих имели более высокие баллы ($p < 0,05$). При IV степени тяжести деформации внешний вид, отношение окружающих были оценены выше без достоверных отличий.

Заключение. Метод дорсальной коррекции позвоночника с тотальным использованием транспедикулярных имплантов у больных идиопатическим сколиозом позволяет получить хорошие результаты лечения, подтверждённые изучением сохранения коррекции при динамическом рентгеновском исследовании и оценкой состояния больных по опроснику SRS22.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз; задняя транспедикулярная фиксация; отдалённые результаты лечения.

Как цитировать:

Зейналов Ю.Л., Бурцев А.В. Идиопатический сколиоз: отдалённые результаты лечения больных методом транспедикулярной фиксации. Ретроспективное продольное исследование // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 117–128.

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110815>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110815>

Idiopathic scoliosis: long-term results of treatment of patients with the method of transpedicular fixation. Retrospective longitudinal study

Yusif L. Zeynalov¹, Alexander V. Burtsev²

¹ Hospital of the Military Medical Department of the State Security Service of the Republic of Azerbaijan, Baku, Azerbaijan;

² Ilizarov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Kurgan, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The study of the treatment results of patients with idiopathic scoliosis should include both objective assessment methods, such as radiography and multispiral computed tomography, and subjective methods related to the response of the patient or his/her parents to treatment. A set of indicators will only allow an objective assessment of the long-term treatment outcomes.

AIM: To examine long-term treatment results of posterior transpedicular fixation in patients with idiopathic scoliosis of varying severity.

MATERIALS AND METHODS: Long-term treatment results by posterior transpedicular fixation were studied in 300 patients with idiopathic scoliosis of varying severity. To assess the effectiveness of treatment, clinical and radiological diagnostic methods and SRS30 and SRS22 questionnaires were used.

RESULTS: Treatment results in 1 year were studied in all patients and in 2 years in 225 patients (75%). In 150 patients (50%), the long-term treatment results was studied in 5, and in 15 of them (10%) in 10–12 years. The achieved correction value was maintained with a slight loss depending on the magnitude of the initial deformity and correction achieved after the operation. The SRS22 questionnaire 2 years after treatment of grade II deformity (according to Chaklin) showed that the indicators of postoperative function and remained practically unchanged, and the scores on self-esteem, appearance, and attitude were higher ($p < 0.05$). In grade IV deformity, the scores on the appearance and attitude of others were high without significant differences.

CONCLUSION: Dorsal correction of the spine using transpedicular implants in patients with idiopathic scoliosis allows obtaining good treatment outcomes, which was confirmed by the preservation of correction during dynamic X-ray examination and assessment using the SRS22 questionnaire.

Keywords: idiopathic scoliosis; posterior transpedicular fixation; long-term results.

To cite this article:

Zeynalov YuL, Burtsev AV. Idiopathic scoliosis: long-term results of treatment of patients with the method of transpedicular fixation. Retrospective longitudinal study. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):117–128. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto110815>

Received: 07.09.2022

Accepted: 04.10.2022

Published: 29.11.2022

BACKGROUND

In the surgical treatment of patients with idiopathic scoliosis (IS), vertebrology surgeons address a set of tasks, namely, the elimination of spinal deformity, while maintaining the maximum number of free motor segments, the prevention of progression of the deformity, good clinical results, and patient satisfaction with the treatment. [1–5] These tasks were formulated more than a century ago; however, new diagnostic technologies and the improvement and development of instruments and surgical techniques have enabled surgeons to address these required outcomes at a higher methodological level. [6–10] An analysis of data from the literature showed that posterior transpedicular fixation in the treatment of patients with IS was especially significant in addressing this problem and improved treatment results. [5, 11–14] Surgical intervention is one of the stages of the therapeutic process, which includes diagnostics, preparatory actions, direct therapeutic measures, and evaluation of results. The success of the surgery is determined not only by the doctor, who is extremely important, but also by patients and their parents as well, in the case of younger patients. [15] Long-term results of treatment are of the greatest interest since they reflect most fully the clinical effect achieved. The function, appearance, psychological feelings of the patient, and the characteristics of pain are taken into account. The patient's response to surgery is analyzed using various scales and questionnaires. [13, 16–19] Recently, the SRS22, SRS24, and SRS30 questionnaires have been used widely, and are most suitable for assessing the results of treatment of patients with spinal pathology. [13, 16, 20–22] Currently, the SRS22 questionnaire is used more often, but we also used the SRS30 questionnaire which enables clinicians to compare the scores before and after surgery. [21, 23] Nevertheless, it is also important to study objective data on the state of the spine to assess the loss of correction. [24–27]

The study aimed to analyze the long-term results of treatment with posterior transpedicular fixation in patients with IS of varying severity.

MATERIALS AND METHODS

Study design

The work was conducted as part of a retrospective longitudinal study, and the evidence level was IV.

Eligibility criteria

Inclusion criteria:

- IS in patients aged 11 to 50 years.

Exclusion criteria:

- Scoliosis of another etiology in patients older than 50 years.

Target values assessing methods

According to clinical and radiological diagnostic methods, in 225 out of 300 (75%) patients with IS of varying severity, long-term results of treatment were studied after 2 years; in 100 patients (33.3%) these were studied according to the SRS30 and SRS22 questionnaires. In 150 (50%) patients, long-term results were recorded in the period from 5–6 to 10–12 years. The X-ray method was used to examine 300 patients before and after surgery; all patients underwent multi-slice computed tomography (MSCT) and magnetic resonance imaging (MRI) before surgery. After the surgery, MSCT and MRI were performed according to indications.

Ethical considerations

The Declaration of Helsinki of the World Medical Association “Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects,” as amended in 2000, was used as a fundamental document for observing ethical principles. Before hospitalization, patients signed documents containing sections on consent to surgery and the publication of the anonymized study results. When completing the questionnaires, patients also indicated their consent to their use as data without the identification of personal details. The study was not approved by the Local Ethics Committee.

Statistical analysis

The study results were processed using the AtteStat v software. 13.1 (Russia). The normality of distribution was determined by the Kolmogorov–Smirnov test. The data were presented as $M \pm \sigma$, where M was the sample mean and σ was the sample standard deviation. The level of statistical significance of differences was $p < 0.05$.

RESULTS

All patients were operated on by posterior transpedicular fixation, following the algorithm of complex diagnostics and preparation for surgical treatment, with careful adherence to the treatment methodology, taking into account the structural aspects of the fixed vertebrae, adequate postoperative follow-up, and subsequent rehabilitation. An analysis of the examination of patients with IS before treatment showed that 215 (72%) patients had scoliosis severity IV (according to Chaklin; Fig. 1).

The largest number of patients had a deformity of 51–80° ($n=128$, 42.7%); in 45 patients, the deformity was within the range of 101–130°. Long-term results were studied in all patients 1 year after surgery, and in 75% of patients 2 years after surgery; in 150 (50%) patients, the long-term result of treatment was studied after 5 years, and in 15 of them (10%), results were analyzed after 10–12 years.

During control examinations, the clinical situation was assessed, and the angles of deformity were studied using radiographs in comparison with the postoperative images.

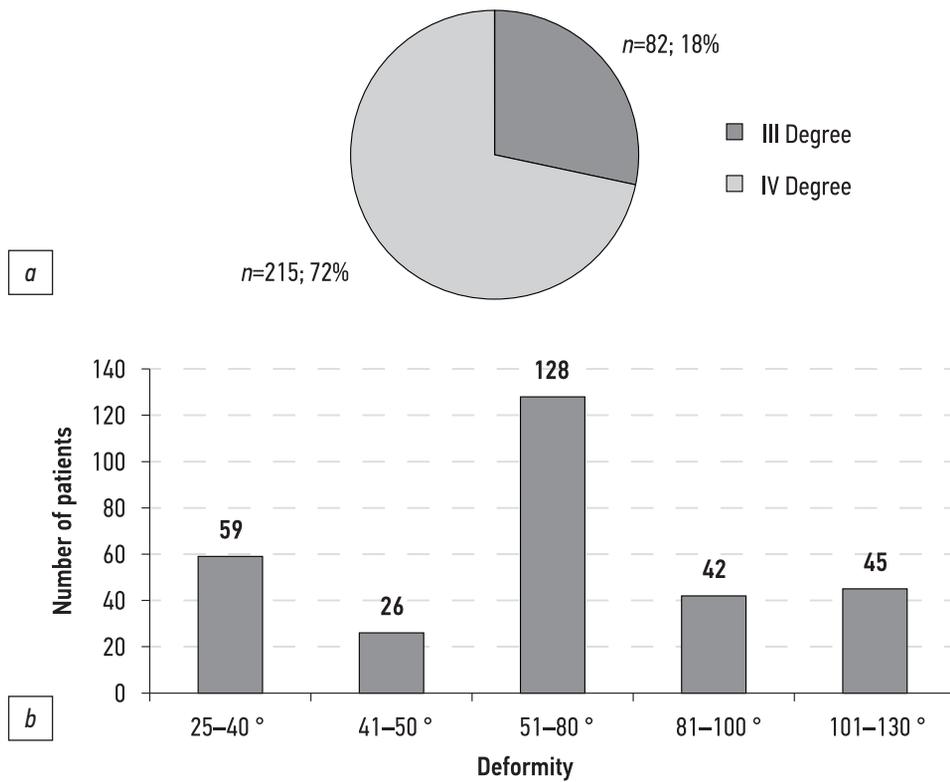


Fig. 1. *a* — distribution of patients according to the deformity severity (according to Chaklin), *b* — diagram of the distribution of the spine deformity value in patients with IS ($n=300$).

Figure 2 presents a diagram of changes in the angles of deformity before and after the surgery, depending on the average value of the initial deformity.

An analysis of the treatment results revealed that the correction value achieved was maintained with a minor loss, depending on the magnitude of the initial deformity, and the correction achieved through surgery. When evaluating the results of long-term treatment, one of the most important indicators was the study of the deformity magnitude in the

various periods after treatment, depending on the initial angle of deformity (Fig. 3).

To demonstrate the long-term result of the treatment of 82° scoliotic spinal deformity, we present the data of patient A., 13 years old, who was admitted to the Department of Traumatology and Orthopedics on February 5, 2020, with a diagnosis of idiopathic progressive right-sided thoracic scoliosis degree IV; Cobb angle 82°; with a posterior right-sided costal humpback. On February 6, 2020, the

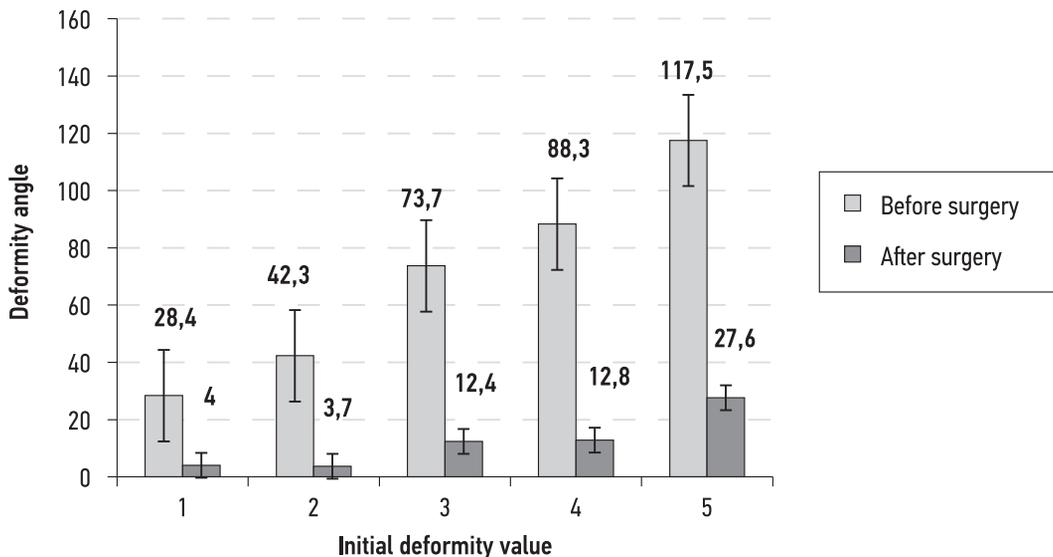


Fig. 2. Diagram of changes in deformity angles before and after surgery, depending on the average value of the initial deformity (1–28.4 °; 2–42.3 °; 3–73.7 °; 4–88.3 °; 5–117.5 °).

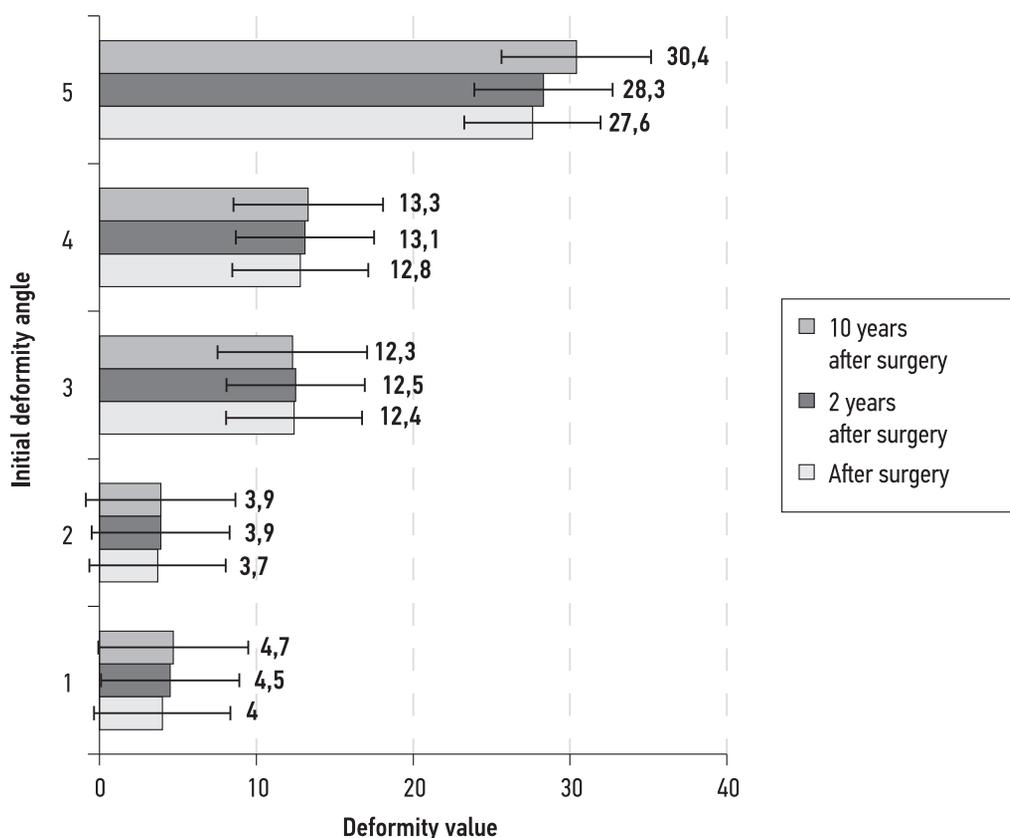


Fig. 3. Diagram of changes in the magnitude of deformity at 2 and 10 years after surgery, depending on the initial angle of deformity (1–28.4 °; 2–42.3 °; 3–73.7 °; 4–88.3 °; 5–117.5 °).

patient underwent surgical intervention, namely, posterior transpedicular stabilization of the spine. After surgery, the residual deformity was 25°. After 5 days (02/11/2020), the patient had no postoperative complications and was discharged for outpatient treatment. At the control examination at 16 months, the long-term result of treatment was studied using clinical and radiological methods. There was no loss of correction, the patient had no complaints, and he is now a college student (Fig. 4).

The results of treatment, in addition to studying the X-ray and MSCT data, were also evaluated by using questionnaires. The clinical result of the data of the SRS30 questionnaire at the deformity degree III (according to Chaklin) is presented in Fig. 5a. The graph indicates that 2 years after surgery, the scores assessing appearance, the attitude of others, and self-esteem were higher. The clinical result of the data of the SRS30 questionnaire at the deformity degree IV (according to Chaklin) is presented in Fig. 5b.

The diagram of clinical results before and after treatment in patients with degree IV deformity was somewhat different from the previous one. The differences relate to the assessment of appearance, which can be explained by lower ratings before treatment in degree IV. The results of the SRS22 questionnaire showed that patients rated self-perception and mental health more highly. Pain and functional limitations, as with the SRS30 questionnaire, scored lower after surgery.

We present the data of patient S., born in 1985, as a long-term result of treatment (9 years and 5 months). Her diagnosis was right-sided progressive thoracic scoliosis, with a deformity angle of 92° according to Cobb; with a posterior right-sided costal humpback. On 04/05/2013, the patient was operated on. Posterior transpedicular fixation was performed, with the length of fixation of Th_{II}–L_{IV}. In 2019, the patient gave birth to a child; her daughter is now 3 years old and she is planning a second pregnancy (Fig. 6).

The patient feels well and has no complaints. Sometimes she notes insignificant fatigue after exercise. Because she is planning a second pregnancy, she came for a follow-up examination. On radiographs 9 years and 5 months after the surgery, the position of the implants is stable, and there is no loss of correction compared to radiographs previously performed 5 years after the surgery.

DISCUSSION

Many years of experience in monitoring patients operated on for IS using posterior transpedicular fixation indicates that the correction value achieved is maintained with any minor loss relating to the magnitude of the initial deformity. A minor residual deformity, inevitable in some cases due to a large initial deformity, does not affect the results adversely and is well-tolerated by patients without causing functional limitations. Our data are consistent

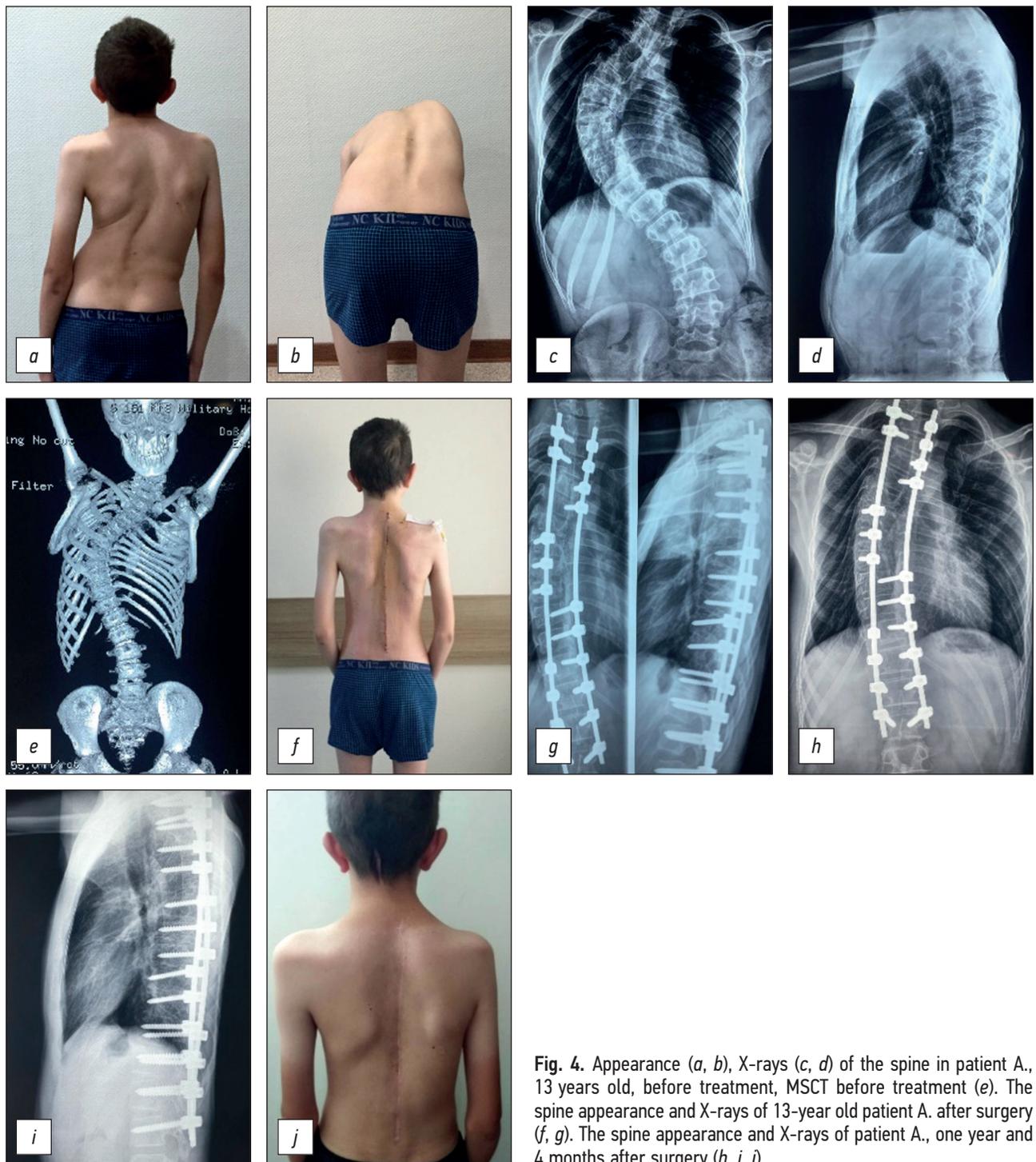


Fig. 4. Appearance (*a, b*), X-rays (*c, d*) of the spine in patient A., 13 years old, before treatment, MST before treatment (*e*). The spine appearance and X-rays of 13-year old patient A. after surgery (*f, g*). The spine appearance and X-rays of patient A., one year and 4 months after surgery (*h, i, j*).

with the results of other authors on the successful use of posterior transpedicular stabilization of the spine in IS when assessed by radiography and MST to determine the preservation of correction achieved and the extent of its loss in the long-term. [1, 2, 4, 5, 9, 25, 26, 28, 29] According to our data, there was no loss of correction in patients with deformity of less than 90° ($p > 0.05$), and it was minimal with an initial deformity greater than 110° ($p < 0.05$). However, the assessment of treatment outcomes is not only based on objective methods of clinical and radiological diagnostics. The reaction of patients, or their

parents in the case of younger patients, to the treatment efficacy is also important. [30] In this case, various scales and questionnaires are of the greatest importance and are currently widely used by patients for self-assessment of their condition before and after surgery. For this purpose, we used the SRS30 and SRS22 questionnaires; the latter is recommended by AO Spine for studying the state of the spine in patients with deformity. Analysis of the SRS22 questionnaire 2 years after treatment with degree III of deformity (according to Chaklin) showed that the self-esteem of patients increased by 1.5 points, self-assessment

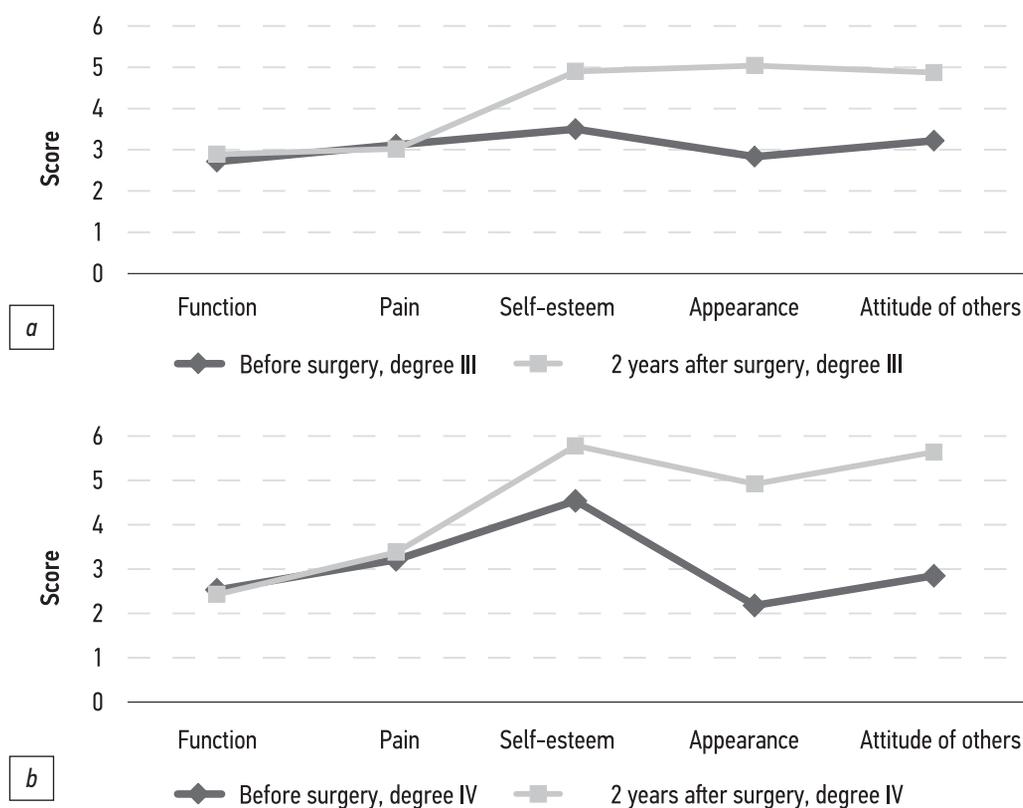


Fig. 5. The clinical result of the data of the SRS30 questionnaire in points at degree III of deformity (a); the clinical result of the data of the SRS30 questionnaire in points at degree IV of deformity (b).

of appearance increased by 2 points ($p < 0.05$), and the perception of the attitude of others increased by almost 2 points ($p < 0.05$) compared with preoperative survey data. With degree IV of deformity (according to Chaklin),

self-esteem was 0.5 points lower than with degree III, appearance was 1 point higher, and the attitude of others was 0.6 points higher. Interim follow-up of patients treated with posterior transpedicular fixation, according to

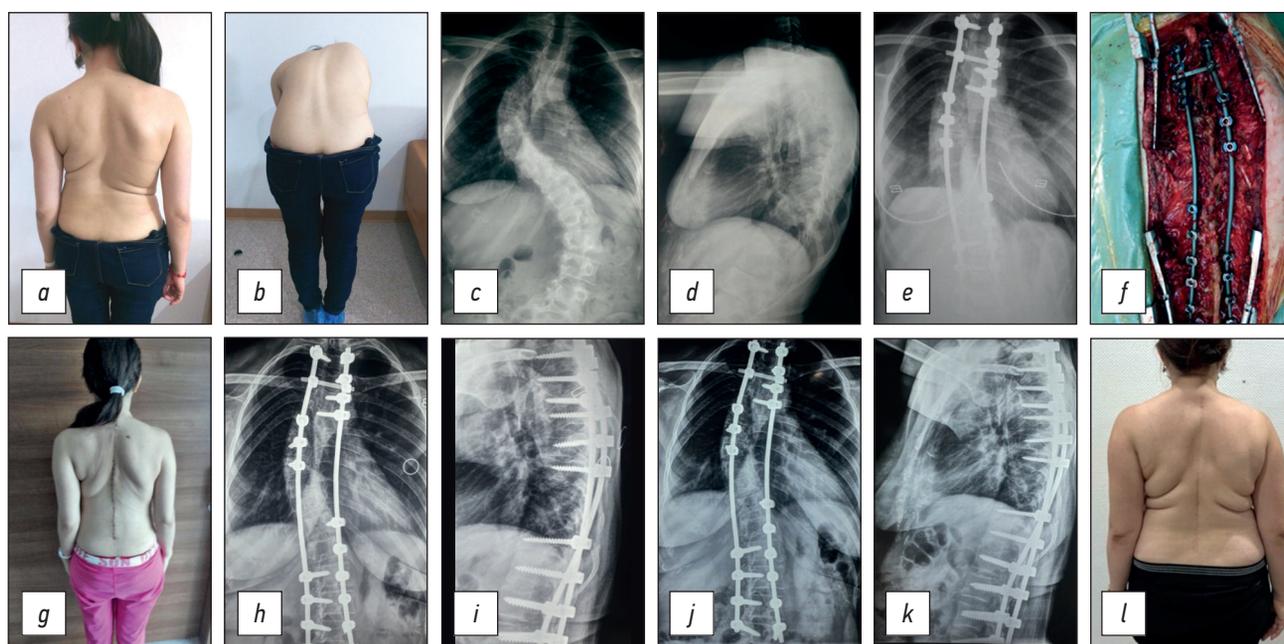


Fig. 6. Appearance of patient S., born in 1985 (a, b). Spine X-rays in frontal and lateral views before treatment (c, d). The spine X-ray of the spine in frontal view after surgery (e). Photo from the operating room and the patient after the surgery (f, g). The spine X-rays in frontal and lateral views five (5) years after surgery (h, i). The spine X-rays in frontal and lateral views 9 years and 5 months after surgery (j, k). The patient photo 9 years and 5 months after surgery (l).

Hwang et al., revealed that SRS total and domain scores demonstrated a significant improvement after 2 years, but decreased slightly after 5 years ($p=0.06$). The SRS self-esteem scores improved significantly after surgery with minimal changes after 5 years. Change in total SRS scores from 2 to 5 years was associated with differences in pain and mental health SRS scores ($p < 0.05$). [25] Our results are consistent with Schlösser et al. that the SRS-22r questionnaire enables the detection of differences between groups with varying severity of curvature; patients with severe scoliosis had significantly lower pain and self-esteem scores than patients with relatively mild scoliosis. [22] The works of Russian and international authors concerning the SRS22 questionnaire showed its sufficient validity and focus on problems associated with idiopathic scoliosis, which also enabled its use in evaluating the efficacy of treatment of patients with IS. [22, 31–34]

Study limitations

for treatment, we used only one technique; this decision was due to the need for a more detailed study of patients before and after surgery to develop surgical and rehabilitation measures, taking into account the changes identified in the musculoskeletal system.

CONCLUSION

The method of dorsal correction of the spine with the total use of transpedicular implants in patients with IS provides good treatment results. This is subject to the algorithm of complex diagnostics, preparation for surgical treatment, careful adherence to the treatment methodology, and takes into account the structural

characteristics of the fixed vertebrae and adequate postoperative monitoring and subsequent rehabilitation. The results were confirmed by the study of the preservation of the correction on dynamic X-ray examination and assessment of the patient's condition according to the SRS22 questionnaire.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

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

Consent for publication. Written consent was obtained from the patients' for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Vissarionov S.V., Nadirov N.N., Belyanchikov S.M., et al. Surgical treatment of children with idiopathic thoracolumbar scoliosis using transpedicular spinal systems // *Pediatr Traumatol Orthop Recon-struct Surg.* 2015. Vol. 3. P. 15–20. doi: 10.17816/PTORS3315-20
2. Михайловский М.В., Васюра А.С., Новиков В.В., и др. Хирургическая коррекция идиопатического сколиоза у взрослых больных молодого и среднего возраста // *Хирургия позвоночника.* 2018. Т. 15, № 3. С. 52–60. doi: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2018.3.52-60>
3. Asher M.A., Min Lai S., Burton D.C. Further development and validation of the Scoliosis Research Society (SRS) outcomes instrument // *Spine.* 2000. Vol. 25. P. 2381–2386. doi: 10.1097/00007632-200009150-00018
4. Min K., Sdzuy C., Farshad M. Posterior correction of thoracic adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screw instrumentation: results of 48 patients with minimal 10-year follow-up // *Eur Spine J.* 2013. Vol. 22, N 2. P. 345–354. doi: 10.1007/s00586-012-2533-3
5. Darnis A., Grobost P., Roussouly P. Very long-term clinical and radiographic outcomes after posterior spinal fusion with pedicular screws for thoracic adolescent idiopathic scoliosis // *Spine Deform.* 2021. Vol. 9, N 2. P. 441–449. doi: 10.1007/s43390-020-00217-y
6. Ogilvie J.W. What's Important: Moving Beyond «Idiopathic» in Adolescent Idiopathic Scoliosis // *J Bone Joint Surg.* 2020. Vol. 102, N 3. P. 269–270. doi: 10.2106/JBJS.19.00433
7. Beauchamp E.C., Anderson R.C.E., Vitale M.G. Modern Surgical Management of Early Onset and Adolescent Idiopathic Scoliosis // *Neurosurgery.* 2019. Vol. 84, N 2. P. 291–304. doi: 10.1093/neuros/nyy267
8. Bettany-Saltikov J., Turnbull D., Ng S.Y., Webb R. Management of Spinal Deformities and Evidence of Treatment Effectiveness // *Open Orthop J.* 2017. N. 11. P. 1521–1547. doi: 10.2174/1874325001711011521
9. Nadirov N., Vissarionov S.A. Comparative Study of Surgical Correction of Idiopathic Scoliosis With Spinal Transpedicular Metal Structures in Children // *Front Pediatr.* 2022. Vol. 10. P. 871117. doi: 10.3389/fped.2022.871117
10. Норкин И.А., Лихачев С.В., Зарецков В.В., и др. Компьютерная томография как составляющая предоперационного планирования металлофиксации переходных отделов позвоночника при коррекции сколиотических деформаций гибридными конструкциями // *Вестник рентгенологии и радиологии.* 2018. Т. 99, № 3. С. 139–146. doi: 10.20862/0042-4676-2018-99-3-139-146

11. Larson A.N., Baky F., Ashraf A., et al. Minimum 20-Year Health-Related Quality of Life and Surgical Rates after the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis // *Spine Deform.* 2019. Vol. 7, N 3. P. 417–427. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.003
12. Chen L., Sun Z., He J., et al. Effectiveness and safety of surgical interventions for treating adolescent idiopathic scoliosis: a Bayesian meta-analysis // *BMC Musculoskelet Disord.* 2020. Vol. 21, N 1. P. 427. doi: 10.1186/s12891-020-03233-1
13. Петренко Д.Е., Мезенцев А.А. Сравнительный анализ применения вентрального и заднего корригирующего спондилодеза у пациентов с идиопатическим сколиозом типа Lenke 1A и 5C // *Хирургия позвоночника.* 2014. №. 1. С. 36–41. doi: 10.14531/ss2014.1.36-41
14. Виссарионов С.В., Соболев А.В., Надилов Н.Н., и др. Сравнительный анализ эффективности хирургического лечения детей с идиопатическим сколиозом грудного и поясничного локализации // *Фундаментальные исследования.* 2015. Т. 1. С. 21–26.
15. Chan C.Y.W., Chong J.S.L., Lee S.Y., et al. Parents'/Patients' Perception of the Informed Consent Process and Surgeons Accountability in Corrective Surgery for Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Prospective Study // *Spine (Phila Pa 1976).* 2020. Vol. 45, N 23. P. 1661–1667. doi: 10.1097/BRS
16. Kyrölä K., Järvenpää S., Ylinen J., et al. Reliability and validity study of the finnish adaptation of scoliosis research society questionnaire version SRS-30 // *Spine (Phila Pa 1976).* 2017. Vol. 42, N 12. P. 943–949. doi: 10.1097/BRS.0000000000001938
17. Aksekili M.A.E., Demir P., Iygun A., et al. Turkish validity and reliability study of scoliosis research society-30 questionnaire in adolescent idiopathic scoliosis patients // *Spine. (Phila Pa 1976).* 1976. Vol. 46, N 19. P. E1058–E1064. doi: 10.1097/BRS.0000000000004034
18. Chen L., Liu C., Liao S., et al. A Retrospective Study of Factors Associated with Restoration of Thoracic Kyphosis in 43 Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis with Lenke Type 1 Curvature // *Med Sci Monit.* 2021. N. 27. P. e929149. doi: 10.12659/MSM.929149
19. Doi T., Inoue H., Arai Y., et al. Reliability and validity of a novel quality of life questionnaire for female patients with adolescent idiopathic scoliosis: Scoliosis Japanese Questionnaire-27: a multicenter, cross-sectional study // *BMC Musculoskelet Disord.* 2018. Vol. 19, N 1. P. 99. doi: 10.1186/s12891-018-2025-7
20. Mac-Thiong J.M., Remondino R., Joncas J., et al. Long-term follow-up after surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis using high-density pedicle screw constructs: Is 5-year routine visit required? // *Eur Spine J.* 2019. Vol. 28, N 6. P. 1296–1300. doi: 10.1007/s00586-019-05887-5
21. Caronni A., Donzelli S., Zaina F., Negrini S. The Italian Spine Youth Quality of Life questionnaire measures health-related quality of life of adolescents with spinal deformities better than the reference standard, the Scoliosis Research Society 22 questionnaire // *Clin Rehabil.* 2019. Vol. 33, N 8. P. 1404–1415. doi: 10.1177/0269215519842246
22. Schlösser T.P., Stadhouders A., Schimmel J.J., et al. Reliability and validity of the adapted Dutch version of the revised Scoliosis Research Society 22-item questionnaire // *Spine J.* 2014. Vol. 14, N 8. P. 1663–1672. doi: 10.1016/j.spinee.2013.09.046
23. Théroux J., Stomski N., Innes S., et al. Revisiting the psychometric properties of the Scoliosis Research Society-22 (SRS-22) French version // *Scoliosis Spinal Disord.* 2017. N 12. P. 21. doi: 10.1186/s13013-017-0129-8
24. Watanabe K., Lenke L.G., Bridwell K.H., et al. Comparison of radiographic outcomes for the treatment of scoliotic curves greater than 100 degrees: wires versus hooks versus screws // *Spine.* 2008. N 33. P. 1084–1092. doi: 10.1097/BRS.0b013e31816f5f3a
25. Hwang S.W., Samdani A.F., Marks M., et al. Five-year clinical and radiographic outcomes using pedicle screw only constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis // *Eur Spine J.* 2013. Vol. 22. P. 1292–1299. doi: 10.1007/s00586-012-2625-0
26. Hwang C.J., Baik J.M., Cho J.H., et al. Posterior Correction of Adolescent Idiopathic Scoliosis with High-Density Pedicle Screw-Only Constructs: 5 Years of Follow-Up // *Yonsei Med J.* 2020. Vol. 61, N 4. P. 323–330. doi: 10.3349/ymj.2020.61.4.323
27. Mathew S.E., Hargiss J.B., Milbrandt T.A., et al. Vertebral body tethering compared to posterior spinal fusion for skeletally immature adolescent idiopathic scoliosis patients: preliminary results from a matched case-control study // *Spine Deform.* 2022. Vol. 10, N 5. P. 1123–1131. doi: 10.1007/s43390-022-00519-3
28. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Кокушин Д.Н., и др. Результаты коррекции деформации позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // *Хирургия позвоночника.* 2013. № 3. С. 30–37. doi: https://doi.org/10.14531/ss2013.3.30-37
29. Kepler C.K., Meredith D.S., Green D.W., Widmann R.F. Long-term outcomes after posterior spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis // *Curr Opin Pediatr.* 2012. N 24. P. 68–75. doi: 10.1097/MOP.0b013e32834ec982
30. Михайловский М.В., Губина Е.В., Сергунин А.Ю., Новиков В.В. Отдаленные результаты хирургического лечения идиопатического и врожденного сколиоза с позиций самооценки пациента // *Хирургия позвоночника.* 2012. Т. 4. С. 19–25. doi: 10.14531/ss2012.4.19-25
31. Губин А.В., Прудникова О.Г., Камышева В.В., и др. Клиническая апробация русскоязычной версии анкеты SRS-22 для взрослых пациентов со сколиозом // *Хирургия позвоночника.* 2017. Т. 14, № 2. С. 31–40. doi: 10.14531/ss2017.2.31-40
32. Колесов С.В., Переверзев В.С., Пантелеев А.А., и др. Первый опыт вентральной динамической коррекции сколиозов у подростков с законченным ростом и взрослых: хирургическая техника и ближайшие результаты // *Хирургия позвоночника.* 2021. Т. 18, № 3. С. 19–29. doi: 10.14531/ss2021.3.19-29
33. Asher M., Min Lai S., Burton D., Manna B. The reliability and concurrent validity of the scoliosis research society-22 patient questionnaire for idiopathic scoliosis // *Spine (Phila Pa 1976).* 2003. Vol. 28, N 1. P. 63–69. doi: 10.1097/00007632-200301010-00015
34. Pehlivanoglu T., Oltulu I., Erdag Y., et al. Comparison of clinical and functional outcomes of vertebral body tethering to posterior spinal fusion in patients with adolescent idiopathic scoliosis and evaluation of quality of life: preliminary results // *Spine Deform.* 2021. Vol. 9, N 4. P. 1175–1182. doi: 10.1007/s43390-021-00323-5

REFERENCES

1. Vissarionov SV, Nadirov NN, Belyanchikov SM, et al. Surgical treatment of children with idiopathic thoracolumbar scoliosis using transpedicular spinal systems. *Pediatr Traumatol Orthop Reconstruct Surg.* 2015;3:15–20. doi: 10.17816/PTORS3315-20

2. Mikhailovskii MV, Vasyura AS, Novikov VV, et al. Surgical correction of idiopathic scoliosis in adult young and middle age patients. *Khirurgiia pozvonochnika*. 2018;15(3):52–60. (In Russ.) doi: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2018.3.52-60>
3. Asher MA, Min Lai S, Burton DC. Further development and validation of the Scoliosis Research Society (SRS) outcomes instrument. *Spine*. 2000;25:2381–2386. doi: [10.1097/00007632-200009150-00018](https://doi.org/10.1097/00007632-200009150-00018)
4. Min K, Sdzuy C, Farshad M. Posterior correction of thoracic adolescent idiopathic scoliosis with pedicle screw instrumentation: results of 48 patients with minimal 10-year follow-up. *Eur Spine J*. 2013;22(2):345–354. doi: [10.1007/s00586-012-2533-3](https://doi.org/10.1007/s00586-012-2533-3)
5. Darnis A, Grobost P, Roussouly P. Very long-term clinical and radiographic outcomes after posterior spinal fusion with pedicular screws for thoracic adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2021;9(2):441–449. doi: [10.1007/s43390-020-00217-y](https://doi.org/10.1007/s43390-020-00217-y)
6. Ogilvie JW. What's Important: Moving Beyond "Idiopathic" in Adolescent Idiopathic Scoliosis. *J Bone Joint Surg*. 2020;102(3):269–270. doi: [10.2106/JBJS.19.00433](https://doi.org/10.2106/JBJS.19.00433)
7. Beauchamp EC, Anderson RCE, Vitale MG. Modern Surgical Management of Early Onset and Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Neurosurgery*. 2019;84(2):291–304. doi: [10.1093/neuros/nyy267](https://doi.org/10.1093/neuros/nyy267)
8. Bettany-Saltikov J, Turnbull D, Ng SY, Webb R. Management of Spinal Deformities and Evidence of Treatment Effectiveness. *Open Orthop J*. 2017;11:1521–1547. doi: [10.2174/1874325001711011521](https://doi.org/10.2174/1874325001711011521)
9. Nadirov N, Vissarianov SA. Comparative Study of Surgical Correction of Idiopathic Scoliosis With Spinal Transpedicular Metal Structures in Children. *Front Pediatr*. 2022;10:871117. doi: [10.3389/fped.2022.871117](https://doi.org/10.3389/fped.2022.871117)
10. Norkin IA, Likhachev SV, Zaretskov VV, et al. Computer tomography as a component of preoperative planning for metal transitional spine fixation in the correction of scoliotic deformities by hybrid constructs. *Vestnik Rentgenologii i Radiologii*. 2018;99(3):139–146. (In Russ.) doi: [10.20862/0042-4676-2018-99-3-139-146](https://doi.org/10.20862/0042-4676-2018-99-3-139-146)
11. Larson AN, Baky F, Ashraf A, et al. Minimum 20-Year Health-Related Quality of Life and Surgical Rates after the Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis. *Spine Deform*. 2019;7(3):417–427. doi: [10.1016/j.jspd.2018.09.003](https://doi.org/10.1016/j.jspd.2018.09.003)
12. Chen L, Sun Z, He J, et al. Effectiveness and safety of surgical interventions for treating adolescent idiopathic scoliosis: a Bayesian meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21(1):427. doi: [10.1186/s12891-020-03233-1](https://doi.org/10.1186/s12891-020-03233-1)
13. Petrenko DE, Mezentsev AA. Comparative analysis of using ventral and posterior correcting spondylodesis in patients with Lenke 1A and 5S idiopathic scoliosis. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2014;1:36–41. (In Russ.) doi: [10.14531/ss2014.1.36-41](https://doi.org/10.14531/ss2014.1.36-41)
14. Vissarianov SV, Sobolev AV, Nadirov NN, et al. Comparative analysis of surgical treatment effectiveness in children with idiopathic scoliosis of thoracolumbar and lumbar spine. *Fundamentalnye Issledovaniya*. 2015;1:21–26. (In Russ.)
15. Chan CYW, Chong JS., Lee SY, et al. Parents'/Patients' Perception of the Informed Consent Process and Surgeons Accountability in Corrective Surgery for Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Prospective Study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2020;45(23):1661–1667. doi: [10.1097/BRS.0000000000003641](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000003641)
16. Kyrölä K, Järvenpää S, Ylinen J, et al. Reliability and validity study of the finnish adaptation of scoliosis research society questionnaire version SRS-30. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2017;42(12):943–949. doi: [10.1097/BRS.0000000000001938](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001938)
17. Aksekili MAE, Demir P, Iyigun A, et al. Turkish validity and reliability study of scoliosis research society-30 questionnaire in adolescent idiopathic scoliosis patients. *Spine. (Phila Pa 1976)*. 1976;46(19):E1058–E1064. doi: [10.1097/BRS.0000000000004034](https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000004034)
18. Chen L, Liu C, Liao S, et al. A Retrospective Study of Factors Associated with Restoration of Thoracic Kyphosis in 43 Patients with Adolescent Idiopathic Scoliosis with Lenke Type 1 Curvature. *Med Sci Monit*. 2021;27:e929149. doi: [10.12659/MSM.929149](https://doi.org/10.12659/MSM.929149)
19. Doi T, Inoue H, Arai Y, et al. Reliability and validity of a novel quality of life questionnaire for female patients with adolescent idiopathic scoliosis: Scoliosis Japanese Questionnaire-27: a multicenter, cross-sectional study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):99. doi: [10.1186/s12891-018-2025-7](https://doi.org/10.1186/s12891-018-2025-7)
20. Mac-Thiong JM, Remondino R, Joncas J, et al. Long-term follow-up after surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis using high-density pedicle screw constructs: Is 5-year routine visit required? *Eur Spine J*. 2019;28(6):1296–1300. doi: [10.1007/s00586-019-05887-5](https://doi.org/10.1007/s00586-019-05887-5)
21. Caronni A, Donzelli S, Zaina F, Negrini S. The Italian Spine Youth Quality of Life questionnaire measures health-related quality of life of adolescents with spinal deformities better than the reference standard, the Scoliosis Research Society 22 questionnaire. *Clin Rehabil*. 2019;33(8):1404–1415. doi: [10.1177/0269215519842246](https://doi.org/10.1177/0269215519842246)
22. Schlösser TP, Stadhouders A, Schimmel JJ, et al. Reliability and validity of the adapted Dutch version of the revised Scoliosis Research Society 22-item questionnaire. *Spine J*. 2014;14(8):1663–1672. doi: [10.1016/j.spinee.2013.09.046](https://doi.org/10.1016/j.spinee.2013.09.046)
23. Théroux J, Stomski N, Innes S, et al. Revisiting the psychometric properties of the Scoliosis Research Society-22 (SRS-22) French version. *Scoliosis Spinal Disord*. 2017;12:21. doi: [10.1186/s13013-017-0129-8](https://doi.org/10.1186/s13013-017-0129-8)
24. Watanabe K, Lenke LG, Bridwell KH, et al. Comparison of radiographic outcomes for the treatment of scoliotic curves greater than 100 degrees: wires versus hooks versus screws. *Spine*. 2008;33:1084–1092. doi: [10.1097/BRS.0b013e31816f5f3a](https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e31816f5f3a)
25. Hwang SW, Samdani AF, Marks M, et al. Five-year clinical and radiographic outcomes using pedicle screw only constructs in the treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Eur Spine J*. 2013;22:1292–1299. doi: [10.1007/s00586-012-2625-0](https://doi.org/10.1007/s00586-012-2625-0)
26. Hwang CJ, Baik JM, Cho JH, et al. Posterior Correction of Adolescent Idiopathic Scoliosis with High-Density Pedicle Screw-Only Constructs: 5 Years of Follow-Up. *Yonsei Med J*. 2020;61(4):323–330. doi: [10.3349/ymj.2020.61.4.323](https://doi.org/10.3349/ymj.2020.61.4.323)
27. Mathew SE, Hargiss JB, Milbrandt TA, et al. Vertebral body tethering compared to posterior spinal fusion for skeletally immature adolescent idiopathic scoliosis patients: preliminary results from a matched case-control study. *Spine Deform*. 2022;10(5):1123–1131. doi: [10.1007/s43390-022-00519-3](https://doi.org/10.1007/s43390-022-00519-3)
28. Vissarianov SB, Belyanchikov SM, Kokushin DN, et al. Results of the spine deformity correction with transpedicular spinal systems in children with idiopathic scoliosis. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2013;(3):30–37. (In Russ.) doi: <https://doi.org/10.14531/ss2013.3.30-37>

29. Kepler CK, Meredith DS, Green DW, Widmann RF. Long-term outcomes after posterior spine fusion for adolescent idiopathic scoliosis. *Curr Opin Pediatr*. 2012;24:68–75. doi: 10.1097/MOP.0b013e32834ec982
30. Mikhaylovskiy MV, Gubina EV, Sergunin AYu, Novikov VV. Long-term results of surgical treatment of idiopathic and congenital scoliosis from the standpoint of the patient's self-assessment. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2012;(4):19–25. (In Russ). doi: 10.14531/ss2012.4.19-25
31. Gubin AV, Prudnikova OG, Kamysheva VV, et al. Clinical testing of the Russian version of the SRS-22 questionnaire for adult patients with scoliosis. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2017;14(2):31–40. (In Russ). doi: 10.14531/ss2017.2.31-40
32. Kolesov SV, Pereverzev VS, Panteleev AA, et al. The first experience of ventral dynamic correction of scoliosis in adolescents with

- completed growth and in adults: surgical technique and immediate results. *Khirurgiya Pozvonochnika*. 2021;18(3):19–29. (In Russ). doi: 10.14531/ss2021.3.19-29
33. Asher M, Min Lai S, Burton D, Manna B. The reliability and concurrent validity of the scoliosis research society-22 patient questionnaire for idiopathic scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2003;28(1):63–69. doi: 10.1097/00007632-200301010-00015
34. Pehlivanoglu T, Oltulu I, Erdag Y, et al. Comparison of clinical and functional outcomes of vertebral body tethering to posterior spinal fusion in patients with adolescent idiopathic scoliosis and evaluation of quality of life: preliminary results. *Spine Deform*. 2021;9(4):1175–1182. doi: 10.1007/s43390-021-00323-5

ОБ АВТОРАХ

***Зейналов Юсиф Латифович**, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Азербайджан, AZ1000, Баку, пос. Бадамдар,
ул. Мектебли, д. 1;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6390-0423>;
e-mail: z.l.yusif@rambler.ru

Бурцев Александр Владимирович, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;
eLibrary SPIN: 5275-8050; e-mail: bav31rus@mail.ru

AUTHORS INFO

***Yusif L. Zeynalov**, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
address: 1 Mektebli Str., AZ1000, Baku,
Badamdar Vil., Azerbaijan;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6390-0423>;
e-mail: z.l.yusif@rambler.ru

Alexander V. Burtsev, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8968-6528>;
eLibrary SPIN: 5275-8050; e-mail: bav31rus@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108677>

Микоплазма как возможный триггер развития идиопатического аваскулярного некроза головки бедренной кости

А.С. Михайлов, Н.П. Прищепа, Д.В. Ковалёв, А.В. Ефимов, П.В. Федотов, М.И. Иванов, Н.А. Крючков

Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования, Чебоксары, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Гибель клеток костной ткани с нарушением кровоснабжения с последующим развитием вторичного артроза/артрита прилежащего сустава наиболее характерна для остеонекроза головки бедренной кости. Заболевание распространено среди молодых пациентов — преимущественно мужчин трудоспособного возраста. Эндопротезирование тазобедренного сустава в молодом возрасте имеет высокий риск расшатывания компонентов эндопротеза, что может привести к множеству повторных хирургических вмешательств. В последние годы обсуждаются гипотезы о возможной роли инфекционных агентов в суставной патологии, о чём свидетельствуют данные об обнаружении специфических антител и антигенов возбудителей в суставной жидкости и околоуставных тканях. Микоплазмы могут стать триггером развития остеонекроза, поскольку основным депо и источником эндогенной реинфекции (при ослаблении иммунитета) является костный мозг.

Цель. Определить признаки наличия микоплазм в мягких тканях тазобедренного сустава, костном мозге бедренной кости при эндопротезировании тазобедренного сустава у больных с идиопатическим аваскулярным некрозом головки бедренной кости.

Материалы и методы. Проанализированы клинично-лабораторные данные 36 перенёсших тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава пациентов с идиопатическим асептическим некрозом головки бедренной кости, 11,1% имели передающиеся половым путём заболевания в анамнезе. Ткани синовиальной оболочки и костного мозга исследованы методом полимеразной цепной реакции на наличие ДНК к передающимся половым путём инфекциям.

Результаты. Средний возраст пациентов составил 42,7 года, период от начала заболевания до момента операции в среднем был равен 46,2 мес. В 78% случаев выявлено двустороннее поражение суставов. 91,7% пациентов имели 4-ю стадию поражения головки бедренной кости (ARCO). Оценка по шкале Харрис до операции — в среднем 33,7 балла. В анамнезе у 4 (11,1%) пациентов имелись заболевания, передающиеся половым путём. В ходе исследования при анализе образцов тканей синовиальной оболочки и костного мозга фрагменты ДНК *Chlamydia trachomatis*, *Mycoplasma genitalium*, *Ureaplasma* spp., *Mycoplasma hominis* не были выделены ни в одном случае, в том числе у пациентов с перенесённой микоплазменной и хламидийной инфекцией.

Заключение. Отсутствие признаков микоплазмы в макроорганизме позволяет предположить, что передающиеся половым путём заболевания в анамнезе не оказывают значимого влияния на исходы эндопротезирования тазобедренного сустава при асептическом некрозе головки бедренной кости.

Ключевые слова: микоплазма; хламидия; остеонекроз; асептический некроз головки бедренной кости; эндопротезирование суставов; перипротезная инфекция; инфекции, передающиеся половым путём.

Как цитировать:

Михайлов А.С., Прищепа Н.П., Ковалёв Д.В., Ефимов А.В., Федотов П.В., Иванов М.И., Крючков Н.А. Микоплазма как возможный триггер развития идиопатического аваскулярного некроза головки бедренной кости // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 129–138. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108677>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108677>

Mycoplasma as a possible trigger for the development of idiopathic avascular necrosis of the femoral head

Anatoliy S. Mikhaylov, Nadezhda P. Prishchepa, Dmitriy V. Kovalev, Andrey V. Efimov, Pavel V. Fedotov, Mikhail I. Ivanov, Nikolay A. Kryuchkov

Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: The death of bone tissue cells with impaired blood supply, followed by the development of secondary arthrosis/arthritides of the adjacent joint, is most characteristic of osteonecrosis of the femoral head. This condition is common in young patients — mainly in men of working age. Hip arthroplasty at a young age has a high risk of loosening of the endoprosthesis components, which can lead to many repeated surgical interventions. In recent years, hypotheses about the possible role of infectious agents in articular pathology have been discussed, as evidenced by the detection of specific antibodies and antigens of pathogens in the joint fluid and periarticular tissues. Mycoplasmas can trigger the development of osteonecrosis because the bone marrow is the main depot and source of endogenous reinfection (when immunity is weakened).

AIM: This study aimed to identify signs of the presence of mycoplasmas in the soft tissues of the hip joint and bone marrow of the femur during hip arthroplasty in patients with idiopathic avascular necrosis of the femoral head.

MATERIALS AND METHODS: Clinical and laboratory data of 36 patients with idiopathic aseptic necrosis of the femoral head who underwent total hip arthroplasty were analyzed, and 11.1% of the patients had a history of sexually transmitted diseases. The tissues of the synovium and bone marrow were examined by polymerase chain reaction for the presence of DNA to sexually transmitted infections.

RESULTS: The average age of the patients was 42.7 years, and the average period from disease onset to the time of surgery was 46.2 months. Bilateral joint damage was found in 78% of cases, and 91.7% of the patients had stage 4 femoral head disease (ARCO). The preoperative Harris score was 33.7 points on average. In history, 4 (11.1%) patients had sexually transmitted diseases. During the study, when analyzing tissue samples of the synovial membrane and bone marrow, DNA fragments of *Chlamydia trachomatis*, *Mycoplasma genitalium*, *Ureaplasma* spp., and *M. hominis* were not isolated in any case, including in patients with previous mycoplasma and chlamydial infection.

CONCLUSION: The absence of mycoplasma suggests that a history of sexually transmitted diseases does not significantly affect the outcomes of hip arthroplasty in aseptic necrosis of the femoral head.

Keywords: mycoplasma; chlamydia; osteonecrosis; aseptic necrosis of the femoral head; joint arthroplasty; periprosthetic infection; sexually transmitted infections.

To cite this article:

Mikhaylov AS, Prishchepa NP, Kovalev DV, Efimov AV, Fedotov PV, Ivanov MI, Kryuchkov NA. Efficacy of necrosis decompression techniques in the treatment of early stages of avascular necrosis of the femoral head. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):129–138. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100047>

ОБОСНОВАНИЕ

Остеонекроз относится к числу тяжёлых, быстро прогрессирующих заболеваний [1], связан с гибелью костных клеток в определённом участке костной ткани с нарушением кровоснабжения, что быстро приводит к развитию вторичного артроза/артрита прилежащего сустава [2]. Наиболее частой локализацией является головка бедренной кости [3].

Заболевание широко распространено в популяции относительно молодых пациентов, преимущественно мужского пола. В России отсутствуют значимые данные эпидемиологических исследований о распространённости этой патологии, что объясняется полиэтиологичностью процесса и часто — несвоевременной диагностикой, поэтому при оценке его частоты приходится обращаться к зарубежным источникам [1]. В США ежегодно диагностируют от 300 до 600 тыс. новых случаев данного заболевания [4]. Число оперативных вмешательств у пациентов с подтверждённым диагнозом остеонекроза головки бедренной кости в структуре первичного эндопротезирования тазобедренного сустава в США составляет от 5 до 12% [5]. По данным английского регистра, частота остеонекроза в популяции Великобритании в период между 1989 и 2003 годами находилась в диапазоне от 1,4 до 3,0 на 100 тыс. населения. При этом в 75,9% случаев поражается головка бедренной кости [6]. В Японии уровень заболеваемости составляет 1,9 на 100 тыс. населения [7].

Остеонекроз головки бедренной кости поражает в основном людей работоспособного возраста. Основной пик заболеваемости приходится на пациентов в возрасте от 20 до 50 лет [8]. Нередко болевой синдром, сопровождающий заболевание, заставляет пациентов менять место работы, привычный уклад жизни, отказываться от занятий спортом и в конечном итоге приводит к стойкой утрате трудоспособности.

Достаточно часто тотальное эндопротезирование воспринимается как единственный эффективный метод лечения, но не стоит забывать, что операция, выполненная в молодом возрасте, имеет высокие риски развития расшатывания компонентов эндопротеза, что может привести к большому числу повторных оперативных вмешательств [9].

По данным ряда авторов, наибольшее число ревизионных оперативных вмешательств наблюдают у пациентов мужского пола младше 35 лет [10, 11]. По данным норвежского регистра эндопротезирования, объединившего наблюдения 1992–2010 годов, среди пациентов моложе 50 лет ревизии через 19 лет после операции подвергаются 62,6% мужчин и 60,2% женщин [12]. С учётом этих показателей усилия практического врача должны быть максимально направлены на своевременную диагностику и сохранение жизнеспособности и функции поражённого сустава [1]. Однако для выработки чётких алгоритмов диагностики и лечения остеонекроза головки бедренной

кости необходимо понимать причины развития и патогенез этого заболевания.

В настоящее время асептические некрозы головки бедренной кости (АНГБК) разделяют на первичный (идиопатический) и вторичный. Вторичный АНГБК встречается чаще, чем идиопатический. Причиной его возникновения может служить приём глюкокортикостероидов, алкогольная интоксикация, лучевая или химиотерапия, различные коагулопатии (ДВС-синдром, тромбофилия), системные заболевания (системная красная волчанка, васкулиты), серповидно-клеточная анемия, ВИЧ, гиперлипидемии, болезни печени и печёночная недостаточность, дайвинг и другие гипербарические состояния, беременность и травмы, особенно произошедшие с нарушением целостности сосудов (перелом шейки бедренной кости, травматический вывих бедра, импрессионный перелом мыщелков бедренной и большеберцовой кости) [13]. Описаны случаи, связанные с мутацией фактора V Лейден, протромбина G20210A, повышением содержания фактора VIII (>150 ед/дл) и дефицитом протеина S (<67 U/dL). В то же время не определена связь заболевания с повышением концентрации фибриногена (>4,0 g/L) и дефицитом протеина С (55 U/dL) [14], полиморфизмом гена *PPAR gamma*, ответственным за метаболизм липидов и пролиферацию адипоцитов, хотя эта гипотеза остается весьма интересной, так как, по последним данным [15], пациенты с повышенным уровнем липидов значительно чаще имеют системную потерю костной ткани, что предрасполагает к развитию остеонекроза головки бедренной кости. У пациентов с АНГБК нарушения свёртываемости и артериального кровоснабжения часто не подтверждаются ангиографией и лабораторными исследованиями [16].

До 40% всех случаев заболевания приходится на долю идиопатического остеонекроза, причина которого остаётся невыясненной. В этих случаях ряд авторов особую роль в развитии АНГБК отводят системному остеопорозу и локальному повышению резорбции костной ткани [17–19].

В последние годы также обсуждаются гипотезы о возможной роли инфекционных агентов в суставной патологии, о чем свидетельствуют данные об обнаружении специфических антител и антигенов возбудителей в суставной жидкости, периартикулярных тканях поражённых суставов [20].

Особого внимания исследователей как возможный триггер развития остеонекроза головки бедренной кости заслуживает микоплазма, которая, являясь условно патогенным микроорганизмом, обладает вирулентностью, способна проникать в ткани микроорганизма, размножаться в них и образовывать неспецифические токсические вещества. Как правило, микоплазмозы являются персистирующими инфекциями, часто — пожизненными, и основным депо персистирующих микоплазм и постоянным источником эндогенной реинфекции служит костный мозг. При некоторых условиях, в частности,

при ослаблении иммунной системы, микоплазмы могут переходить к массовому размножению в организме человека и приводить к патологическим процессам [4].

Крайне важно также исключить инфекцию как возможный этиологический фактор у пациентов при подготовке к эндопротезированию тазобедренного сустава [21]. Именно поэтому для клиник, выполняющих большие объёмы эндопротезирования тазобедренного сустава, интересен поиск этиологической связи инфекционных агентов с развитием идиопатического некроза головки бедренной кости.

Цель исследования — определить, присутствует ли микоплазма в образцах мягких тканей тазобедренного сустава, костного мозга бедренной кости, полученных при эндопротезировании тазобедренного сустава, у пациентов с идиопатическим аваскулярным некрозом головки бедренной кости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Существлено обследование 36 пациентов (29 мужчин — 80,6%, 7 женщин — 19,4%) с идиопатическим АНГБК, которым было выполнено тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава.

Исследование проведено в соответствии с этическими принципами Хельсинкской декларации (World Medical Association Declaration of Helsinki — Ethical Principles for Medical Research Involving Human Subjects, 2013) и «Правилами клинической практики в Российской Федерации» (Приказ Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003) с получением письменного согласия пациентов на участие в исследовании и одобрено Локальным этическим комитетом ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (Чебоксары), протокол № 6 от 16.05.2022.

В исследование включали всех последовательно госпитализированных пациентов, независимо от пола и возраста, с диагнозом АНГБК, подтверждённым методами лучевой диагностики (рентгенография костей таза, магнитно-резонансная томография или компьютерная томография суставов) с апреля 2020 по октябрь 2021 года. *Критериями исключения* послужили наличие в анамнезе переломов костей, образующих тазобедренный сустав; предшествующие эндопротезированию оперативные вмешательства по причине заболеваний, травм и переломов образующих тазобедренный сустав костей; инфекционные заболевания в области тазобедренного сустава (септические артриты, остеомиелит костей, формирующих тазобедренный сустав); ревматоидный артрит и другие системные аутоиммунные артропатии; наличие диагностированной ВИЧ-инфекции; терапия глюкокортикостероидами более 3 мес; лучевая и химиотерапия в анамнезе. От всех пациентов было получено письменное добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Проанализированы данные электронных историй болезни пациентов в медицинской информационной

системе. Перед госпитализацией пациентам выполнялась рентгенография, компьютерная томография, магнитно-резонансная томография и ультразвуковое исследование суставов (по показаниям). При поступлении в стационар изучали данные анамнеза, проводили клинический осмотр с описанием локального статуса, физикальное обследование, рентгенографию костей таза и тазобедренного сустава в 2 проекциях и лабораторные исследования.

Для оценки рентгенологической картины использовали классификацию некроза головки бедра ARCO (Association Research Circulation Osseous), учитывающую объём поражения головки бедра и степень импрессии (рис.).

Показаниями к оперативному лечению считали отсутствие эффекта от проведённой консервативной терапии, выраженные дегенеративные изменения тазобедренного сустава, наличие остеонекроза головки бедренной кости стадии 3б–4 по ARCO, стойкий болевой синдром. Все пациенты были прооперированы в плановом порядке, вне обострения хронических заболеваний.

Клиническую оценку состояния пациента при поступлении в стационар осуществляли на основании функциональной шкалы Харрис, учитывающей выраженность болевого синдрома, степень снижения функции сустава, физической активности пациента.

Операцию выполняли из наружного трансглютеального доступа в положении пациента на боку с применением эндопротезов бесцементной или цементной фиксации. После рассечения капсулы проводили вывих головки бедра, резецировали шейку бедренной кости, после установки вертлужного компонента эндопротеза вскрывали костномозговой канал бедренной кости. Наиболее изменённую синовиальную оболочку, а также фрагмент губчатой кости головки бедренной кости, содержимое канала бедренной кости, содержащие костный мозг, помещали в стерильный контейнер и направляли на исследование методом полимеразной цепной реакции (ПЦР) на наличие ДНК к *Chlamydia trachomatis*, *Mycoplasma genitalium*, *Ureaplasma spp.*, *Mycoplasma hominis*.

В ходе исследования использовали лабораторный амплификатор Rotor-Gene Q (QIAGEN, Германия) в режиме реального времени. ПЦР-исследование выполняли с применением наборов для выделения ДНК — «Рибо-преп» (Россия), для амплификации и детекции — «АмплиСенс *Chlamydia trachomatis*-FL», «АмплиСенс *Mycoplasma genitalium*-FL», «АмплиСенс *Ureaplasma spp.*-FL», «АмплиСенс *Mycoplasma hominis*-FL» (Россия).

Идентификация микроорганизмов методом ПЦР с гибридационно-флуоресцентной детекцией включала 3 этапа: экстракцию (выделение) ДНК из образцов клинического материала, амплификацию фрагмента ДНК данного микроорганизма и собственно гибридационно-флуоресцентную детекцию непосредственно в ходе ПЦР (формат FRT). Экстракцию ДНК из клинического материала проводили в присутствии внутреннего контрольного образца (ВКО-FL), который позволял контролировать выполнение

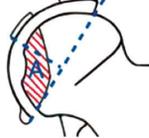
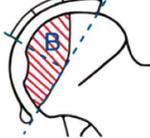
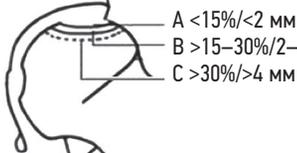
Стадия	0	1	2	Ранняя 3	Поздняя 3	4
Изменения	Все исследования в норме	На рентгене и КТ – норма. Изменения только на МРТ и сцинтиграфии	НЕТ КОЛЛАПСА, НЕТ СИМПТОМА ПОЛУМЕСЯЦА. На рентгене: склероз, очаговый остеопороз	НЕТ КОЛЛАПСА, СИМПТОМ ПОЛУМЕСЯЦА. На рентгене: уплотнение субхондр. кости	КОЛЛАПС СУСТАВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ На рентгене: уплотнение суст. поверхности	ОСТЕОАРТРИТ, Сужение суставной щели, разрушение суставных поверхностей
Методы диагностики	Rg, КТ, МРТ, сцинтиграфия	МРТ, сцинтиграфия. Количественная оценка повреждения только по МРТ	Rg, КТ, МРТ. сцинтиграфия. Количественная оценка повреждения по МРТ и Rg	Только Rg и КТ. Количественная оценка повреждения по Rg	Только Rg и КТ. Количественная оценка повреждения по Rg	Только Rg
Локализация	Нет	Медиальная 	Центральная 	Латеральная 	Нет	
Объём поражения	Нет	% ЗОНЫ ОСТЕОНЕКРОЗА Миним. А <15% Среднее В >15–30% Выражен. С >30%	РАЗМЕР (ДЛИНА) ПОЛУМЕСЯЦА А <15% В >15–30% С >30%	% КОЛЛАПСА СУСТАВНОЙ ПОВЕРХНОСТИ. РАЗМЕР ИМПРЕССИИ ГОЛОВКИ БЕДРА  А <15%/<2 мм В >15–30%/2–4 мм С >30%/>4 мм	Нет	

Рис. Международная классификация остеонекроза ARCO.

Примечание. Rg — рентгенологическое исследование, КТ — компьютерная томография, МРТ — магнитно-резонансная томография.

Fig. International classification of osteonecrosis Association Research Circulation Osseous — ARCO.

Note. Rg — X-ray examination, CT — computed tomography, MRI — magnetic resonance imaging.

процедуры исследования для каждого образца. Затем с полученными пробами ДНК осуществляли амплификацию фрагмента ДНК выявляемого микроорганизма при помощи специфичных к нему праймеров и фермента Taq-полимеразы. В составе реакционной смеси присутствовали флуоресцентно-меченые олигонуклеотидные зонды, которые гибридизовались с комплементарным участком амплифицируемой ДНК-мишени, в результате чего происходило нарастание интенсивности флуоресценции. К олигонуклеотидным зондам, специфичным к различным ДНК-мишеням, прикреплены различные флуоресцентные метки. Это позволяло регистрировать накопление специфического продукта амплификации каждой ДНК-мишени путём измерения интенсивности флуоресцентного сигнала.

Детекция флуоресцентного сигнала осуществлялась непосредственно в ходе ПЦР с помощью амплификатора с системой детекции флуоресцентного сигнала в режиме реального времени. Детекция результатов ПЦР происходила без извлечения продуктов реакции из пробирок, что позволяло свести к минимуму риск контаминации продуктами ПЦР. Дополнительным преимуществом ПЦР с гибридационно-флуоресцентной детекцией является возможность автоматизировать учёт результатов анализа, снизить субъективизм в интерпретации результатов.

Статистическую обработку полученных данных проводили с помощью программы Microsoft Excel 2007 (Microsoft Corp., США). Соответствие значений выборки нормальному распределению в MS Excel подтверждали графическим методом, что позволило отражать результаты в виде среднего арифметического (M) и стандартной ошибки среднего (m).

РЕЗУЛЬТАТЫ

Средний возраст пациентов составил 42,7 года (95% CI; MD=9,7; 23–64), средняя длительность периода от начала заболевания до момента операции — 46,2 мес (95% CI; MD=31,4; 10–120).

У 28 (78%) пациентов наблюдалось рентгенологическая картина двустороннего поражения, у 8 (22%) человек — одностороннего поражения тазобедренного сустава. По степени поражения головки бедренной кости (по ARCO) пациенты распределились следующим образом: стадия 3б — 3 (8,3%), стадия 4 — 33 (91,7%) человека.

Среднее число баллов по шкале Харрис до операции составило 33,7 (95% CI; MD=7,3; 18–48) из максимально возможных 100.

В анамнезе у 4 (11,1%) пациентов имелись заболевания, передающиеся половым путём: сифилис — у 2 пациентов

разного пола, хроническая микоплазменно-хламидийная инфекция — у 1 женщины, хламидиоз — у 1 мужчины. Остальные 32 пациента (88,9%) никогда не проходили лечения по поводу этих заболеваний.

В ходе исследования при анализе образцов тканей синовиальной оболочки и костного мозга фрагменты ДНК *Chlamydia trachomatis*, *Mycoplasma genitalium*, *Ureaplasma* spp., *Mycoplasma hominis* не были выделены ни в одном случае, в том числе у пациентов с перенесённой микоплазменной и хламидийной инфекцией.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время в литературе отсутствует единое мнение о причинах развития АНГБК, при этом имеется указание на высокую долю случаев с невыясненной этиологией идиопатического остеонекроза. Однако у авторов существуют разные подходы к этому вопросу, при этом можно выделить несколько основных направлений и течений поисков исследователей в решении данной проблемы. Так, о роли нарушений кальций-фосфорного обмена в возникновении асептического некроза свидетельствует развитие остеонекроза головки бедренной кости на фоне болезни Олбрайта [22]. Ряд исследователей рассматривают повышение резорбции костной ткани в очаге поражения как ключевой момент патогенеза АНГБК [23–25]. Связь АНГБК с нарушением равновесия между костеобразованием и резорбцией с превалированием последней подтверждается данными гистоморфометрии при экспериментально вызванном асептическом некрозе [25]. Эти отклонения снижают прочность кости, что при нагрузке приводит к увеличению числа микропереломов трабекул [26], которые сдавливают мелкие сосуды. Как следствие механического сдавления сосудистого русла возникает венозный, а затем и артериальный стаз, что определяется при измерении внутрикостного давления и интрамедуллярной венографии. Снижение кровотока на фоне повышенного костномозгового давления характерно для ранних стадий асептического остеонекроза [27,28]. Ишемия головки бедренной кости вследствие механического нарушения целостности сосудов является причиной травматических остеонозозов, что доказано на «лигатурной модели» в экспериментах [29]. Продолжающаяся нагрузка на сустав на этом фоне влечёт прогрессирование заболевания, объём повреждения костной ткани возрастает, а условия для её заживления оказываются неблагоприятными [28, 29].

Как возможный триггер развития некроза головки бедра в молодом возрасте в литературе рассматривается также хронический воспалительный процесс, обусловленный инфекционными патогенами (вирусами, простейшими, бактериями) ввиду возможности их диссеминации в организме через кровеносную и лимфатическую

систему. В настоящее время изучается и расширяется спектр инфекционных агентов, претендующих на роль этиологического фактора при суставной патологии. Сюда относят *Chlamydia trachomatis*, *Borrelia burgdorferi*, микоплазмы, вирус Эпштейна–Барр, ВИЧ, вирусы краснухи, простого герпеса, парвовируса В19, цитомегаловирус, вирусы гепатита В, С и др. [30].

Ряд исследователей отмечают, что у пациентов с наличием микоплазменной инфекции обнаруживается снижение содержания цинка, повышение концентрации стронция в крови. Последнее может вызывать нарушение кальциевого обмена из-за изменения структуры клеточных рецепторов и преимущественной акцепции стронция. Ионы последнего близки по физико-химическим свойствам к ионам кальция и, обладая большей скоростью обмена, могут конкурировать с этим макроэлементом за сайты связи. Также стронций стимулирует образование тромбосана тромбоцитами человека и таким образом способствует активации гемокоагуляционного каскада [31].

Однозначно важно исключить инфекцию тазобедренного сустава до эндопротезирования, поскольку парапротезная инфекция часто приводит к раннему септическому расшатыванию компонентов эндопротеза. Это относится и к пациентам с АНГБК, так как данная патология часто встречается у лиц молодого возраста и может вылиться в многократные повторные оперативные вмешательства.

В литературе имеются указания [34], что в послеоперационном периоде микоплазменная инфекция может служить причиной инфицирования послеоперационной раны. Ряд авторов [20] активно обсуждают латентную инфекцию (в том числе и микоплазменную) как возможную причину хронического воспаления, приводящую в последующем к нарушению кровоснабжения и остеонекрозу головки бедренной кости. Учитывая отсутствие единых взглядов на этиопатогенез АНГБК, перед исследователями стоят задачи по изучению различных гипотез и теорий для лучшего понимания патогенеза, улучшения качества диагностики, консервативного лечения заболевания.

В доступных работах нам удалось обнаружить лишь единичные скрининговые исследования костного мозга бедренной кости на наличие латентных инфекционных организмов. По сведениям одной из работ [35], в костном мозге и синовиальной оболочке, полученных при эндопротезировании коленного сустава, микоплазменная инфекция не была обнаружена ни в одном из образцов тканей.

Ограничения исследования

Малая выборка пациентов не даёт возможности достоверно судить о частоте распространённости внутриартикулярной локализации указанных инфекций в популяции в целом.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведённое исследование показало отсутствие инфекции в интраоперационных фрагментах губчатой кости головки бедра, содержимом канала бедренной кости и костном мозге при идиопатическом остеонекрозе головки бедренной кости. При лабораторном исследовании (ПЦР) на микоплазмы и хламидии присутствия инфекции также не выявлено, и это позволяет предположить, что наличие передающихся половым путём заболеваний в анамнезе не имеет выраженного клинического значения в этиопатогенезе асептического некроза головки бедренной кости и не оказывает значимого влияния на исходы эндопротезирования тазобедренного сустава. Однако данный вопрос требует дальнейшего исследования на более обширном клиническом материале.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н., и др. Руководство по хирургии тазобедренного сустава. Санкт-Петербург: РНИИТО им. Р.Р. Вредена, 2014. Т. 1. С. 155–171.
2. Ильиных Е.В., Барскова В.Г., Лидов П.И., Насонов Е.Л. Остеонекроз. Часть 1. Факторы риска и патогенез // Современная ревматология. 2013. Т. 7, № 1. С. 17–24. doi: 10.14412/1996-7012-2013-2362
3. Mankin H.J. Nontraumatic necrosis of bone (osteonecrosis) // *N Engl J Med*. 1992. Vol. 326, N 22. P. 1473–1479. doi: 10.1056/NEJM199205283262206
4. Lieberman J.R., Berry D.J., Mont M.A., et al. Osteonecrosis of the hip: management in the 21st century // *Instr Course Lect*. 2003. Vol. 52. P. 337–355.
5. Mont M.A., Hungerford D.S. Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head // *J Bone Joint Surg Am*. 1995. Vol. 77, N 3. P. 459–474. doi: 10.2106/00004623-199503000-00018
6. Cooper C., Steinbuch M., Stevenson R., et al. The epidemiology of osteonecrosis: findings from the GPRD and THIN databases in the UK // *Osteoporos Int*. 2010. Vol. 21, N 4. P. 569–577. doi: 10.1007/s00198-009-1003-1
7. Ikeuchi K., Hasegawa Y., Seki T., et al. Epidemiology of nontraumatic osteonecrosis of the femoral head in Japan // *Mod Rheumatol*. 2015. Vol. 25, N 2. P. 278–281. doi: 10.3109/14397595.2014.932038
8. Зоря В.И. Возможные причины асептического некроза головки бедренной кости у взрослых и вопросы его диагностики // *Травматология и ортопедия России*. 1994. № 5. С. 46–53.
9. Торгашин А.Н., Родионова С.С. Обоснование использования антирезорбтивных препаратов в лечении асептического некроза костей // *Opinion Leader*. 2020. № 6. С. 64–68.
10. Bauer T.W., Geesink R.C., Zimmerman R., McMahon J.T. Hydroxyapatite-coated femoral stems. Histological analysis of components retrieved at autopsy // *J Bone Joint Surg Am*. 1991. Vol. 73, N 10. P. 1439–1452.
11. Howie D.W., Haynes D.R., Rogers S.D., et al. The response to particulate debris // *Orthop Clin North Am*. 1993. Vol. 24, N 4. P. 571–581.
12. Kavanagh B.F., Wallrichs S., Dewitz M., et al. Charnley low-friction arthroplasty of the hip. Twenty-year results

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Authors contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

with cement // *J Arthroplasty*. 1994. Vol. 9, N 3. P. 229–234. doi: 10.1016/0883-5403(94)90076-0

13. Malizos K.N., Karantanas A.H., Varitimidis S.E., et al. Osteonecrosis of the femoral head: etiology, imaging and treatment // *Eur J Radiol*. 2007. Vol. 63, N 1. P. 16–28. doi: 10.1016/j.ejrad.2007.03.019

14. Vosmaer A., Pereira R.R., Koenderman J.S., et al. Coagulation abnormalities in Legg-Calvé-Perthes disease // *J Bone Joint Surg Am*. 2010. Vol. 92, N 1. P. 121–128. doi: 10.2106/JBJS.I.00157

15. Wu L., Gao C., Wang G., et al. Blood coagulation function in the patients with avascular necrosis of the femoral head (ANFH) after severe acute respiratory syndrome (SARS) // *Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine*. 2006. Vol. 13, N 1. P. 39–41.

16. Scapinelli R. Studies on the vasculature of the human knee joint // *Acta Anat (Basel)*. 1968. Vol. 70, N 3. P. 305–309. doi: 10.1159/000143133

17. Yamamoto T., Bullough P.G. Spontaneous osteonecrosis of the knee: the result of subchondral insufficiency fracture // *J Bone Joint Surg Am*. 2000. Vol. 82, N 6. P. 858–866. doi: 10.2106/00004623-200006000-00013

18. Varoga D., Drescher W., Pufe M., et al. Differential expression of vascular endothelial growth factor in glucocorticoid-related osteonecrosis of the femoral head // *Clin Orthop Relat Res*. 2009. Vol. 467, N 12. P. 3273–3282. doi: 10.1007/s11999-009-1076-3

19. Mont M.A., Jones L.C., Hungerford D.S. Nontraumatic osteonecrosis of the femoral head: ten years later // *J Bone Joint Surg Am*. 2006. Vol. 88, N 5. P. 1117–1132. doi: 10.2106/JBJS.E.01041

20. Зйсмонт О.Л., Пашкевич Л.А., Мохаммади М.Т., и др. Клинико-морфологическая характеристика и микробиологический анализ тканей тазобедренного сустава у пациентов с аваскулярным некрозом головки бедра // *Медицинские новости*. 2015. № 12. С. 59–64.

21. Николаев Н.С., Пчелова Н.Н., Преображенская Е.В., и др. «Неожиданные» инфекции при асептических ревизиях // *Травматология и ортопедия России*. 2021. Т. 27, № 3. С. 56–70. doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-56-70

22. Lewington M.R., El-Hawary R. Legg-Calvé-Perthes disease in a patient with albright hereditary osteodystrophy. A case report // *J Bone Joint Surg Am.* 2010. Vol. 92, N 2. P. 450–455. doi: 10.2106/JBJS.I.00153
23. Aya-ay J., Athavale S., Morgan-Bagley S., et al. Retention, distribution, and effects of intraosseously administered ibandronate in the infarcted femoral head // *J Bone Miner Res.* 2007. Vol. 22, N 1. P. 93–100. doi: 10.1359/jbmr.060817
24. Bowers J.R., Dailiana Z.H., McCarthy E.F., Urhaniak J.R. Drug therapy increases bone density in osteonecrosis of the femoral head in canines // *J Surg Orthop Adv.* 2004. Vol. 13, N 4. P. 210–216.
25. Kim H.K., Morgan-Bagley S., Kostenuik P. RANKL inhibition: a novel strategy to decrease femoral head deformity after ischemic osteonecrosis // *J Bone Miner Res.* 2006. Vol. 21, N 12. P. 1941–1954. doi: 10.1359/jbmr.060905
26. Steffen R.T., Athanasou N.A., Gill H.S., Murray D.W. Avascular necrosis associated with fracture of the femoral neck after hip resurfacing: histological assessment of femoral bone from retrieval specimens // *J Bone Joint Surg Br.* 2010. Vol. 92, N 6. P. 787–793. doi: 10.1302/0301-620X.92B6.23377
27. Смирнов А.В. Рентгенологическая диагностика поражения тазобедренных суставов при ревматических заболеваниях // *Consilium medicum.* 2003. Т. 5, № 8. С. 442–446.
28. Hungerford D.S., Lennox D.W. The importance of increased intraosseous pressure in the development of osteonecrosis of the femoral head: implications for treatment // *Orthop Clin North Am.* 1985. Vol. 16, N 4. P. 635–654.
29. Ежов И.Ю., Ежов Ю.И. Посттравматический асептический некроз головки бедренной кости // *Травматология и ортопедия России.* 1996. № 1. С. 22–25.
30. Рубаник Л.В., Поleshук Н.Н., Асташонок А.Н., и др. Является ли аваскулярный некроз головки бедренной кости всегда асептическим? В кн.: Санитарно-эпидемиологическая служба Республики Беларусь: история, актуальные проблемы на современном этапе и перспективы развития: сборник научных трудов Международной научно-практической конференции «Здоровье и окружающая среда», посвящённой 90-летию санитарно-эпидемиологической службы Республики Беларусь. Т. 2. Минск: БГМУ, 2016. С. 293–297.
31. Борхениус С.Н., Чернова О.А., Чернов В.М. Взаимодействие микоплазм с иммунной системой животных и человека // *Цитология.* 2001. Т. 43, № 3. С. 240–243.
32. Арлеевский И.П., Чернова О.А., Танеева Л.А., и др. Микоплазменные инфекции и инфаркт миокарда // *Российский кардиологический журнал.* 2003. Т. 8, № 4. С. 17–23.
33. Покровская Е.В. Атеросклероз и иммунная система (по материалам семинара европейского сообщества атеросклероза) // *Кардиология.* 2001. Т. 41, № 10. С. 69–73.
34. Xiang L., Lu B. Infection due to *Mycoplasma hominis* after left hip replacement: case report and literature review // *BMC Infect Dis.* 2019. Vol. 19, N 1. P. 50. doi: 10.1186/s12879-019-3686-z
35. Watanabe K., Otabe K., Shimizu N., et al. High-sensitivity virus and mycoplasma screening test reveals high prevalence of parvovirus B19 infection in human synovial tissues and bone marrow // *Stem Cell Res Ther.* 2018. Vol. 9, N 1. P. 80. doi: 10.1186/s13287-018-0811-7

REFERENCES

1. Tikhilov RM, Shubnyakov II, Kovalenko AN, et al. *Rukovodstvo po khirurgii tazobedrennogo sustava.* St. Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2014. Vol. 1. P. 155–171. (In Russ).
2. Ilyinykh EV, Barskova VG, Lidov PI, Nasonov EL. Osteonecrosis. Part 1. Risk factors and pathogenesis. *Modern Rheumatology Journal.* 2013;7(1):17–24. (In Russ). doi: 10.14412/1996-7012-2013-2362
3. Mankin HJ. Nontraumatic necrosis of bone (osteonecrosis). *N Engl J Med.* 1992;326(22):1473–1479. doi: 10.1056/NEJM199205283262206
4. Lieberman JR, Berry DJ, Mont MA, et al. Osteonecrosis of the hip: management in the 21st century. *Instr Course Lect.* 2003;52:337–355.
5. 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
6. Cooper C, Steinbuch M, Stevenson R, et al. The epidemiology of osteonecrosis: findings from the GPRD and THIN databases in the UK. *Osteoporos Int.* 2010;21(4):569–577. doi: 10.1007/s00198-009-1003-1
7. Ikeuchi K, Hasegawa Y, Seki T, et al. Epidemiology of nontraumatic osteonecrosis of the femoral head in Japan. *Mod Rheumatol.* 2015;25(2):278–281. doi: 10.3109/14397595.2014.932038
8. Zorya VI. Vozmozhnye prichiny asepticeskogo nekroza golovki bedrennoi kosti u vzroslykh i voprosy ego diagnostiki. *Travmatologiya i ortopediya Rossii.* 1994;(5):46–53. (In Russ).
9. Torgashin AN, Rodionova SS. Obosnovanie ispol'zovaniya anti-rezorbivnykh preparatov v lechenii asepticeskogo nekroza kostei. *Opinion Leader.* 2020;(6):64–68. (In Russ).
10. Bauer TW, Geesink RC, Zimmerman R, McMahon JT. Hydroxyapatite-coated femoral stems. Histological analysis of components retrieved at autopsy. *J Bone Joint Surg Am.* 1991;73(10):1439–1452.
11. Howie DW, Haynes DR, Rogers SD, et al. The response to particulate debris. *Orthop Clin North Am.* 1993;24(4):571–581.
12. Kavanagh BF, Wallrichs S, Dewitz M, et al. Charnley low-friction arthroplasty of the hip. Twenty-year results with cement. *J Arthroplasty.* 1994;9(3):229–234. doi: 10.1016/0883-5403(94)90076-0
13. Malizos KN, Karantanas AH, Varitimidis SE, et al. Osteonecrosis of the femoral head: etiology, imaging and treatment. *Eur J Radiol.* 2007;63(1):16–28. doi: 10.1016/j.ejrad.2007.03.019
14. Vosmaer A, Pereira RR, Koenderman JS, et al. Coagulation abnormalities in Legg-Calvé-Perthes disease. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92(1):121–128. doi: 10.2106/JBJS.I.00157
15. Wu L, Gao C, Wang G, et al. Blood coagulation function in the patients with avascular necrosis of the femoral head (ANFH) after severe acute respiratory syndrome (SARS). *Chinese Journal of Nautical Medicine and Hyperbaric Medicine.* 2006;13(1):39–41.

16. Scapinelli R. Studies on the vasculature of the human knee joint. *Acta Anat (Basel)*. 1968;70(3):305–309. doi: 10.1159/000143133
17. Yamamoto T, Bullough PG. Spontaneous osteonecrosis of the knee: the result of subchondral insufficiency fracture. *J Bone Joint Surg Am*. 2000;82(6):858–866. doi: 10.2106/00004623-200006000-00013
18. Varoga D, Drescher W, Pufe M, et al. Differential expression of vascular endothelial growth factor in glucocorticoid-related osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res*. 2009;467(12):3273–3282. doi: 10.1007/s11999-009-1076-3
19. Mont MA, Jones LC, Hungerford DS. Nontraumatic osteonecrosis of the femoral head: ten years later. *J Bone Joint Surg Am*. 2006;88(5):1117–1132. doi: 10.2106/JBJS.E.01041
20. Eysmont OL, Pashkevich LA, Mohammadi MT, et al. Clinical and morphological characteristics and microbiological analyzes of the hip joint tissues in patients with avascular necrosis of the femoral head. *Meditsinskie novosti*. 2015;(12):59–64. (In Russ).
21. Nikolaev NS, Pchelova NN, Preobrazhenskaya EV, et al. «Unexpected» infections in revision arthroplasty for aseptic loosening. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(3):56–70. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2021-27-3-56-70
22. Lewington MR, El-Hawary R. Legg-Calvé-Perthes disease in a patient with albright hereditary osteodystrophy. A case report. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(2):450–455. doi: 10.2106/JBJS.I.00153
23. Aya-ay J, Athavale S, Morgan-Bagley S, et al. Retention, distribution, and effects of intraosseously administered ibandronate in the infarcted femoral head. *J Bone Miner Res*. 2007;22(1):93–100. doi: 10.1359/jbmr.060817
24. Bowers JR, Dailiana ZH, McCarthy EF, Urhaniak JR. Drug therapy increases bone density in osteonecrosis of the femoral head in canines. *J Surg Orthop Adv*. 2004;13(4):210–216.
25. Kim HK, Morgan-Bagley S, Kostenuik P. RANKL inhibition: a novel strategy to decrease femoral head deformity after ischemic osteonecrosis. *J Bone Miner Res*. 2006;21(12):1941–1954. doi: 10.1359/jbmr.060905
26. Steffen RT, Athanasou NA, Gill HS, Murray DW. Avascular necrosis associated with fracture of the femoral neck after hip resurfacing: histological assessment of femoral bone from retrieval specimens. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(6):787–793. doi: 10.1302/0301-620X.92B6.23377
27. Smirnov AV. Rentgenologicheskaya diagnostika porazheniya tazobedrennykh sustavov pri revmaticheskikh zabolevaniyakh. *Consilium medicum*. 2003;5(8):442–446. (In Russ).
28. Hungerford DS, Lennox DW. The importance of increased intraosseous pressure in the development of osteonecrosis of the femoral head: implications for treatment. *Orthop Clin North Am*. 1985;16(4):635–654.
29. Ezhov IYu, Ezhov Yul. Posttravmaticheskii asepticheskii nekroz golovki bedrennoi kosti. *Travmatologiya i ortopediya Rossii*. 1996;(1):22–25. (In Russ).
30. Rubanik LV, Poleshchuk NN, Astashonok AN, et al. Yavlyayetsya li avaskulyarnyi nekroz golovki bedrennoi kosti vseгда asepticheskim? In: *Sanitarno-epidemiologicheskaya sluzhba Respubliki Belarus: istoriya, aktual'nye problemy na sovremennom etape i perspektivy razvitiya: sbornik nauchnykh trudov Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii «Zdorov'e i okruzhayushchaya sreda», posvyashchennoi 90-letiyu sanitarno-epidemiologicheskoi sluzhby Respubliki Belarus*. Vol. 2. Minsk: BGMU; 2016. P. 293–297. (In Russ).
31. Borchsenius SN, Chernova OA, Chernov VM. Mycoplasma interaction with the immune system of animals and human. *Tsitologiya*. 2001;43(3):240–243. (In Russ).
32. Arleyevsky IP, Chernova OA, Ganeyeva LA, et al. Mycoplasma SPP. Infections and myocardial infarction. *Rossiiskii kardiologicheskii zhurnal*. 2003;8(4):17–23.
33. Pokrovskaya EV. Atherosclerosis and immune system (workshop of the European Atherosclerosis Society). *Kardiologiya*. 2001;41(10):69–79. (In Russ).
34. Xiang L, Lu B. Infection due to Mycoplasma hominis after left hip replacement: case report and literature review. *BMC Infect Dis*. 2019;19(1):50. doi: 10.1186/s12879-019-3686-z
35. Watanabe K, Otabe K, Shimizu N, et al. High-sensitivity virus and mycoplasma screening test reveals high prevalence of parvovirus B19 infection in human synovial tissues and bone marrow. *Stem Cell Res Ther*. 2018;9(1):80. doi: 10.1186/s13287-018-0811-7

ОБ АВТОРАХ

*Михайлов Анатолий Сергеевич,

врач травматолог-ортопед;

адрес: Россия, 428020, Чебоксары, ул. Фёдора Гладкова, д. 33;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0533-0570>; e-mail:

orelwolf@gmail.com

Прищепа Надежда Петровна,

врач клинической лабораторной диагностики;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5763-0711>;

eLibrary SPIN: 8619-6759; e-mail: nadyna75@yandex.ru

Ковалёв Дмитрий Васильевич,

врач травматолог-ортопед;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4011-6409>;

eLibrary SPIN: 9412-5761; e-mail: kovalev@orthoscheb.com

AUTHORS INFO

*Anatoliy S. Mikhaylov,

traumatologist-orthopedist;

address: 33 Fedora Gladkova Str., 428020, Cheboksary, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0533-0570>;

e-mail: orelwolf@gmail.com

Nadezhda P. Prishchepa,

doctor of clinical laboratory diagnostics;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5763-0711>;

eLibrary SPIN: 8619-6759; e-mail: nadyna75@yandex.ru

Dmitriy V. Kovalev,

traumatologist-orthopedist;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4011-6409>;

eLibrary SPIN: 9412-5761; e-mail: kovalev@orthoscheb.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Ефимов Андрей Владиславович,

врач травматолог-ортопед;
e-mail: efimov-av75@mail.ru

Федотов Павел Владимирович,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-235X>;
e-mail: mr_vulfgar@mail.ru

Иванов Михаил Илларионович,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9852-7086>;
eLibrary SPIN: 1777-6152; e-mail: mivanov@orthoscheb.com

Крючков Николай Александрович,

врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6090-4111>;
eLibrary SPIN: 2884-6250; e-mail: kriuchkov@orthoscheb.com

Andrey V. Efimov,

traumatologist-orthopedist;
e-mail: efimov-av75@mail.ru

Pavel V. Fedotov,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2833-235X>;
e-mail: mr_vulfgar@mail.ru

Mikhail I. Ivanov,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9852-7086>;
eLibrary SPIN: 1777-6152; e-mail: mivanov@orthoscheb.com

Nikolay A. Kryuchkov,

traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6090-4111>;
eLibrary SPIN: 2884-6250; e-mail: kriuchkov@orthoscheb.com

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Усиленное универсальное репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения переломов вертлужной впадины: предварительные результаты лабораторных статических испытаний

А.И. Колесник^{1,2}, Н.С. Гаврюшенко¹, Л.В. Фомин^{1,3}, С.В. Донченко⁴,
И.М. Солодилов⁵, Д.А. Иванов⁶, А.В. Овчаренко⁷, В.В. Суриков⁸, Е.П. Тарасов⁹

¹ НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;

² ООО «ЦИТО проект», Москва, Российская Федерация;

³ НИИ механики, Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова, Москва, Российская Федерация;

⁴ Городская клиническая больница им. С.П. Боткина, Москва, Российская Федерация;

⁵ Курская городская клиническая больница № 4, Курск, Российская Федерация;

⁶ Лыткаринская городская больница, Лыткарино, Российская Федерация;

⁷ Калужская областная клиническая больница скорой медицинской помощи им. К.Н. Шевченко, Калуга, Российская Федерация;

⁸ Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования, Москва, Российская Федерация;

⁹ Одинцовская областная больница, Одинцово, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. В настоящее время в хирургическом лечении застарелых переломов вертлужной впадины (ВВ) широко применяют несколько разновидностей конструкций: опорные кольца М. Мюллера, Бурх–Шнейдера, кольца фирмы «PROTEK» (Швейцария), имплантируемые в ВВ. В травматологической практике кольца, как правило, используют в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства. Однако они функционально не предназначены для проведения открытой репозиции и фиксации колонн и отломков ВВ с последующим эндопротезированием тазобедренного сустава (ТБС) с цементной фиксацией компонентов эндопротеза. В последние годы чётко прослеживается тенденция к первичному эндопротезированию ТБС при смещённых переломах ВВ, которое рассматривается как лучший вариант оперативного лечения переломов ВВ. В доступной нам литературе мы не нашли аналогов разработанной нами конструкции колец, обеспечивающей СНР (Combined Hip Procedure — комбинированная процедура пластики ТБС) при лечении переломов ВВ.

Цель. Изучить деформационные свойства репозиционно-фиксационного кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

Материалы и методы. Разработано кольцо для оперативного лечения переломов ВВ. Патент на изобретение № 2692526 от 26.06.2019 г. по заявке № 2018133671 от 25.09.2018 г. (Бюл. № 18 от 26.06.2019 г.). Для проведения механических испытаний методом последовательного спекания с помощью аддитивных технологий фирмой ООО «Конмет» (Москва) изготовлено кольцо с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости. Лабораторные механические испытания проведены Испытательной лабораторией медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва).

Результаты. В результате статического испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие, растяжение, кручение и на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма кольца изучены его деформационные свойства, а также реакция на него внешних нагрузок при статических испытаниях. Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм кило-ньютон (кН): сжатие — 0,209, растяжение — 0,082, кручение [крутящий момент, соответствующий углу поворота 5°, ньютон-метр (Нм)] — 9,422. Совместное растяжение с закручиванием краёв разъёма кольца (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм кН) — 0,060.

Заключение. Результаты первичного изучения деформационного поведения новой конструкции кольца с ребром жёсткости демонстрируют упругий характер его деформационных свойств. Полученные положительные первичные результаты изучения деформационного поведения конструкции кольца, усиленной ребром жёсткости, указывают на возможность проведения клинических испытаний и определяют направление дальнейшей доработки конструкции.

Ключевые слова: переломы вертлужной впадины; оперативное лечение; открытая репозиция и фиксация переломов вертлужной впадины; первичное эндопротезирование тазобедренного сустава.

Как цитировать:

Колесник А.И., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В., Донченко С.В., Солодилов И.М., Иванов Д.А., Овчаренко А.В., Суриков В.В., Тарасов Е.П. Усиленное универсальное репозиционно-фиксационное кольцо для оперативного лечения переломов вертлужной впадины: предварительные результаты лабораторных статических испытаний // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 139–149. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Рукопись получена: 07.02.2022

Рукопись одобрена: 09.11.2022

Опубликована: 29.11.2022

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Universal reposition and fixation ring for surgical treatment of acetabulum fractures: preliminary results of laboratory static tests

Aleksandr I. Kolesnik^{1,2}, Nikolay S. Gavryushenko¹, Leonid V. Fomin^{1,3}, Sergey V. Donchenko⁴, Ivan M. Solodilov⁵, Dmitriy A. Ivanov⁶, Anton V. Ovcharenko⁷, Vladislav V. Surikov⁸, Evgeniy P. Tarasov⁹

¹ Priorov National Medical Research Centre for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

² Cytoproject LLC, Moscow, Russia;

³ Research Institute of Mechanics, Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia;

⁴ Botkin City Clinical Hospital, Moscow, Russia;

⁵ Kursk City Clinical Hospital No. 4, Kursk, Russia;

⁶ Lytkarino City Hospital, Lytkarino, Russia;

⁷ Kaluga City Clinical Hospital, Kaluga, Russia;

⁸ Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia;

⁹ Odintsovo City Hospital, Odintsovo, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Several structures are widely used in the surgical treatment of long-standing fractures of the BB, such as support rings of M. Muller, Burch–Schneider, rings of PROTEK (Switzerland) implanted in the BB. In traumatology practice, rings are used to strengthen fractured walls. However, these rings are not functionally designed for open reposition and fixation of columns and fractures, followed by TBS endoprosthetics with cement fixation of the components of the endoprosthesis. Recently, primary endoprosthetics of EP TBS became the trend for displaced fractures of the BB, which is considered the best option for surgical treatment of BB fractures. In the literature, no analogs of our ring were available, which provides CHP in the treatment of BB fractures.

AIM: To study the deformation properties of a repositioning fixation ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib.

Materials and methods: A ring has been developed for the surgical treatment of acetabulum fractures (Patent for Invention No. 2692526 dated 26.06.2019 under Application No. 2018133671 dated 25.09.2018.; Bul. No. 18 dated 26.06.2019). For mechanical testing, a ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib was manufactured by sequential sintering using additive technologies by Konmet LLC (Moscow). Laboratory mechanical tests were conducted by the Testing Laboratory of Medical Devices and Materials of the FSBI “NMIC TO named after N.N. Priorov” (Moscow).

RESULTS: A static testing of a ring with a stiffener for compression, stretching, torsion, joint stretching, and twisting of the edges of the ring connector was performed, and its deformation properties and reaction to external loads during static tests were examined. The load corresponded to the deformation of 2 mm, kN; compression, 0.209; tension, 0.082; torsion (angle of rotation of 5 degrees, Nm), 9.422; and joint stretching with twisting of the edges of the ring connector (load corresponding to the deformation of 10 mm, kN), 0.060.

CONCLUSION: The results of the initial study of the deformation behaviors of the new ring design clearly show the elastic nature and deformation properties of the ring, which were attributed to the stiffening rib. The positive primary results of studying the deformation behaviors of the ring reinforced with a stiffening rib indicate the possibility for clinical trials and the direction of further refinement of the design.

Keywords: acetabulum fractures; surgical treatment; open reposition and fixation of acetabulum fractures; primary hip replacement.

To cite this article:

Kolesnik AI, Gavryushenko NS, Fomin LV, Donchenko SV, Solodilov IM, Ivanov DA, Ovcharenko AV, Surikov VV, Tarasov EP. Universal reposition and fixation ring for surgical treatment of acetabulum fractures: preliminary results of laboratory static tests. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):139–149. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto100272>

Received: 07.02.2022

Accepted: 09.11.2022

Published: 29.11.2022

ОБОСНОВАНИЕ

По сведениям ряда исследователей, частота переломов вертлужной впадины (ВВ) колеблется в пределах от 2 до от 18,3% [1–6], по другим данным она составляет 18–23,4% [7].

Хирургическому лечению подлежат переломы ВВ со смещением и многоплоскостные переломы, при этом показания к оперативному лечению разделяют на абсолютные и относительные [2, 6, 8, 9]. К абсолютным показаниям к оперативному лечению переломов ВВ относят:

- смещение более 5 мм при переломах, затрагивающих нагружаемую часть ВВ (сурсил);
- потерю конгруэнтности (сублюксацию) по данным рентгенограмм в любой из 3 проекций;
- переломы задней стенки с признаками нестабильности сустава;
- наличие внутрисуставных остеохондральных фрагментов;
- импакцию хрящевых поверхностей ВВ и головки бедра [2].

Открытая репозиция и внутренняя фиксация (в иностранной литературе используют аббревиатуру ORIF — Open Reposition and Internal Fixation) до настоящего времени остаются стандартным способом лечения переломов ВВ [8–13], а, по мнению отдельных исследователей, и во все являются «золотым стандартом» лечения [14]. Ещё в 1980 году E. Letournel, имея к тому времени 22-летний опыт работы в этой области, писал, что идеальная открытая репозиция является методом выбора для лечения переломов ВВ со смещением [9]. При использовании погружного остеосинтеза широкое распространение для фиксации получили различные варианты нейтрализующих пластин, реконструктивных тазовых пластин и других конструкций [14–16]. В настоящее время в хирургическом лечении переломов ВВ широко применяют несколько разновидностей конструкций: опорные кольца М. Мюллера, Бурх–Шнейдера, кольца фирмы «PROTEK», (Швейцария), имплантируемые в ВВ при дефектах различного генеза с целью восстановления её опороспособности и биомеханики [13, 17, 18]. Однако в травматологии кольца, как правило, используют в качестве укрепляющего стенки ВВ устройства [17, 18] при многооскольчатых и нестабильных переломах ВВ.

В настоящее время всё более широкое распространение получает современный подход к лечению переломов ВВ, подразумевающий комбинацию ORIF и первичного эндопротезирования тазобедренного сустава (ТБС) — способ, называемый «Combined Hip Procedure» (СНП) — «комбинированная процедура пластики ТБС» [19–21]. Первое в мире первичное эндопротезирование ТБС было инициировано в 1954 году A. Westerborn [22, 23]. О возможности одновременного выполнения ORIF и эндопротезирования ТБС пишет много авторов, особенно эта тактика показана лицам пожилого возраста [17, 24–27]. В последние годы

чётко прослеживается тенденция к первичному эндопротезированию ТБС при смещённых переломах ВВ [24, 28, 29], которое рассматривают как лучший вариант оперативного лечения, обеспечивающий возможность ранней мобилизации и позволяющий избежать стандартных осложнений длительного постельного режима. На основании результатов лечения пациентов с переломами ВВ N. Salar и соавт. пришли к выводу, что раннее первичное эндопротезирование ТБС с обоснованными показаниями и соответствующим подбором пациентов позволяет получить отличный и хороший функциональный результат [29]. U.G. De Bellis и соавт. оценивали итоги раннего и отсроченного первичного эндопротезирования ТБС у пациентов с переломами ВВ. По данным авторов, результаты в случаях отсроченного эндопротезирования ТБС были несколько лучше, чем при раннем, хотя различия между двумя группами не были статистически значимыми [30]. T. Lont и соавт. отмечают, что применение ORIF у пожилых пациентов с переломами ВВ с использованием армирующего кольца с последующим первичным эндопротезированием ТБС приводило к меньшему числу повторных операций, чем использование только ORIF. Эти сведения позволяют им утверждать, что первичное эндопротезирование ТБС может стать основным хирургическим способом лечения сложных переломов ВВ у пожилых пациентов [17].

В доступной нам литературе мы не нашли аналогов разработанной нами конструкции кольца, обеспечивающей СНП при лечении переломов ВВ.

Цель исследования — изучить деформационные свойства репозиционно-фиксационного кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Для оперативного лечения сложных переломов ВВ разработано репозиционно-фиксационное кольцо с внешним диаметром 52 мм, усиленное ребром жёсткости. Патент на изобретение — № 2692526 от 26.06.2019 г. по заявке № 2018133671 от 25.09.2018 г. (Бюл. № 18 от 26.06.2019 г., рис. 1).

Кольцо с внешним диаметром 52 мм, усиленное ребром жёсткости, было изготовлено для проведения механических испытаний и дальнейшего усовершенствования изделия. Кольцо создано ООО «Конмет» (Москва) методом селективного лазерного спекания на основании технического задания изготовления кольца и технических условий (№ 32.50.22.190-021114584172018 от 27.12.2018 г.; рис. 2) и соответствует требованиям ГОСТ Р, ГОСТ Р ИСО, ГОСТ ISO, ГОСТ Р ISO, ГОСТ EN. Кольцо произведено из титанового сплава Ti64-ELI-A LMF с химическим составом Ti6Al4V ELI (см. рис. 2).

Лабораторные механические испытания проведены Испытательной лабораторией медицинских изделий и материалов ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (Москва).

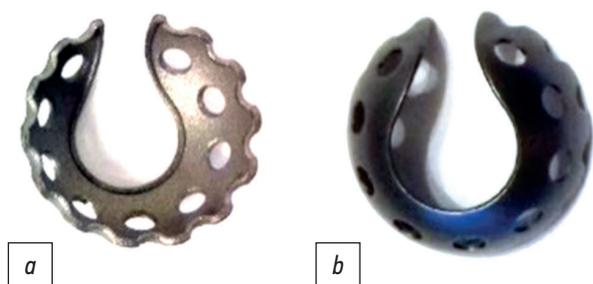


Рис. 1. Универсальное репозиционно-фиксационное кольцо с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости для оперативного лечения переломов вертлужной впадины.

Примечание. *a* — вид со стороны внутренней поверхности, *b* — вид со стороны наружной поверхности.

Fig. 1. Universal repositioning-fixation ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffening rib for the surgical treatment of acetabular fractures.

Note. *a* — view from the side of the inner surface, *b* — view from the side of the outer surface.

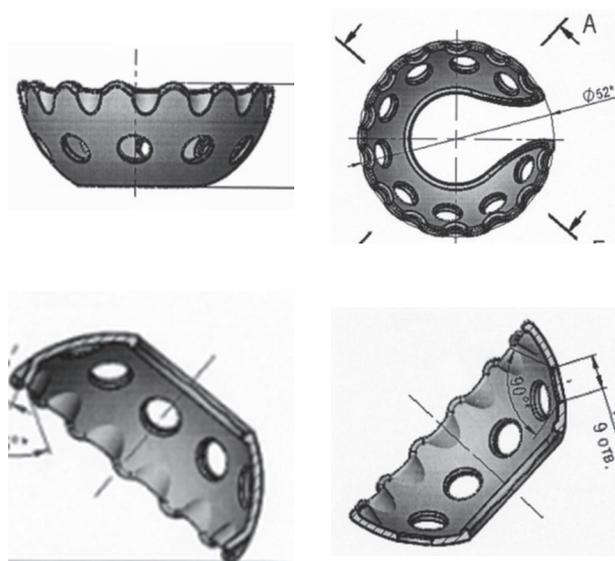


Рис. 2. Фигуры кольца из технического задания и требований на изготовление кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости.

Fig. 2. Figures of the ring from the terms of reference and requirements for the manufacture of a ring with an outer diameter of 52 mm with a stiffener.

Виды нагрузок на кольцо определены, исходя из:

- 1) учёта конструкции кольца, имеющего форму незамкнутой полусферы;
- 2) возможных вариантов нагрузок на кольцо в организме человека;
- 3) цели изучения механических свойств кольца, поскольку непосредственно при помощи кольца выполняется репозиция и фиксация колонн и отломков ВВ (рис. 3).

Для проведения испытаний использовали электро-механическую испытательную машину LFM-50 фирмы

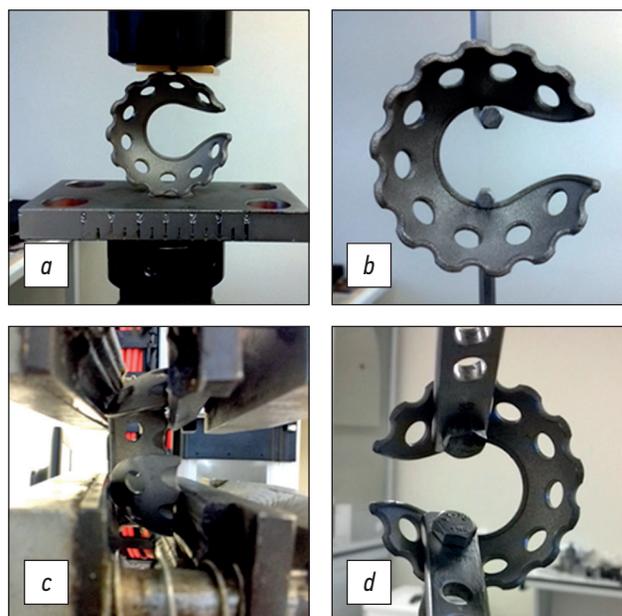


Рис. 3. Статические испытания универсального репозиционно-фиксационного кольца с ребром жёсткости для оперативного лечения переломов вертлужной впадины.

Примечание. *a* — на сжатие, *b* — на растяжение, *c* — на кручение, *d* — на совместное действие растяжения и закручивания краёв разъёма (раскрытие кольца).

Fig. 3. Static tests of a universal repositioning-fixation ring with a stiffener for the surgical treatment of acetabular fractures.

Note. *a* — for compression, *b* — for tension, *c* — for torsion, *d* — for the combined action of tension and twisting of the edges of the connector (opening of the ring).

«Walter + Bai AG» (Швейцария). Параметры испытательной машины:

- 050 кН (диапазон нагрузок);
- скорость нагружения 0–500 мм/мин;
- вращение 60 об./мин;
- точность измерения 0,5%.

Нашей целью было получить диаграммы механических испытаний образца (рис. 4).

Условия проведения испытаний

Нормальные климатические условия по ГОСТ 15150-69:

- температура воздуха 18 °С;
- относительная влажность 64%;
- атмосферное давление 98 кПа (745 мм рт. ст.).

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ И АНАЛИЗ ПОЛУЧЕННЫХ ДАННЫХ

Испытание кольца на сжатие и растяжение

При испытании на сжатие скорость сближения нажимных устройств составила 5 мм/мин. При испытании на растяжение скорость перемещения захватов образца была равна 5 мм/мин.

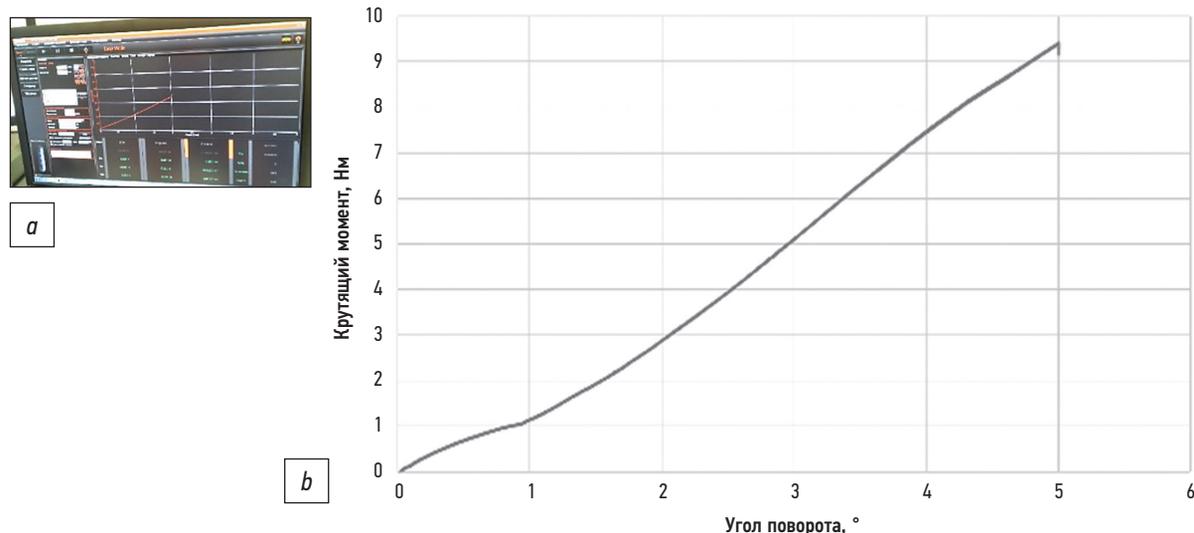


Рис. 4. Графическое отображение статических испытаний универсального репозиционно-фиксационного кольца с ребром жёсткости.

Примечание. *a* — фото диаграммы в программе испытательной машины LFM-50 фирмы «Walter + Bai AG» (Швейцария), *b* — диаграмма результатов испытаний.

Fig. 4. Graphical display of a universal repositioning-fixation ring static tests with a stiffener.

Note. *a* — photo of the diagram in the program of the LFM-50 testing machine from Walter + Bai AG (Switzerland), *b* — diagram of the test results.

Испытания кольца на сжатие и растяжение проводили вплоть до достижения абсолютной деформацией значения 2 мм. Предельная величина деформации в 2 мм была выбрана с учётом результатов исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур ТБС и коленного сустава человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 2 мм принадлежит участку упругого деформирования [31]. Также диапазон деформирования выбран из соблюдения условий работы металлической конструкции в области упругих деформаций. Характер прямолинейной зависимости силы

от деформации и аналогичного характера разгрузки определяет упругое поведение при деформировании этой конструкции кольца (рис. 5, 6). Результаты испытания кольца на сжатие и растяжение приведены в табл. 1.

Испытание кольца на кручение

Испытание кольца на кручение проводили вплоть до угла поворота в 5°. Предельная величина угла поворота в 5° выбрана нами из соображений сохранности окружающих костных тканей и совместной работы с ними металлических конструкций изделия, а также

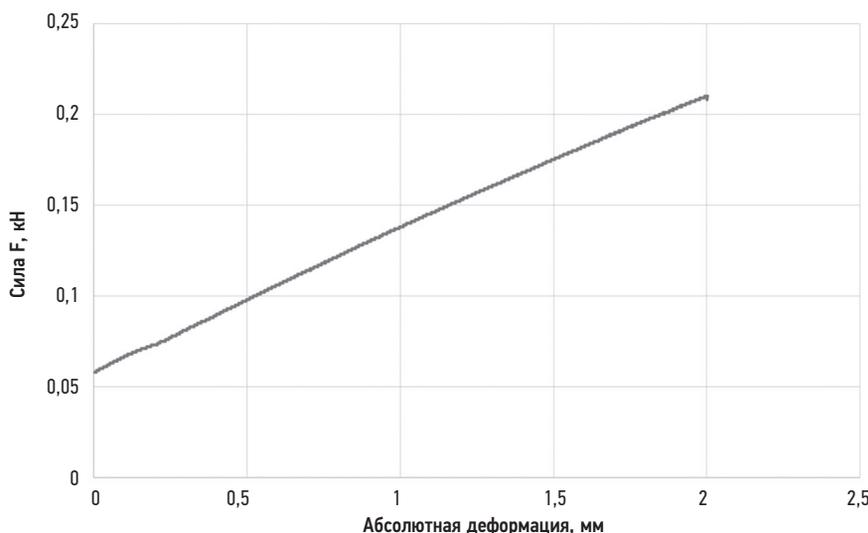


Рис. 5. Диаграмма статического испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие.

Fig. 5. Diagram of a ring static test with a stiffener in compression.

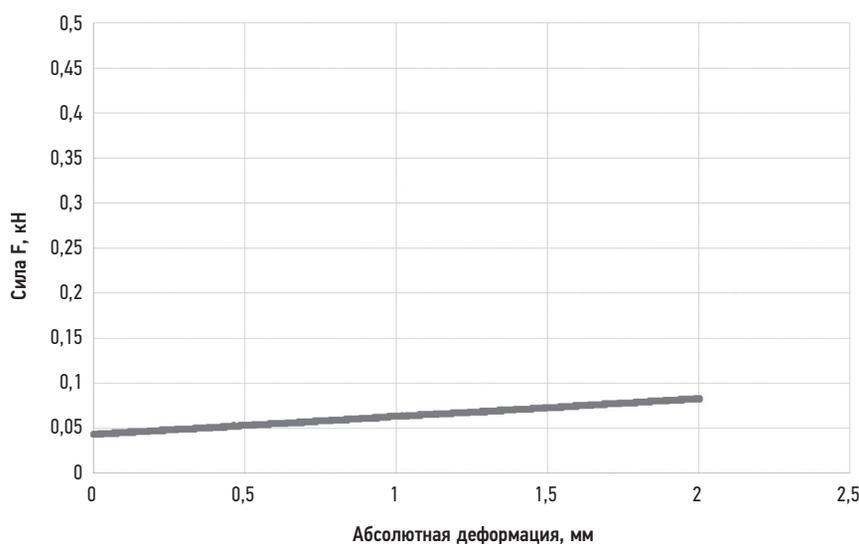


Рис. 6. Диаграмма статического испытания кольца с ребром жёсткости на растяжение.

Fig. 6. Diagram of a ring static test with a tensile stiffener.

Таблица 1. Результаты испытания кольца с ребром жёсткости на сжатие, растяжение, кручение и совместное растяжение с закручиванием краёв разёма кольца

Table 1. Test results of a ring with a stiffener for compression, tension, torsion and joint tension with twisting of the edges of the ring split

Вид испытания	Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм, кН
Сжатие	0,209
Растяжение	0,082
Кручение	Крутящий момент, соответствующий углу поворота 5 °, Нм 9,422 Нм
Совместное растяжение с закручиванием краёв разёма кольца	Нагрузка, соответствующая деформации 10 мм, кН 0,060

необходимости соблюсти условие упругого деформирования кольца. Также она выбрана с учётом результатов исследования механических характеристик костных, хрящевых и связочных структур ТБС и коленного сустава человека, в котором показано, что диапазон деформирования кости от 0 до 5 ° при кручении принадлежит участку упругого деформирования кости [31]. При испытаниях на кручение скорость поворота составляла 0,1 °/с (рис. 7).

На рис. 7 показана диаграмма испытания кольца на кручение. На нём наблюдается «остаточная» деформация в 1,1 °, которая обусловлена не накопленными пластическими деформациями в процессе нагружения, а в большей степени тем фактом, что после достижения предельно заданного значения угла поворота в 5 ° испытание было прекращено. Естественным образом оператор не мог мгновенно разгрузить образец вручную, поэтому в течение нескольких секунд испытательная машина держала достигнутую деформацию. При этом произошла релаксация (снижение) нагрузки на образце на несколько десятых Нм. Это видно на графике: короткий вертикальный отрезок при значении достигнутой деформации 5 °. После этих нескольких секунд оператор вручную снял нагрузку, и траектория разгрузки уже шла не строго

по траектории нагружения, а эквидистантно ей. Именно поэтому в конце разгрузки мы наблюдали «остаточную» деформацию. Результат испытания кольца на кручение см. в табл. 1.

Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание

При испытаниях на совместное растяжение и закручивание краёв разёма скорость перемещения захватов составила 5 мм/мин. При данном виде испытания в исследуемом кольце реализуется сложное напряжённое состояние. Закручивание краёв разёма кольца осуществляли посредством крепления пластин к кольцу, передача нагрузки через которые обеспечивала этот вид испытания. Испытание образца кольца на совместное растяжение и закручивание краёв разёма проводили вплоть до достижения раскрытия разёма на величину 10 мм. Наблюдалась прямолинейная зависимость силы от абсолютной деформации (рис. 8). Разгрузка шла по той же прямой на диаграмме, что и нагружение, приводила в исходное нулевое состояние по деформациям и происходила также прямолинейно. Таким образом, наблюдалось упругое поведение кольца при таком виде нагружения.

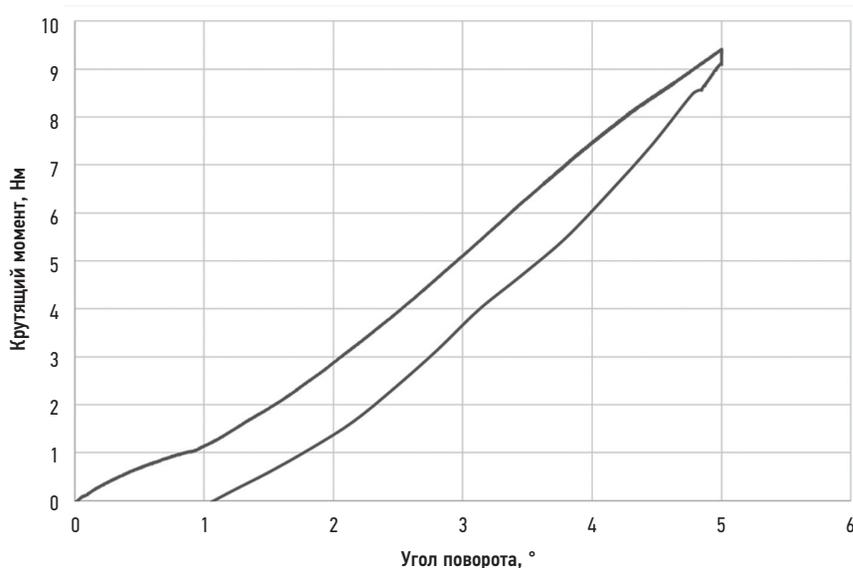


Рис. 7. Диаграмма результатов статических испытаний на кручение кольца с ребром жёсткости, отображающая наличие «остаточной» деформации в 1,1°.

Fig. 7. Diagram of a ring static torsion tests results with a stiffener, showing the presence of a permanent deformation of 1.1°.

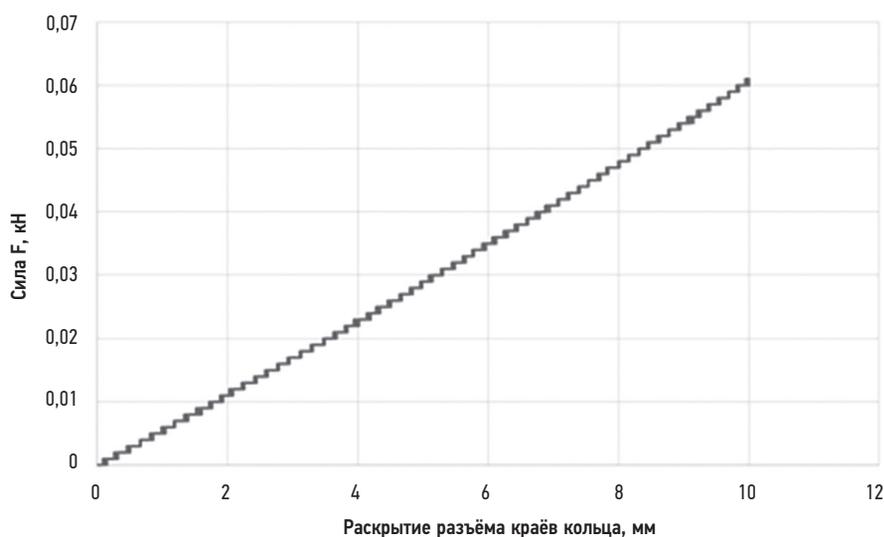


Рис. 8. Диаграмма статического испытания на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма кольца с ребром жёсткости.

Fig. 8. Diagram of a static test for joint tension and twisting of the edges of the split ring with a stiffener.

Результат испытания кольца на совместное растяжение и закручивание представлен в табл. 1.

ОБСУЖДЕНИЕ

Резюме основного результата исследования

В нашей работе проанализированы результаты испытаний деформационных свойств кольца с внешним диаметром 52 мм с ребром жёсткости. При этом диапазон прикладываемой силы при нагружении кольца соответствовал области его упругих деформаций. Определены виды нагрузок на кольцо, а именно: растяжение, сжатие, кручение, сложное напряжённое состояние (совместное

растяжение и закручивание краёв разъёма кольца). Виды нагрузок на кольцо определены исходя из:

- 1) учёта конструкции кольца, имеющего форму незамкнутой полусферы;
- 2) цели изучения механических свойств кольца, поскольку непосредственно при помощи кольца выполняется репозиция и фиксация колонн и отломков ВВ (в связи с чем оно и называется «репозиционно-фиксационное»).

Обсуждение основного результата исследования

В процессе проведения испытания кольца на сжатие и растяжение предусмотрено достижение абсолютной

деформацией значения в 2 мм. В диапазоне абсолютных деформаций 0–2 мм определено упругое поведение данной конструкции кольца при деформировании, а именно получен характер прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичный характер разгрузки. При проведении анализа полученных значений силы при деформации в 2 мм зафиксированы результаты, представленные в табл. 1. Нагрузка, соответствующая деформации 2 мм на сжатие, составила 0,209 кН. График характера прямолинейной зависимости силы от деформации и аналогичного прямолинейного характера разгрузки кольца — по той же траектории, что и при нагружении. У кольца с ребром жёсткости нагрузка, соответствующая деформации 2 мм на растяжение, составила 0,082 кН. На диаграммах испытания на растяжение кольца мы наблюдали прямолинейный характер зависимости силы от деформации. Аналогичный характер прямолинейной зависимости имел место и при разгрузке кольца с отсутствием «остаточной» деформации.

Испытание на кручение для кольца с ребром жёсткости осуществляли вплоть до угла поворота в 5°, при этом скорость поворота была равна 0,1 °/с. Такой режим испытания обусловлен особенностями конструкции кольца, в частности, формой незамкнутой полусферы. Нагрузка кручением (крутящий момент, соответствующий углу поворота 5°) у кольца с ребром жёсткости составила 9,422 Нм (см. табл. 1). Наблюдаемая «остаточная» деформация, как описано выше в пояснениях к рис. 7, это не итог пластического деформирования кольца, она является результатом особенности проведения эксперимента (человеческий фактор при реализации эксперимента оператором установки). На самом деле нагрузка и разгрузка кольца происходила упруго.

Испытание кольца на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма проводили вплоть до достижения раскрытия разъёма на величину 10 мм. Раскрытия кольца, по мнению авторов статьи, можно достичь путём проведения исследования на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма. Этот вид исследования запланирован и проведен с учётом конструктивных особенностей кольца. Незамкнутая полусфера создаёт условия для уменьшения жёсткости кольца и появления дополнительных степеней свободы. В связи с этим было решено провести испытание на совместное растяжение и закручивание

краёв кольца, которое создаёт в кольце сложное напряжённое состояние. Нагрузка на совместное растяжение с закручиванием краёв разъёма (нагрузка, соответствующая деформации 10 мм) у кольца составила 0,060 кН. Разгрузка приводила к возврату по деформациям в исходное нулевое значение и происходила прямолинейно. Таким образом, при этом виде нагружения наблюдалось упругое поведение кольца с ребром жёсткости.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В результате статического испытания кольца с внешним диаметром 52 мм, усиленного ребром жёсткости, на сжатие, растяжение, кручение и на совместное растяжение и закручивание краёв разъёма изучены его деформационные свойства при статических испытаниях в определённом диапазоне нагрузок. Итоги первичного изучения деформационного поведения новой конструкции кольца продемонстрировали упругий характер его деформационных свойств, в том числе обусловленный наличием ребра жёсткости. Полученные положительные первичные результаты изучения деформационного поведения такой конструкции кольца определяют направление дальнейшей доработки конструкции.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гринь А.А., Рунков А.В., Шлыков И.Л. Выбор операционного доступа при лечении двухколонных переломов вертлужной впадины // Травматология и ортопедия России. 2014. Т. 20, № 1. С. 92–97. doi: 10.21823/2311-2905-49
2. Лазарев А.Ф., Солод Э.И., Гудушаури Я.Г., и др. Проблемы лечения переломов вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2013. Т. 20, № 4. С. 81–85. doi: 10.17816/vto20130481-85

3. Бондаренко А.В., Круглыхин И.В., Плотников И.А., и др. Особенности лечения повреждений таза при политравме // Политравма. 2014. № 3. С. 46–57.
4. Белецкий А.В., Воронович А.И., Мурзич А.Э. Определение показаний к оперативному лечению и выбор доступов при сложных комплексных переломах вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2010. Т. 17, № 4. С. 30–37. doi: 10.17816/vto201017430-37
5. Borrelli J. Jr., Anglen J.O., editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Basel: Springer Nature Switzerland AG, 2018.
6. Солод Э.И., Лазарев А.Ф., Лазарев А.А., и др. Возможности оперативного лечения переломов вертлужной впадины с использованием малоинвазивных технологий // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2009. Т. 16, № 2. С. 3–9. doi: 10.17816/vto20091623-9
7. Литвина Е.А. Экстренная стабилизация переломов костей таза у больных с политравмой // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 1. С. 19–25. doi: 10.17816/vto20140119-25
8. Солод Э.И., Лазарев А.Ф., Гудушаури Я.Г., и др. Современные возможности остеосинтеза вертлужной впадины // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2014. Т. 21, № 2. С. 25–32. doi: 10.17816/vto20140225-32
9. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management // *Clin Orthop Relat Res*. 1980. N 151. P. 81–106.
10. Letournel E. The treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach // *Clin Orthop Relat Res*. 1993. N 292. P. 62–76.
11. Letournel E., Judet R., editors. *Fractures of the Acetabulum*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag, 1993. P. 375–385, 521–540, 591–633.
12. Boelch S.P., Jordan M.C., Meffert R.H., Jansen H. Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study // *Int Orthop*. 2016. Vol. 41, N 9. P. 1831–1837. doi: 10.1007/s00264-016-3260-x
13. Hanschen M., Pesch S., Huber-Wagner S., Biberthaler P. Management of acetabular fractures in the geriatric patient // *SICOT-J*. 2017. N 3. P. 37. doi: 10.1051/sicotj/2017026
14. Walley K.C., Appleton P.T., Rodriguez E.K. Comparison of outcomes of operative versus non-operative treatment of acetabular fractures in the elderly and severely comorbid patient // *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017. Vol. 27, N 5. P. 689–694. doi: 10.1007/s00590-017-1949-1
15. Anglen J.O. Acute Total Hip Arthroplasty for Fracture of the Acetabulum: Indications and Current Techniques. In: Borrelli J. Jr., Anglen J.O., editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Springer, Cham, 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5_8
16. Park D.W., Lim A., Park J.W., et al. Biomechanical Evaluation of a New Fixation Type in 3D-Printed Periacetabular Implants using a Finite Element Simulation // *Applied Sciences*. 2019. Vol. 9, N 5. P. 820. doi: 10.3390/app9050820
17. Lont T., Nieminen J., Reito A., et al. K. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients // *Acta Orthop*. 2019. Vol. 90, N 3. P. 275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325
18. Tidermar J., Blomfeldt R., Ponzer S., et al. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprotusion cage and autologous bone grafting for acetabular fractures in elderly patients // *J Orthop Trauma*. 2003. Vol. 17, N 3. P. 193–197. doi: 10.1097/00005131-200303000-00007
19. Sheth H., Salunke A.A., Panchal R., et al. Simultaneous bilateral shoulder and bilateral central acetabular fracture dislocation: What to do? // *Chin J Traumatol*. 2016. Vol. 19, N 1. P. 59–62. doi: 10.1016/j.cjtee.2016.01.006
20. Firoozabadi R., Cross W.W., Krieg J.C., Routt M.L.C. Acetabular Fractures in the Senior Population — Epidemiology, Mortality and Treatments. *Arch Bone Jt Surg*. 2017. Vol. 5, N 2. P. 96–102.
21. Borg T., Hernefalk B., Hailer N.P. Acute total hip arthroplasty combined with internal fixation for displaced acetabular fractures in the elderly. A short-term comparison with internal fixation alone after a minimum of two years // *Bone Joint J*. 2019. Vol. 101-B, N 4. P. 478–483. doi: 10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-1027.R2
22. Westerborn A. Central dislocation of the femoral head treated with mold arthroplasty // *J Bone Joint Surg Am*. 1954. Vol. 36, N A:2. P. 307–314.
23. Cochu G., Mabit C., Gougam T., et al. Total hip arthroplasty for treatment of acute acetabular fracture in elderly patients // *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2007. Vol. 93, N 8. P. 818–827. doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9
24. Rickman M., Young J., Bircher M., et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement // *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012. Vol. 38, N 5. P. 511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9
25. Clarke-Jenssen J., Røise O., Storeggen S.A.Ø., Madsen J.E. Long-term survival and risk factors for failure of the native hip joint after operatively treated displaced acetabular fractures // *Bone Joint J*. 2017. Vol. 99-B, N 6. P. 834–840. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-1013.R1
26. Salama W., Mousa S., Khalefa A., et al. Simultaneous open reduction and internal fixation and total hip arthroplasty for the treatment of osteoporotic acetabular fractures // *Int Orthop*. 2018. Vol. 41, N 1. P. 181–189. doi: 10.1007/s00264-016-3175-6
27. Tempelaere C., Divine P., Begue T. Early simultaneous bilateral total hip arthroplasty for the management of bilateral acetabular fracture in an elderly patient // *Arthroplast Today*. 2019. Vol. 5, N 2. P. 139–144. doi: 10.1016/j.artd.2019.03.008
28. Iqbal F., Ullah A., Younus S., et al. Functional outcome of acute primary total hip replacement after complex acetabular fractures // *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018. Vol. 28, N 8. P. 1609–1616. doi: 10.1007/s00590-018-2230-y
29. Salar N., Bilgen M.S., Bilgen Ö.F., et al. Total hip arthroplasty for acetabular fractures: «Early Application» // *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2017. Vol. 23, N 4. P. 337–342. doi: 10.5505/tjtes.2016.55675
30. De Bellis U.G., Legnani C., Calori G.M. Acute total hip replacement for acetabular fractures: a systematic review of the literature // *Injury*. 2014. Vol. 45, N 2. P. 356–361. doi: 10.1016/j.injury.2013.09.018
31. Гаврюшенко Н.С. Материаловедческие аспекты создания эрозионностойких узлов трения искусственных суставов чело века: дис. ... канд. тех. наук. Москва, 2000. Режим доступа: <https://www.dissercat.com/content/materialovedcheskie-aspekty-sozdaniya-erozionnostoikikh-uzlov-treniya-iskusstvennykh-sustavo>. Дата обращения: 27.11.2022.

REFERENCES

1. Grin' AA, Runkov AV, Shlykov IL. The choice of surgical approach in the treatment of two-column acetabular fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;20(1):92–97. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-49
2. Lazarev AF, Solod EI, Gudushauri YG, et al. Problems in Acetabular Fractures Treatment. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2013;20(4):81–85. (In Russ). doi: 10.17816/vto20130481-85
3. Bondarenko AB, Kruglykhin IV, Plotnikov IA, et al. Features of treatment of pelvic injuries in polytrauma. *Polytrauma*. 2014;3:46–57. (In Russ).
4. Beletskiy AV, Voronovich AI, Murzich AE. Determination of Indications to Surgical Treatment and Choice of Surgical Approaches in Complicated Complex Acetabular Fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2010;17(4):30–37. (In Russ). doi: 10.17816/vto201017430-37
5. Borrelli J Jr, Anglen JO, editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Basel: Springer Nature Switzerland AG; 2018.
6. Solod EI, Lazarev AF, Lazarev AA, et al. Potentialities of Surgical Treatment for Acetabular Fractures Using Low-Invasive Techniques. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2009;16(2):3–9. (In Russ). doi: 10.17816/vto20091623-9
7. Litvina EA. Emergent Stabilization of Pelvic Bones Fractures in Polytrauma. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(1):19–25. (In Russ). doi: 10.17816/vto20140119-25
8. Solod EI, Lazarev AF, Gudushauri YG, et al. Modern Potentialities of Acetabular Osteosynthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2014;21(2):25–32. (In Russ). doi: 10.17816/vto20140225-32
9. Letournel E. Acetabulum fractures: classification and management. *Clin Orthop Relat Res*. 1980;(151):81–106.
10. Letournel E. The treatment of acetabular fractures through the ilioinguinal approach. *Clin Orthop Relat Res*. 1993;(292):62–76.
11. Letournel E, Judet R, editors. *Fractures of the Acetabulum*. 2nd ed. Berlin: Springer-Verlag; 1993. P. 375–385, 521–540, 591–633.
12. Boelch SP, Jordan MC, Meffert RH, Jansen H. Comparison of open reduction and internal fixation and primary total hip replacement for osteoporotic acetabular fractures: a retrospective clinical study. *Int Orthop*. 2016;41(9):1831–1837. doi: 10.1007/s00264-016-3260-x
13. Hanschen M, Pesch S, Huber-Wagner S, Biberthaler P. Management of acetabular fractures in the geriatric patient. *SICOT-J*. 2017;3:37. doi: 10.1051/sicotj/2017026
14. Walley KC, Appleton PT, Rodriguez EK. Comparison of outcomes of operative versus non-operative treatment of acetabular fractures in the elderly and severely comorbid patient. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2017;27(5):689–694. doi: 10.1007/s00590-017-1949-1
15. Anglen JO. Acute Total Hip Arthroplasty for Fracture of the Acetabulum: Indications and Current Techniques. In: Borrelli J Jr, Anglen JO, editors. *Arthroplasty for the Treatment of Fractures in the Older Patient*. Springer, Cham; 2018. P. 129–144. doi: 10.1007/978-3-319-94202-5_8
16. Park DW, Lim A, Park JW, et al. Biomechanical Evaluation of a New Fixation Type in 3D-Printed Periacetabular Implants using a Finite Element Simulation. *Applied Sciences*. 2019;9(5):820. doi: 10.3390/app9050820
17. Lont T, Nieminen J, Reito A, et al. K. Total hip arthroplasty, combined with a reinforcement ring and posterior column plating for acetabular fractures in elderly patients: good outcome in 34 patients. *Acta Orthop*. 2019;90(3):275–280. doi: 10.1080/17453674.2019.1597325
18. Tidermar J, Blomfeldt R, Ponzer S, et al. Primary total hip arthroplasty with a Burch-Schneider antiprolusion cage and autologous bone grafting for acetabular fractures in elderly patients. *J Orthop Trauma*. 2003;17(3):193–197. doi: 10.1097/00005131-200303000-00007
19. Sheth H, Salunke AA, Panchal R, et al. Simultaneous bilateral shoulder and bilateral central acetabular fracture dislocation: What to do? *Chin J Traumatol*. 2016;19(1):59–62. doi: 10.1016/j.cjtee.2016.01.006
20. Firoozabadi R, Cross WW, Krieg JC, Roult MLC. Acetabular Fractures in the Senior Population — Epidemiology, Mortality and Treatments. *Arch Bone Jt Surg*. 2017;5(2):96–102.
21. Borg T, Hernefalk B, Hailer NP. Acute total hip arthroplasty combined with internal fixation for displaced acetabular fractures in the elderly. A short-term comparison with internal fixation alone after a minimum of two years. *Bone Joint J*. 2019;101-B(4):478–483. doi: 10.1302/0301-620X.101B4.BJJ-2018-1027.R2
22. Westerborn A. Central dislocation of the femoral head treated with mold arthroplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 1954;36(A:2):307–314.
23. Cochu G, Mabit C, Gougam T, et al. Total hip arthroplasty for treatment of acute acetabular fracture in elderly patients. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 2007;93(8):818–827. doi: 10.1016/s0035-1040(07)78465-9
24. Rickman M, Young J, Bircher M, et al. The management of complex acetabular fractures in the elderly with fracture fixation and primary total hip replacement. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012;38(5):511–516. doi: 10.1007/s00068-012-0231-9
25. Clarke-Jenssen J, Røise O, Storeggen SAØ, Madsen JE. Long-term survival and risk factors for failure of the native hip joint after operatively treated displaced acetabular fractures. *Bone Joint J*. 2017;99-B(6):834–840. doi: 10.1302/0301-620X.99B6.BJJ-2016-1013.R1
26. Salama W, Mousa S, Khalefa A, et al. Simultaneous open reduction and internal fixation and total hip arthroplasty for the treatment of osteoporotic acetabular fractures. *Int Orthop*. 2018;41(1):181–189. doi: 10.1007/s00264-016-3175-6
27. Tempelaere C, Divine P, Begue T. Early simultaneous bilateral total hip arthroplasty for the management of bilateral acetabular fracture in an elderly patient. *Arthroplast Today*. 2019;5(2):139–144. doi: 10.1016/j.artd.2019.03.008
28. Iqbal F, Ullah A, Younus S, et al. Functional outcome of acute primary total hip replacement after complex acetabular fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2018;28(8):1609–1616. doi: 10.1007/s00590-018-2230-y
29. Salar N, Bilgen MS, Bilgen ÖF, et al. Total hip arthroplasty for acetabular fractures: «Early Application». *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2017;23(4):337–342. doi: 10.5505/tjtes.2016.55675
30. De Bellis UG, Legnani C, Calori GM. Acute total hip replacement for acetabular fractures: a systematic review of the literature. *Injury*. 2014;45(2):356–361. doi: 10.1016/j.injury.2013.09.018
31. Gavryushenko NS. *Materialovedcheskie aspekty sozdaniya erozionnostoikikh uzlov treniya iskusstvennykh sustavov cheloveka* [dissertation]. Moscow; 2000. Available from: <https://www.dissercat.com/content/materialovedcheskie-aspekty-sozdaniya-erozionnostoikikh-uzlov-treniya-iskusstvennykh-sustavo>. Accessed: 27.11.2022. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

* **Колесник Александр Иванович**, д.м.н., профессор;
адрес: Россия, 127287, Москва, ул. Онежская, д. 37;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>;
eLibrary SPIN: 6305-2246; e-mail: ko-lesnik@mail.ru

Гаврюшенко Николай Свиридович, д.т.н., профессор;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-433X>;
eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru

Фомин Леонид Викторович, к.ф.-м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9075-5049>;
eLibrary SPIN: 7186-8776; e-mail: fleonid1975@mail.ru

Донченко Сергей Викторович, к.м.н.;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3341-7446>;
e-mail: Don_03@mail.ru

Солодилов Иван Михайлович, врач-травматолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>;
eLibrary SPIN: 3744-5922; e-mail: Ivan_s_007@mail.ru

Иванов Дмитрий Александрович, врач-травматолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>;
eLibrary SPIN: 9446-1227; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru

Овчаренко Антон Васильевич, врач-травматолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-4828>;
e-mail: antovcharenko@yandex.ru

Суриков Владислав Владимирович, аспирант;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>;
eLibrary SPIN: 9734-7382; e-mail: Airbag366@yandex.ru

Тарасов Евгений Петрович, врач-травматолог;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3960-0148>;
e-mail: t.john@mail.ru

AUTHORS INFO

* **Aleksandr I. Kolesnik**, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor;
address: 37 Onezhskaya Str., 127287, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1435-8743>;
eLibrary SPIN: 6305-2246; e-mail: ko-lesnik@mail.ru

Nikolay S. Gavryushenko, MD, Dr. Sci. (Tech.), Professor;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7198-433X>;
eLibrary SPIN: 3335-6472; e-mail: testlabcito@mail.ru

Leonid V. Fomin, MD, Cand. Sci. (Phys.-Math.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9075-5049>;
eLibrary SPIN: 7186-8776; e-mail: fleonid1975@mail.ru

Sergey V. Donchenko, MD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3341-7446>;
e-mail: Don_03@mail.ru

Ivan M. Solodilov, traumatologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8219-5582>;
eLibrary SPIN: 3744-5922; e-mail: Ivan_s_007@mail.ru

Dmitriy A. Ivanov, traumatologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5821-6774>;
eLibrary SPIN: 9446-1227; e-mail: Ivanovda2001@mail.ru

Anton V. Ovcharenko, traumatologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3014-4828>;
e-mail: antovcharenko@yandex.ru

Vladislav V. Surikov, graduate student;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3668-2376>;
eLibrary SPIN: 9734-7382; e-mail: Airbag366@yandex.ru

Evgeniy P. Tarasov, traumatologist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3960-0148>;
e-mail: t.john@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109447>

Эндопротезирование рукоятки грудины при хондросаркоме G₁: клинический случай

А.А. Снетков¹, Д.В. Хаспекоев², А.И. Снетков¹, Г.Н. Мачак¹¹ НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация;² Детская городская клиническая больница св. Владимира, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Злокачественные новообразования с поражением грудной клетки встречаются достаточно редко и составляют от 0,5 до 3,1% общего числа больных с опухолями костей всех локализаций. В связи с этим имеется достаточно мало публикаций, описывающих тактику хирургического лечения и методов протезирования сформированного дефекта.

Описание клинического случая. В статье представлен случай хирургического лечения пациента в возрасте 18 лет с хондросаркомой G₁ рукоятки грудины с успешным проведением её индивидуального протезирования.

Заключение. Использование современных 3D-технологий позволяет по результатам КТ-моделирования осуществлять не только планирование объёма необходимой резекции костной ткани, но и изготавливать высокотехнологичные протезы при помощи 3D-печати для замещения дефекта с планированием достаточной опороспособности и функции.

Ключевые слова: хондросаркома; протез грудины; опухоль грудной клетки; 3D-печать.

Как цитировать:

Снетков А.А., Хаспекоев Д.В., Снетков А.И., Мачак Г.Н. Эндопротезирование рукоятки грудины при хондросаркоме G₁: клинический случай // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 151–159. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109447>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109447>

Endoprosthesis replacement of the sternum handle in G₁ chondrosarcoma: clinical case

Alexandr A. Snetkov¹, Dmitriy V. Khaspekov², Andrei I. Snetkov¹, Gennadiy N. Machak¹

¹ Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia;

² Children's State Hospital of St. Vladimir, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Malignant neoplasms with lesions of the chest are quite rare in the sternum and range from 0.5 to 3.1% of the total number of patients with bone tumors of all localizations. In this connection, there are few publications describing the tactics of surgical treatment and methods of prosthetics of the formed defect. The present article describes a clinical case of successful application of an individual prosthesis of the manubrium of the sternum in G₁ chondrosarcoma.

CLINICAL CASE DESCRIPTION: to present a clinical observation of the surgical treatment of an 18-year-old patient with G₁ chondrosarcoma of the manubrium of the sternum, with individual prosthetics.

CONCLUSION: The use of modern 3D technologies based on the results of CT modeling allows, not only to plan the volume of necessary bone resection, but also to manufacture high-tech prostheses by using 3D printing to replace the defect with planning sufficient support capacity and function.

Keywords: chondrosarcoma; sternum prosthesis; chest tumor; 3D printing.

To cite this article:

Snetkov AA, Khaspekov DV, Snetkov AI, Machak GN. Endoprosthesis replacement of the sternum handle in G₁ chondrosarcoma: clinical case. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):151–159. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109447>

Received: 22.07.2022

Accepted: 12.09.2022

Published: 29.11.2022

BACKGROUND

Malignant lesions of the flat bones of the chest are usually difficult for surgeons to manage. Although modern imaging techniques enable the selection of the volume of resection according to oncological criteria, the choice of the defect replacement approach makes it necessary to correlate known methods with the task. This difficulty is largely due to the need to consider the high mobility and elasticity of the chest, combined with the need for a large number of fixation sites for the implant in order to create the most complete and most physiological support for the chest. The use of an insufficient number of support points often leads to implant instability.

Primary malignant tumors of the chest wall are relatively rare. Sternum lesions account for 0.5%–3.1% of all bone tumors. The most common bone tumors of the anterior chest wall are chondrosarcomas (27%), followed by osteosarcomas (22%) and fibrosarcomas (22%). Up to 30% of sternum tumors involve cancer metastases from various organs [1–3].

Primary malignant lesions of the sternum in pediatric patients are extremely rare, as are the methods described for the surgical treatment of this disease, which is the reason for our case report on the development and use of an implant.

Radical surgery that strictly complies with the requirements of oncosurgery is crucial in the treatment of most chest sarcomas. Tumors localized to the bones of the anterior chest wall (sternum, clavicle, and ribs) can involve the mediastinal organs, lung parenchyma, great vessels, and nerve plexuses. That is why radical tumor removal should be performed in institutions where there is interaction between thoracic, vascular, traumatological-orthopedic, and oncological surgeons [4–9].

In the preoperative planning of interventions for sternum tumors, it is important to select a method for closing the post-resection defect. If there is impaired integrity in the area of the sternum, it is important to restore the chest skeleton, create an effective support for the ribs and, if possible, preserve the range of motion during breathing. If the manubrium is affected, the integrity of the sternoclavicular articulation, which is important for maintaining shoulder girdle function, will also be impaired. Recent studies describe various attempts to replace chest defects, where reconstruction

with the patient's tissues and synthetic implants, usually in the form of plates (often made of titanium nickelide), were used. Among other things, the use of additive technologies in solving this issue was also discussed; however, the presented solutions did not consider the shoulder girdle function [3, 10–13].

CLINICAL CASE

Patient information

Patient G., aged 18 years, was admitted to the Department of Pediatric Bone Pathology and Adolescent Orthopedics of the N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (Moscow) with a large tumor neoplasm that was palpable around the manubrium. The patient revealed that the lesion was noted 1 year previously. A closed biopsy performed in a primary healthcare facility was uninformative; therefore, the patient was referred to a specialized institution.

Diagnostics

An open biopsy of the pathological focus was performed. Histology revealed a G₁ chondrosarcoma of the manubrium. Computed tomography (CT) and magnetic resonance imaging revealed a space-occupying lesion in the manubrium with elements of lytic destruction of bone structures (Fig. 1, 2).

Treatment

Given the lesion location and the fact it was necessary to totally remove the manubrium, the volume of resection would have notably reduced the amount of chest skeleton and the support ability of the sternoclavicular articulation, and would have affected shoulder girdle function. The solutions proposed by various authors to this problem currently include the use of standard plates that fix the chest or highly specific additive technologies. Regarding the implants proposed, the replacement of a tumor defect in case of a malignant neoplasm was secondarily considered. Thus, to solve this clinical problem, a CT study of the patient was used to reconstruct the bone anatomy of the chest with a tumor based on data of the Digital Imaging and Communications in Medicine archive (the medical industry standard for creating,

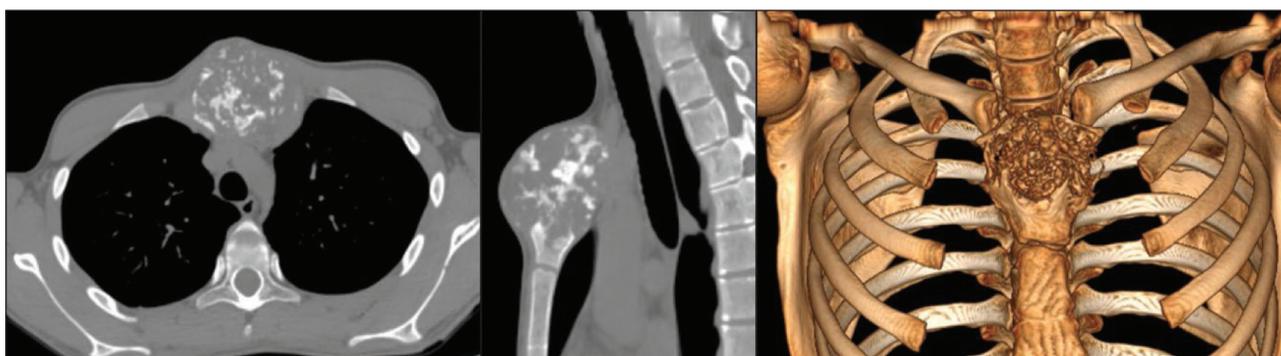


Fig. 1. Computed tomography image of the manubrium of the patient G.

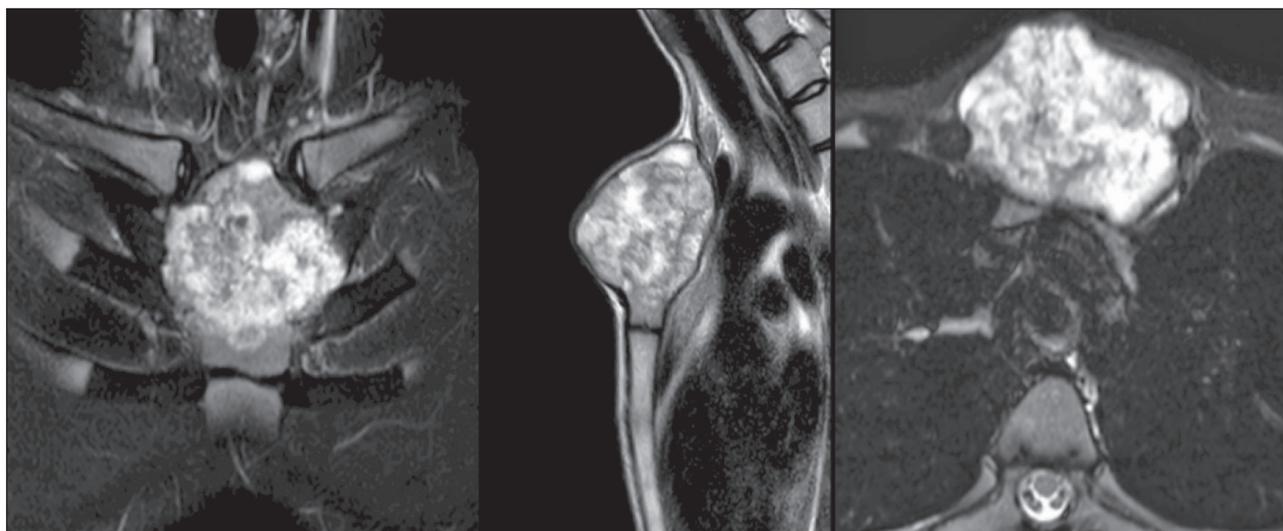


Fig. 2. Magnetic resonance image of the manubrium of the patient G.

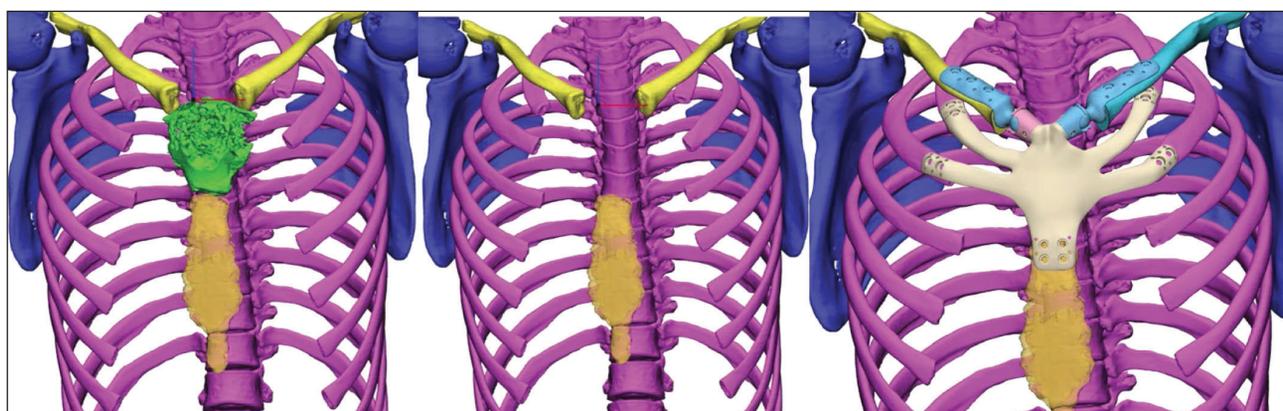


Fig. 3. Modeling of the surgical intervention according to the CT of the patient G.

storing, transmitting, and visualizing digital medical images and documents of examined patients). Based on the 3D model, the volume of the manubrium for resection was reconstructed for the preoperative planning of the implant (Fig. 3).

Considering the formed defect, existing anatomical structures of the patient, and terms of reference, an implant design was formulated, which included the following requirements:

- fixation of ribs 1 and 2 and the sternum body to bone structures;
- fixation points would be prepared with 3.5-mm cortical screws and cerclages in the form of pre-modeled holes;
- fixation to the clavicles using plates, with the formation of a platform for the area of resection regarding the sternoclavicular articulation;
- design of a hinge structure in the sternoclavicular articulation to maintain mobility in the upper shoulder girdle;
- product materials would comprise titanium and polyethylene.

In cooperation with NPK Sintel (Russia), we designed a prosthesis for the manubrium with movable elements for sternoclavicular articulation (Fig. 4).

Contrast-enhanced CT was performed during the preoperative preparation (Fig. 5). Firm adherence of the tumor to the left and right internal thoracic arteries and the aorta was noted. Considering the expected extent of intervention and possible intraoperative risks, the surgical team included an orthopedic traumatologist, an oncologist, and a thoracovascular surgeon.

Access to the tumor and sternum was through a skin incision in the form of a three-pointed star. The pectoral muscles were mobilized and dissected (Fig. 6). The anterior sections of the tumor, the body of the sternum, clavicle, and the pairs of ribs 1 and 2 were separated. Above rib 3 on the left and right, the pleura was bluntly dissected. A sternotomy was inserted through the formed channel, and the sternum was transected. Segmental resection of the cartilaginous part of the pairs of ribs 1 and 2 was performed, and the sternoclavicular articulations were transected on the left and right. The sternocleidomastoid muscle was dissected away on the left and right.

Next, the manubrium (with the tumor) was mobilized from the pleura; the fragment with the tumor was brought out ventrally and the soft tissues were also mobilized. The manubrium was removed as a single block. During the mobilization, no defect of the internal thoracic arteries or the aortic wall was noted. In preparation for the prosthetics, a 1-cm resection of the medial part of the clavicles was performed. Before implantation, the support zones were sutured with cerclages (Fig. 7).

Using cortical screws and cerclage sutures, the implant was fixed to the bone structures. The functional test revealed the rigid and stable fixation of the lower pole of the implant and preservation of movements in

the sternoclavicular articulation during functional tests. The implant was gradually covered with the pectoral muscles. The sternocleidomastoid muscles were sutured to the implant and soft tissues of the pectoral muscles adjacent to the implant. The blood loss was 240 mL, and the surgery lasted for 3 h 35 min. The patient stayed in the resuscitation and anesthesia department for 1 day and was transferred to the hospital. No respiratory problems were noted in the postoperative period. A 40-mL hematoma was noted in the projection of the pectoral muscle on the right and was completely evacuated with double puncture. According to CT control data, the implant position was stable (Fig. 8).



Fig. 4. A 3D model prototype and the finished product.



Fig. 5. CT arteriography with contrast enhancement of the aorta and internal thoracic artery.



Fig. 6. Stages of tumor isolation in the patient G.

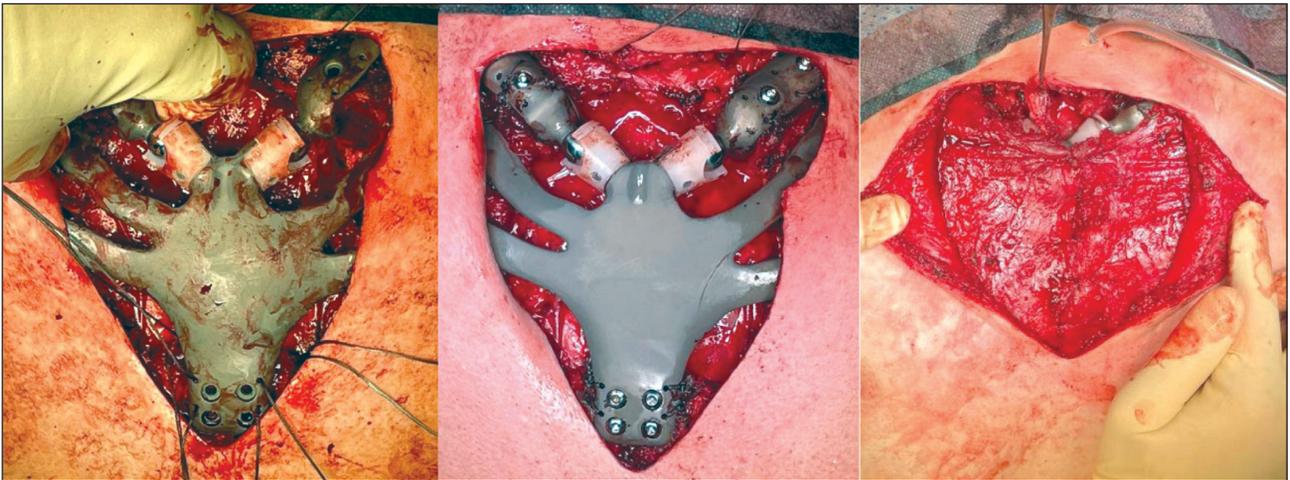


Fig. 7. Implantation stages.



Fig. 8. Radiograph, CT reconstruction, and appearance of the patient after surgery.

Dynamics and outcomes

The patient was placed on Delbe rings on day 5 to stabilize the shoulder girdle. On day 14, he was discharged for outpatient follow-up to the primary healthcare facility. Posture correction of the thoracic spine was scheduled 3 months after surgery. Development of movements in the upper shoulder girdle was monitored by a rehabilitation specialist 2 months after the surgery. Images after 12 months showed no signs of recurrence or implant instability. Full function was recorded during movements of the shoulder girdle. Signs of implant instability were not detected by CT, and the patient has not complained of pain or discomfort (Fig. 9).

DISCUSSION

Analyzing the surgical technique and type of implant used in the literature is usually difficult because additive

prostheses with replacement elements for the manubrium are described in only a few reports, and none of the described implants had movable sternoclavicular articulations [11, 14, 15]. In our opinion, maintaining the support ability and biomechanics of the upper shoulder girdle is important and was implemented in our case. Among other things, the hybrid type of attachment to the bone elements allows strong contact with the implant and reduces the risk of prosthesis instability, which is crucial for the maturation of cicatricial tissue in the early postoperative period.

Sternum tumors are rare, and there is no unified implant that applies to every patient; therefore the use of additive technologies for such tumors is important [2–4]. Moreover, a prosthesis of the entire sternum or its segments in surgical practice is extremely rare; thus, data regarding the use of individual implants and long-term follow-up details are scarce. Our study seems relevant as it provides important

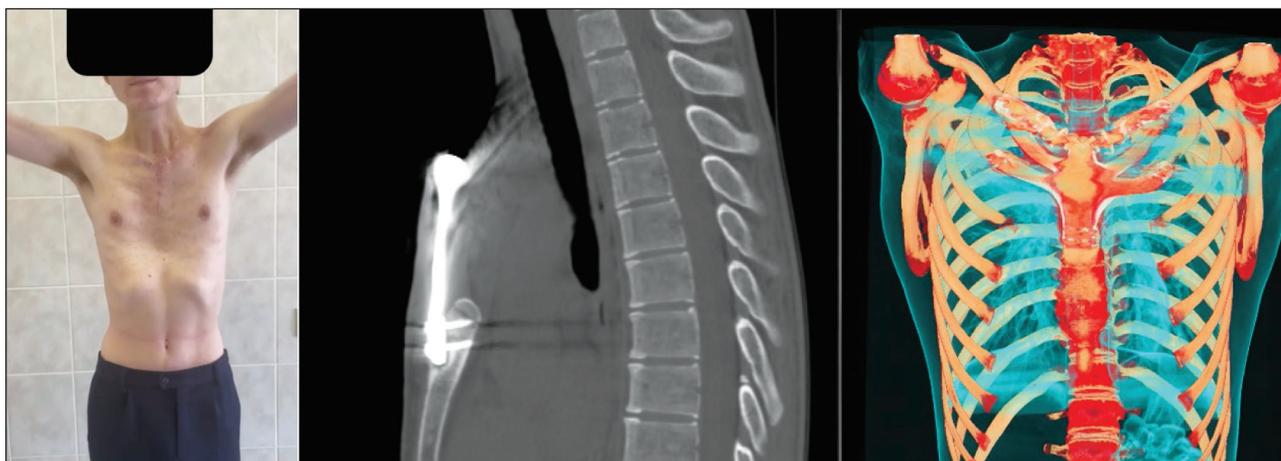


Fig. 9. CT reconstruction of the prosthesis position and the function of the shoulder girdle 1 year after the surgery.

information regarding possible management considerations for sternum tumors.

CONCLUSION

Individual prosthetics for tumor lesions of the sternum seem mandatory for many surgical cases because of the different chest shapes of patients and different lesion volumes. When designing individual implants, many factors should be considered, such as the biomechanics of breathing and the support ability of the upper shoulder girdle, including the sternoclavicular articulation. As with all individual products, the possibility of errors in their manufacture cannot be ruled out; therefore, it is necessary to strictly observe the positioning of patients during CT and accurately determine the volume of the selected bone tissue for resection before installing an individual implant.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы

внесли существенный вклад в разработку концепции и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Государственное бюджетное финансирование.

Funding source. State budget financing.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента (дата подписания 08.11.21) на публикацию его медицинских данных и фотографий.

Consent for publication. Written consent (signed 08.11.21) was obtained from the legal representatives of the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алиев М.Д., Соловьев Ю.Н., Мусаев Э.Р. Хондросаркома кости. Москва: Инфра-М, 2006. С. 102–104.
2. Malawer M., Sugarbaker P.H. Musculoskeletal Cancer Surgery. Dordrecht–Boston–London: Springer, 2001. P. 383–405.
3. Иванов В.Е., Курильчик А.А., Рагулин Ю.А., и др. Комплексное лечение остеосаркомы грудины с замещением сложного дефекта грудной стенки // Сибирский онкологический журнал. 2017. Т. 16, № 4. С. 96–102. doi: 10.21294/1814-4861-2017-16-4-96-102
4. Махсон А.Н., Махсон Н.Е. Адекватная хирургия опухолей конечностей. Монография. Москва: Реальное время, 2001. С. 130–145.
5. Махсон А.Н., Махсон Н.Е. Адекватная хирургия при опухолях плечевого и тазового пояса. Монография. Москва: Реальное время, 1998. С. 36–42.
6. Unni K.K., Inwards C.Y., Bridge J.A., et al. Tumors of the Bones and Joints. In: Atlas of Tumor Pathology, Series 4. Silver Spring: American Registry of Pathology, 2005. P. 87–94. doi: 10.55418/188104193X
7. Дворниченко В.В., Кожевников А.Б., Шишкин К.Г., и др. Пластика дефектов грудной стенки в остеонкологии // Сибирский медицинский журнал (Иркутск). 2012. Т. 113, № 6. С. 144–146.
8. Давыдов М.И., Алиев М.Д., Соболевский В.А., Илюшин А.Л. Хирургическое лечение злокачественных опухолей грудной стенки // Вестник РОНЦ им. Н.Н. Блохина РАМН. 2008. Т. 19, № 1. С. 35–40.
9. Bawa H.S., Moore D.D., Pelayo J.C., et al. Pediatric Chondrosarcoma of the Sternum Resected with Thorascopic Assistance // Open Orthop J. 2017. N 11. P. 479–485. doi: 10.2174/1874325001711010479

10. Жеравин А.А., Гюнтер В.Э., Анисеня И.И., и др. Реконструкция грудной стенки с использованием никелида титана у онкологических больных // Сибирский онкологический журнал. 2015. Т. 1, № 3. С. 31–37.
11. Wang W., Liang Z., Yang S., et al. Three-dimensional (3D)-printed titanium sternum replacement: A case report // *Thorac Cancer*. 2020. Vol. 11, N 11. P. 3375–3378. doi: 10.1111/1759-7714.13655
12. Lin C.W., Ho T.Y., Yeh C.W., et al. Innovative chest wall reconstruction with a locking plate and cement spacer after radical resection of chondrosarcoma in the sternum: A case report // *World J Clin Cases*. 2021. Vol. 9, N 10. P. 2302–2311. doi: 10.12998/wjcc.v9.i10.2302

13. Koto K., Sakabe T., Horie N., et al. Chondrosarcoma from the sternum: reconstruction with titanium mesh and a transverse rectus abdominis myocutaneous flap after subtotal sternal excision // *Med Sci Monit*. 2012. Vol. 18, N 10. P. CS77–CS81. doi: 10.12659/msm.883471
14. Wen X., Gao S., Feng J., et al. Chest-wall reconstruction with a customized titanium-alloy prosthesis fabricated by 3D printing and rapid prototyping // *J Cardiothorac Surg*. 2018. Vol. 13, N 1. P. 4. doi: 10.1186/s13019-017-0692-3
15. Lipińska J., Kutwin L., Wawrzycki M., et al. Chest reconstruction using a custom-designed polyethylene 3D implant after resection of the sternal manubrium // *Onco Targets Ther*. 2017. N 10. P. 4099–4103. doi: 10.2147/OTT.S135681

REFERENCES

1. Aliev MD, Solov'ev Yu, Musaev E.R. *Khondrosarkoma kosti*. Moscow: Infra-M; 2006. P. 102–104. (In Russ).
2. Malawer M, Sugarbaker P.H. *Musculoskeletal Cancer Surgery*. Dordrecht–Boston–London: Springer; 2001. P. 383–405.
3. Ivanov VE, Kurilchik AA, Ragulin YuA, et al. Multimodality therapy for osteosarcoma of the sternum with reconstruction of complex chest wall defects. *Siberian Journal of Oncology*. 2017;16(4):96–102. (In Russ). doi: 10.21294/1814-4861-2017-16-4-96-102
4. Makhson AN, Makhson NE. *Adekvatnaya khirurgiya opukholei konechnostei. Monografiya*. Moscow: Real'noe vremya, 2001. P. 130–145. (In Russ).
5. Makhson AN, Makhson NE. *Adekvatnaya khirurgiya pri opukholyakh plechevogo i tazovogo poyasa. Monografiya*. Moscow: Real'noe vremya, 1998. P. 36–42. (In Russ).
6. Unni KK, Inwards CY, Bridge JA, et al. *Tumors of the Bones and Joints*. In: Atlas of Tumor Pathology, Series 4. Silver Spring: American Registry of Pathology; 2005. P. 87–94. doi: 10.55418/188104193X
7. Dvornichenko VV, Kozhevnikov AB, Shishkin KG, et al. The reconstructive surgery of sternal defects in oncology. *Siberian Medical Journal (Irkutsk)*. 2012;113(6):144–146. (In Russ).
8. Davydov MI, Aliyev MD, Sobolevsky VA, Ilyushin AL. Surgical treatment of malignant tumors of the chest wall. *Vestnik RONTs im. N.N. Blokhina RAMN*. 2008;19(1):35–40. (In Russ).
9. Bawa HS, Moore DD, Pelayo JC, et al. Pediatric Chondrosarcoma of the Sternum Resected with Thorascopic Assistance. *Open Orthop J*. 2017;11:479–485. doi: 10.2174/1874325001711010479
10. Zheravin AA, Gyunter VE, Anisenya II, et al. Reconstruction of the chest wall using titanium nickelid for cancer patients. *Siberian Journal of Oncology*. 2015;1(3):31–37. (In Russ).
11. Wang W, Liang Z, Yang S, et al. Three-dimensional (3D)-printed titanium sternum replacement: A case report. *Thorac Cancer*. 2020;11(11):3375–3378. doi: 10.1111/1759-7714.13655
12. Lin CW, Ho TY, Yeh CW, et al. Innovative chest wall reconstruction with a locking plate and cement spacer after radical resection of chondrosarcoma in the sternum: A case report. *World J Clin Cases*. 2021;9(10):2302–2311. doi: 10.12998/wjcc.v9.i10.2302
13. Koto K, Sakabe T, Horie N, et al. Chondrosarcoma from the sternum: reconstruction with titanium mesh and a transverse rectus abdominis myocutaneous flap after subtotal sternal excision. *Med Sci Monit*. 2012;18(10):CS77–CS81. doi: 10.12659/msm.883471
14. Wen X, Gao S, Feng J, et al. Chest-wall reconstruction with a customized titanium-alloy prosthesis fabricated by 3D printing and rapid prototyping. *J Cardiothorac Surg*. 2018;13(1):4. doi: 10.1186/s13019-017-0692-3
15. Lipińska J, Kutwin L, Wawrzycki M, et al. Chest reconstruction using a custom-designed polyethylene 3D implant after resection of the sternal manubrium. *Onco Targets Ther*. 2017;10:4099–4103. doi: 10.2147/OTT.S135681

ОБ АВТОРАХ

* **Снетков Александр Андреевич**, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5837-9584>;
eLibrary SPIN: 8901-4259; e-mail: isnetkov@gmail.com

Хаспеков Дмитрий Викторович, врач-хирург;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6808-7670>;
e-mail: Khaspekov@mail.ru

Снетков Андрей Игоревич, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2435-6920>;
eLibrary SPIN: 9447-3013; e-mail: cito11@hotmail.ru

Мачак Геннадий Николаевич, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
eLibrary SPIN: 4020-1743; e-mail: machak.gennady@mail.ru

AUTHORS INFO

* **Alexandr A. Snetkov**, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5837-9584>;
eLibrary SPIN: 8901-4259; e-mail: isnetkov@gmail.com

Dmitriy V. Khaspekov, surgeon;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6808-7670>;
e-mail: Khaspekov@mail.ru

Andrei I. Snetkov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2435-6920>;
eLibrary SPIN: 9447-3013; e-mail: cito11@hotmail.ru

Gennadiy N. Machak, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
traumatologist-orthopedist;
eLibrary SPIN: 4020-1743; e-mail: machak.gennady@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью в оценке предоперационной подготовки пациентки с диастематомиелией I типа: клинический случай

С.В. Колесов, М.Б. Цыкунов, С.Б. Багиров, С.В. Семендуев, Н.С. Морозова

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Диастематомиелия — это редкая врождённая аномалия спинного мозга, характеризующаяся его расщеплением в позвоночном канале, которая может сочетаться с деформацией позвоночника. При проведении коррекции сколиотической деформации у пациентов с этой аномалией высок риск развития неврологических нарушений в связи с его фиксацией, поэтому необходима предварительная его мобилизация хирургически. В предстоящей корригирующей операции немаловажную роль также играет предоперационная галотракционная подготовка в сочетании с лечебной физической культурой.

Описание клинического случая. Представлен клинический случай применения аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью «Tergimed 3D» в оценке эффективности предоперационной галогравитационной тракции в комбинации с мобилизирующей лечебной физической культурой у пациентки со сложной деформацией позвоночника на фоне врождённой аномалии развития (диастематомиелии I типа) для подготовки к оперативной коррекции.

Заключение. Использование этого аппарата позволяет предположить, что комбинация лечебной физической культуры и галотракции может быть эффективно применена для предоперационной подготовки пациентов с ригидными сколиотическими деформациями и аномалиями позвоночника. Его применение помогает анализировать предоперационную подготовку у больных с врождёнными деформациями позвоночника.

Ключевые слова: диастематомиелия; галотракция; лечебная физическая культура; «Tergimed 3D».

Как цитировать:

Колесов С.В., Цыкунов М.Б., Багиров С.Б., Семендуев С.В., Морозова Н.С. Применение аппарата интеллектуальной системы с биологической обратной связью в оценке предоперационной подготовки пациентки с диастематомиелией I типа: клинический случай // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 161–172. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

The use of the apparatus of an intelligent system with biofeedback in the evaluation of preoperative preparation of a patient with type I diastematomyelia: clinical case

Sergey V. Kolesov, Mikhail B. Tsykunov, Samir B. Bagirov, Semen V. Semenduev, Nataliia S. Morozova

Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Diastematomyelia is a rare congenital anomaly of the spinal cord, characterized by its cleavage in the spinal canal, which can be combined with spinal deformity. When correcting scoliotic deformity, patients with this anomaly have a high risk of developing neurological disorders due to its fixation. Therefore, its preliminary mobilization surgically is necessary. In the upcoming corrective surgery, an important role is also played by preoperative halo-traction training in combination with therapeutic physical culture.

CLINICAL CASE DESCRIPTION: A clinical case of the use of the «Tergumed 3D» intelligent biofeedback system in assessing the effectiveness of preoperative halo-gravity traction in combination with mobilizing therapeutic physical culture in a patient with complex spinal deformity against the background of congenital malformation (type I diastematomyelia) to prepare for surgical correction is presented.

CONCLUSION: The results of this study suggest that the combination of physical therapy and halo-traction can be effectively used for preoperative preparation of patients with rigid scoliotic deformities and spinal anomalies. It help analyze preoperative preparation in patients with congenital spinal deformities.

Keywords: diastematomyelia; halo-traction; physical therapy; «Tergumed 3D».

To cite this article:

Kolesov SV, Tsykunov MB, Bagirov SB, Semenduev SV, Morozova NS. The use of the apparatus of an intelligent system with biofeedback in the evaluation of preoperative preparation of a patient with type I diastematomyelia: clinical case. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):161–172. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109921>

BACKGROUND

Diastematomyelia is a rare congenital spinal cord anomaly characterized by splitting in the spinal canal along one or more vertebrae and being divided into two columns by an osseous (type I) or fibrous (type II) septum (spur) [1, 2]. The septum can be isolated or combined with other congenital spinal abnormalities such as *spina bifida*, kyphoscoliosis, hemivertebrae, and butterfly vertebrae. The prevalence of congenital spinal deformities ranges from 0.5 to 1 case per 1000 newborns [3, 4], with diastematomyelia diagnosed in 5% of children with congenital scoliosis [5]. If a scoliotic deformity must be corrected in a patient, there is a high risk of neurological disorders due to spinal cord traumatization caused by fixation at the septum or in the caudal regions [6]. As a result, preliminary mobilization of the spinal cord is required by removing this spur. Let us look more closely at the combined defect, diastematomyelia, with kyphoscoliosis. According to some authors, preoperative halo-traction preparation is a well-tolerated and relatively safe procedure in the next-generation corrective surgery for severe kyphoscoliotic spinal deformity [7, 8]. Exercise therapy (ET) methods are used in the preoperative preparation of patients with scoliotic spine deformity to reduce the risk of complications in the early postoperative period and to increase the patient's overall rehabilitation potential [9–11].

The following is a clinical case of surgical treatment of a patient with severe kyphoscoliotic deformity associated with a congenital anomaly, type I diastematomyelia. In conjunction with ET, dosed halo-gravitational traction was used in sitting in a chair and standing in a walking frame during preoperative preparation. We also used mobilizing gymnastics with stretching exercises, hanging (the patient's hanging position), back strengthening of the extensor muscles, and breathing exercises. Classes were held according to an individual program, with an ET instructor-methodologist in the gym. In addition, we used the Tergumed 3D (BEKO, Germany), an intelligent system with biofeedback, to evaluate the preparation, which measures the amplitudes of spinal movements and the static strength of the muscles involved. According to the literature, such devices are primarily used for lumbar pain training and [12–15] to study muscle imbalance in scoliotic deformities [16, 17], but we did not find any studies that included a combination of halo-traction and ET with subsequent measurement mobility on the device with biofeedback for preoperative preparation of patients for scoliotic deformity correction.

CLINICAL CASE

Patient S.A., 22 years old, was admitted to the N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics (Moscow) in the spring of 2022 with complaints of kyphoscoliotic spine deformity, recurrent back pain without irradiation up to 7 points on the visual analog scale (VAS). According to the patient, her parents first noticed her spinal

deformity when she was three years old. The maximum progression of scoliosis was observed at the age of ten years. Courses of conservative treatment (ET, physiotherapy, acupuncture, and massage) and corseting were performed at Tajikistan's primary healthcare facility, but the deformity steadily worsened. The primary healthcare facility refused surgical treatment. At 16, the patient was diagnosed with a congenital malformation of the spine and spinal cord, concrescence of the vertebral bodies Th_{VII–VIII}, type I diastematomyelia at the level of the vertebra Th_{VIII}, and tethered spinal cord syndrome. The patient's parents sought medical attention at one of Russia's clinics, where it was decided to perform surgical treatment consisting of an osteoplastic laminectomy of Th_{VII–Th_{IX}}, removal of the osseous septum of the spinal canal at the level of Th_{VIII}, laminectomy at the level of the vertebrae L_{V–S_{III}}, transection of the terminal filament, and implantation of pedicle screws at the level of the vertebrae Th_{VIII–Th_X}. As a result, the parents refused to continue treatment at this clinic and sought medical attention elsewhere. The patient was also examined, and type I diastematomyelia was discovered at the vertebrae Th_{XI–Th_{XII}}. Surgery was performed, including resection laminotomy of Th_{XI–Th_{XII}}, resection of the osteofibrous septum of the spinal canal at this level with the elimination of spinal cord fixation and dismantling of screws. Unfortunately, the kyphoscoliotic deformity was not corrected. The patient was released for outpatient aftercare. She was regularly engaged in ET at the primary healthcare facility, but she noticed the emergence of pain syndrome and an increase in the deformity angle. She applied to our institution in April 2022.

Postural spondylograms revealed left-sided thoracolumbar degree IV kyphoscoliosis, with a scoliotic deformity angle of 70° in the thoracic region, 90° in the lumbar region, local kyphosis angle of 73° in the thoracolumbar transition, and 5.7 cm of negative sagittal imbalance (SVA, sagittal vertical axis) (Fig. 1).



Fig. 1. Postural spondylograms upon admission.

During the preoperative planning stage, the patient underwent a traction test, and the magnitude of the deformity angles was corrected to 53° , 73° , and 64° , respectively. The thoracic mobility index (MI) was 0.76, the lumbar mobility index (MI) was 0.81, and the local kyphosis index was 0.88. A CT scan was also performed, from which a 3D spine model was printed, and areas of previous surgical interventions (laminectomy) were visualized, where potentially high risks of dural membrane damage when approaching posterior elements existed (Fig. 2).

Because of the severity of the deformity, its rigidity, the revision of the surgical intervention, and the high risk of neurological complications with simultaneous correction, it was decided to perform preoperative halo-gravitational traction in a chair and a walking frame in conjunction with mobilizing ET at stage 1, and interventions to correct and stabilize the spine at stage 2. Traction was established in the chair at a sitting posture the next day after the halo ring was

installed. After 3 days, dosed halo-traction was added in a walking frame. From the first day following ring installation, the patient began to visit the gym, where ET sessions were performed according to an individual program to mobilize the spine, increase muscle strength of the back extensor muscles, and improve the functions of external respiration. There were 28 days of traction, with 12 ET sessions. The patient was checked daily for neurological traction complications. After preoperative halo-gravitational preparation and ET, a traction test of the spine was performed again, and the magnitude of scoliotic curves decreased to 45° (MI=0.64) in the thoracic region and 68° (MI=0.76) in the lumbar region, whereas local kyphosis decreased up to 58° (MI=0.79; Fig. 3).

A study was conducted using an intelligent system apparatus with biofeedback on the day after the halo ring installation and the day before stage 2 of the surgery to assess the parameters of muscle strength and spine mobility (Figs. 4, and 5; tables 1, 2).

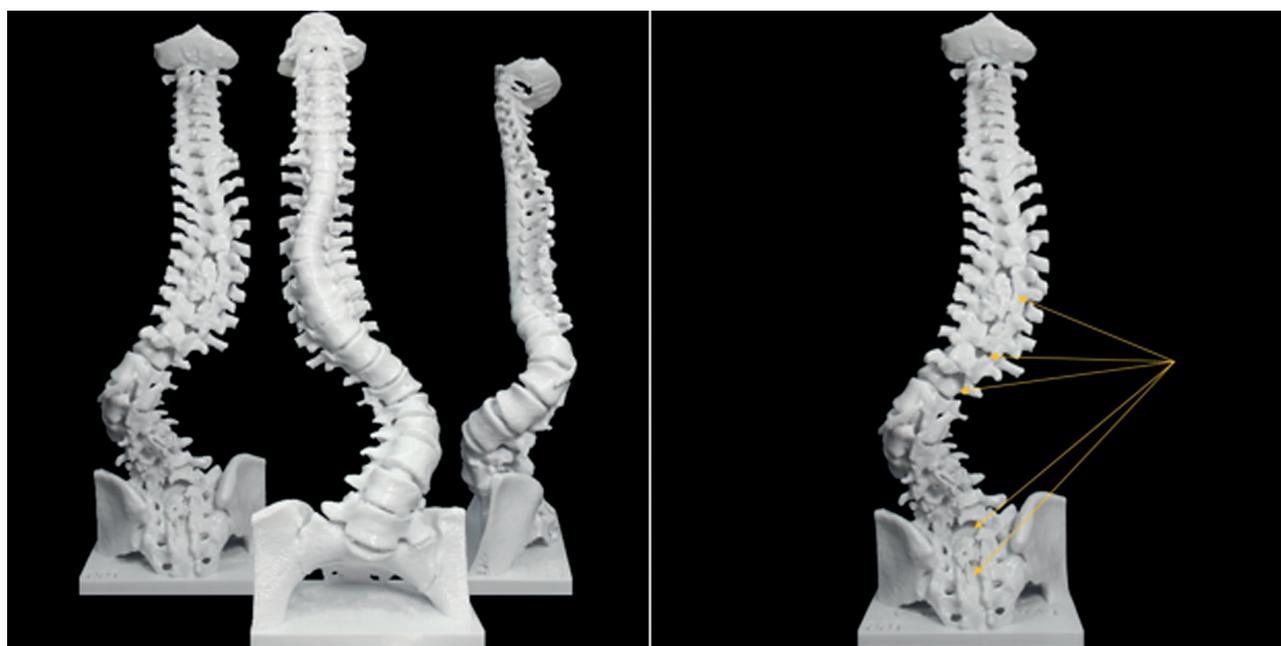


Fig. 2. 3D model of the patient's spine (rear view). Depicted as preoperative planning. The arrows depict defects in the posterior elements of the spine.

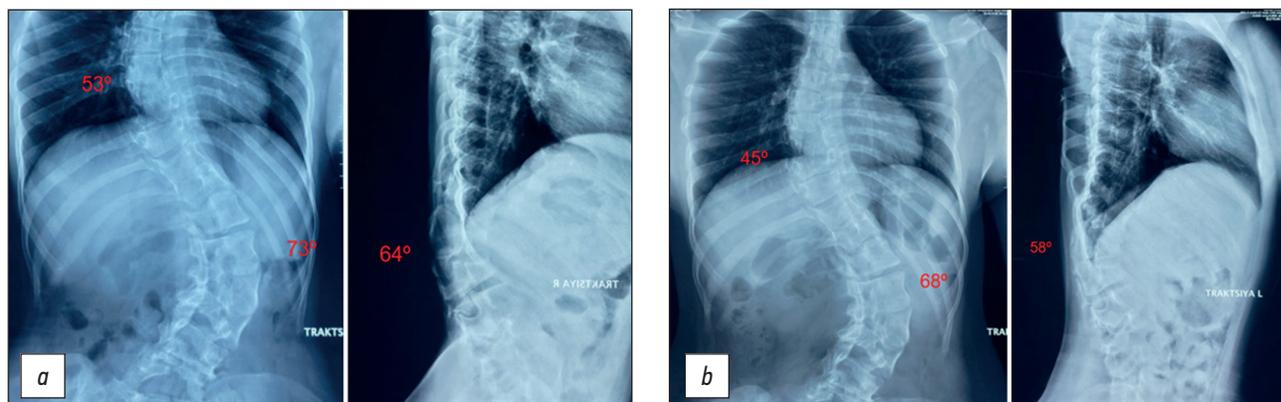


Fig. 3. Functional radiographs of traction tests (a) before the preoperative preparation and (b) after its completion in 28 days.

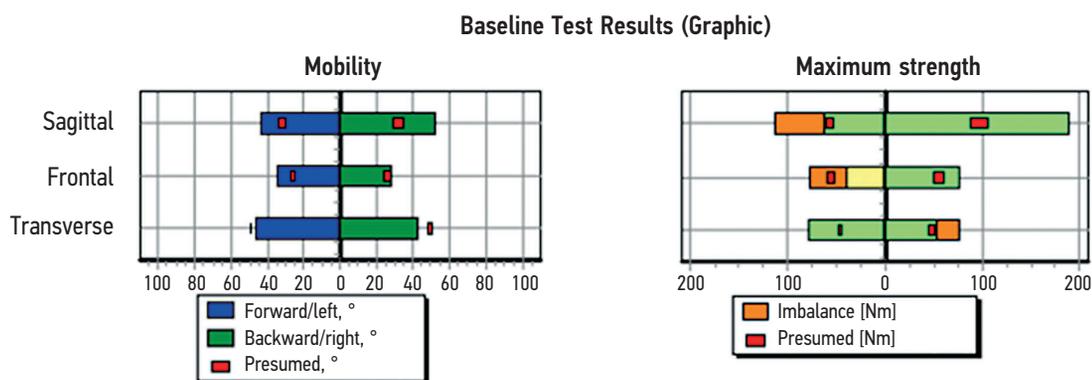


Fig. 4. Research results at the beginning of preoperative preparation (screenshots from the program).

Table 1. Research results at the beginning of preoperative preparation (screenshot from the program)

Test program												
Parameter	Value											
Repetitions (maximum strength)	3											
Pause between repetitions, s	10											
Repetition time, s	7											
Repetitions (Mobility)	3											
Execution mode	Bilateral synchronous											
Mobility Test Results												
		Angle, °							Imbalance			
Plane	Motion	Presum.	Meas.	%	Motion	Presum.	Meas.	%	[°]	%	[°]	
Sagittal	Abd. flex.	32	43	135	Back ext.	32	53	166	10	19	–	
Frontal	Later. flex.	26	35	135	Later. flex.	26	29	111	–	17	6	
Transverse	Torso rotat.	49	46	94	Torso rotat.	49	43	88	–	7	3	
Maximum Strength Test Results												
		Rotation moment [Nm]							Imbalance			
Plane	Direction	Presum.	Meas.	%	Direction	Presum.	Meas.	%	[Nm]	%	[Nm]	
Sagittal	Forward	58	63	109	Backward	97	190	197	51	45	–	
Frontal	Left	55	40	73	Right	55	78	141	38	49	–	
Transverse	Left rotation	48	78	163	Right rotation	48	55	115	–	29	23	

The amplitude of spinal movements and static force during the procedures were measured in the sagittal, frontal, and axial planes. As a result of preoperative preparation, the changes were noted, namely in the sagittal plane, an increase in the amplitude of spine flexion by 2° (5% more than the initial value) with a decrease in extension by 3° (11% less than the initial one). The tilt range to the right increased by 7° (a 27% increase in mobility), while the tilt range to the left increased by 2° (an increase by 9%). Rotations in the axial plane increased significantly, increasing by 28° (57%) to the right and 31° (64%) to the left. The results show an increase in the amplitude of spine motion in all directions except extension, with differences of more than 50% in the axial plane. The static strength of the muscles involved in spine flexion increased by 20 Nm (32%), while extension increased by 10 Nm (10%). When bending to the right, muscle

strength increased by 27 Nm (49%) and by 42 Nm (76%) when bending to the left. Muscle strength increased by 21 Nm (43%) during the right rotation and 11 Nm (22%) during the left rotation. The findings show increased muscle strength in all directions of spine movement, even during extension, where volume was found to be reduced. This demonstrates the effectiveness of ET methods in strengthening the extensor muscles of the back and the rotator muscles of the spine (lateral and medial lumbar intertransverse muscles, lumbar multifidus muscle, long and short rotator muscles of the lower back, multifidus muscles of the lower back, spinalis thoracis, quadratus lumborum) as well as the abdominal muscles (rectus abdominis, external and internal oblique abdominal muscles).

The surgery was carried out with 6 kg of intraoperative halo-traction and intraoperative neuromonitoring.

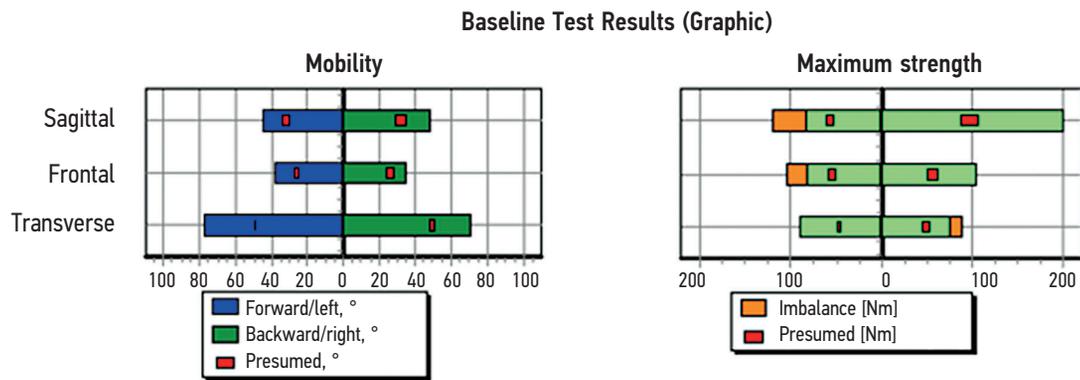


Fig. 5. Research results after a course of physical therapy and halo-traction (screenshots from the program).

Table 2. Research results after a course of physical therapy and halo-traction (скриншот из программы)

Parameter		Value	
Repetitions (maximum strength)		3	
Pause between repetitions, s		10	
Repetition time, s		7	
Repetitions (Mobility)		3	
Execution mode		Bilateral synchronous	

Mobility Test Results											
Plane	Motion	Angle, °				Imbalance					
		Presum.	Meas.	%	Motion	Presum.	Meas.	%	[°]	%	[°]
Sagittal	Abd. flex.	32	45	140	Back ext.	32	50	155	5	10	–
Frontal	Later. flex.	26	37	144	Later. flex.	26	36	138	–	3	1
Transverse	Torso rotat.	49	77	158	Torso rotat.	49	71	145	–	8	6

Maximum Strength Test Results											
Plane	Direction	Rotation moment [Nm]				Imbalance					
		Presum.	Meas.	%	Direction	Presum.	Meas.	%	[Nm]	%	[Nm]
Sagittal	Forward	58	83	143	Backward	97	200	207	37	31	–
Frontal	Left	55	82	149	Right	55	105	190	23	22	–
Transverse	Left rotation	48	89	185	Right rotation	48	76	158	–	15	13

A posterior median incision was used to gain access to the surgical area. At the T_{III}–L_V level, the spine was corrected and stabilized with metal structures, and posterior spinal fusion with autogenous bone was performed. The total amount of blood lost was 1100 ml. The postoperative wound was healed by primary intention. On the control postural spondylograms, there was a satisfactory correction of scoliotic deformity of the thoracic region (45°), lumbar spine (66°), and local kyphosis at the level of the thoracolumbar transition (36°); the sagittal balance of the spine was significantly improved, the imbalance was leveled, SVA = 0 cm (Fig. 6). The visual improvement in the back profile was also recorded (Fig. 7).

DISCUSSION

Most authors agree that treating severe kyphoscoliotic spinal deformity is always difficult and fraught with

neurological complications. Three-column osteotomy has been used as a standard surgical technique for several decades, according to Bo Shi et al. [18]. It can, however, cause serious complications such as spinal cord injury and the development of neurological deficits up to plegia. According to Rinella et al. [7], rapid correction of severe scoliosis may increase the risk of neurological complications, particularly if there is a significant kyphotic component. Furthermore, as in our patient, a history of intraspinal pathology or previous spinal surgery increases the risk of neurological deficit after spinal stabilization.

According to Qiao et al. [19], the three-column vertebral osteotomy had favorable results in treating severe kyphoscoliosis, but with a high rate of perioperative complications of about 30.3%.

In contrast, Kandwal et al. [20] maintain in their report that the key to correcting severe kyphoscoliosis is still three-column vertebrectomy, which provides 360° mobilization

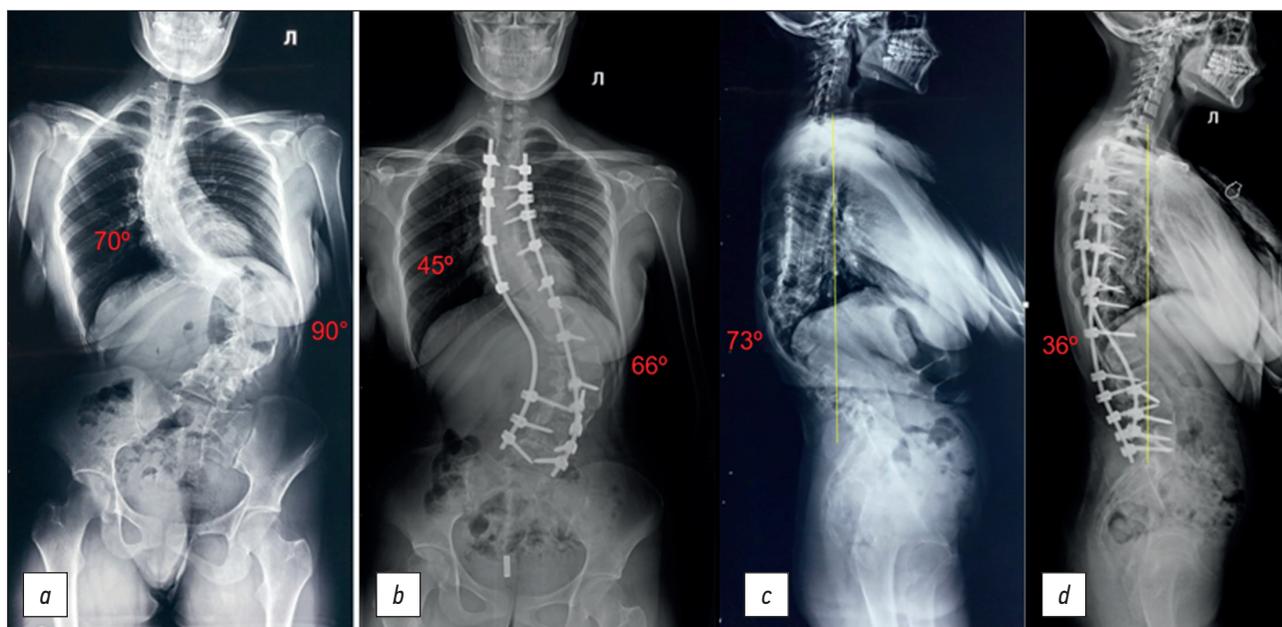


Fig. 6. Postural spondylograms in 2 projections (a, b) before surgery and (c, d) after.

of the spinal column, despite the role of spinal osteotomy and approach of surgical correction. However, they agree that this lengthens the surgery and increases the risk of neurological deficits and complications due to significant blood loss. Although the role of the anterior release has faded insignificantly over the last decade, they believe the issue is still debatable.

According to Mehrpour et al. [21], the combined anterior and posterior technique is a classic treatment for severe rigid scoliosis, but it is associated with a significant risk of morbidity and mortality. Furthermore, they note that posterior

access improves lung function more than open or endoscopic anterior releases, particularly in patients with compromised respiratory function. Additional anterior technique lengthens the operating time, increases surgical trauma, and lengthens the inpatient stay. Surgeons use various techniques, including halo-gravitational traction, to reduce these risks. Several reports in the literature describe the successful correction of severe spinal deformities with halo-femoral, halo-pelvic, and halo-gravity traction.

McIntosh et al. [22] advocate halo-gravitational traction and report that it can eliminate the need for multiple



Fig. 7. The appearance of the patient (a, b) before the operation and (c, d) after.

segmental osteotomies or spinal column resection, lowering the neurological risk for these patients.

Yang et al. [23] performed a meta-analysis on halo-gravitational traction in treating severe spinal deformity. The authors concluded that halo-gravitational traction could be used as an additional method in the surgical treatment of severe spinal deformity. This is supported by the fact that in the analyzed material in patients with halo-gravitational traction, the average volume of intraoperative blood loss was 1521.6 ml, and the prevalence of neurological deficit was 1%, which was lower than in patients with a three-column osteotomy (2012 ml and 5% for PSO; 2737 ml and 4% for VCR). They also stressed that surgical treatment of severe spinal deformity remains difficult despite significant technological advances and modern equipment. However, the use of halo-gravitational traction is still debated by experts because the extent of correction that can be achieved using halo-gravitational traction is unknown due to inconsistencies revealed in the literature. However, this suggests that halo-gravitational traction can improve the patient's preoperative nutritional status and pulmonary function, and that gradual traction can also help reduce the risk of neurological complications during surgery.

Two meta-analyses also show that halo-traction training improves the respiratory function and nutritional status of patients in this cohort. Yang et al. [24] examined seven studies involving 189 patients who received halo-gravitational traction therapy prior to surgery and concluded that it improves the degree of deformity and lung function in patients with severe scoliosis. Furthermore, halo-gravitational traction is an effective method for increasing perioperative patient tolerance to surgical intervention. Wang et al. [25] confirmed these findings by conducting a meta-analysis of 12 studies involving 372 patients and concluding that halo-traction improves lung function and nutritional status, reduces the risk of overcorrection-induced neurological damage, and may aid in the partial correction of spinal deformity.

Corrective ET can also be used to reduce spinal deformity and improve quality of life, according to the findings of a systematic review and meta-analysis by Gámiz- Bermúdez et al. [26]. The authors reached this conclusion after reviewing 7 randomized controlled trials involving 236 patients.

In our opinion, using halo-traction in conjunction with ET helps to improve the functional state of the patient prior to spine surgery. Our department's experience indicates that patients who received preoperative halo-traction and ET adapt quickly during the postoperative period. However, how can the outcomes of such training be assessed? In everyday practice, specialists must rely on various functional tests performed using radiation research methods, such as bending tests and spine traction tests, to assess the mobility of the deformity. These research methods only determine the magnitude of the deformity

angle and its mobility in the frontal plane, but they provide no information on the functional state of the spinal muscles, range of motion in three planes, muscle strength, or the effectiveness of preoperative preparation.

There are few reports on the use of intelligent system devices with biofeedback. Only three articles were found in the PubMed database, and none were about assessing the range of motion and muscle strength of patients with spinal deformities. One study used an intelligent system rehabilitation apparatus to assess isometric strength and muscle imbalance in lumbar pain patients [27]. Wilczyński et al. discovered that therapy on the Tergumed 700 system increased the strength of the lumbopelvic complex muscles, compensating for their imbalance, and was beneficial in treating osteochondrosis. The Tergumed rehabilitation device was used to directly assess the isometric strength of the spinal muscles in two other articles [28, 29].

The use of an intelligent system with biofeedback enabled the assessment of the initial muscle condition and range of motion in a patient with severe spinal deformity, as well as the results of preoperative preparation for the upcoming surgical correction of spinal deformity, in the clinical case demonstrated. Due to the scarcity of methods for assessing the functional state of the muscles involved in the spinal movement, the use of an intelligent biofeedback system in patients with severe deformities should be investigated further.

CONCLUSION

Our findings suggest that the combination of ET and halo-traction methods can be used effectively for preoperative preparation of patients with rigid scoliotic deformities and spinal anomalies to improve the results of surgical intervention, reduce the risk of postoperative complications, and increase the patients' rehabilitation potential. An intellectual system with biofeedback apparatus can assess preoperative preparation in patients with congenital spinal deformities. Further research and expansion of indications for the use of the device on a larger sample of patients, in our opinion, is required.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Has R., Yuksel A., Buyukkurt S., et al. Prenatal diagnosis of diastematomyelia: Presentation of eight cases and review of the literature // *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007. Vol. 30, N 6. P. 845–849. doi: 10.1002/uog.4066
2. Suma C.C., Marini A., Panagopoulos P., Catapano P. Diastematomyelia [Internet]. Fetus.net [дата обращения: 11.11.2022]. Доступ по ссылке: <http://www.thefetus.net/page.php?id=108>.
3. Mackel C.E., Jada A., Samdani A.F., et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis // *Childs Nerv Syst.* 2018. Vol. 34, N 11. P. 2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6
4. Wynne-Davies R. Congenital vertebral anomalies: aetiology and relationship to spina bifida cystica // *J Med Genet.* 1975. Vol. 12, N 3. P. 280–288. doi: 10.1136/jmg.12.3.280
5. Winter R.B., Haven J.J., Moe J.H., Lagaard S.M. Diastematomyelia and congenital spine deformities // *J Bone Joint Surg Am.* 1974. Vol. 56, N 1. P. 27–39.
6. Виссарионов С.В., Крутелев Н.А., Сницук В.П. Диагностика и лечение детей с диастематомиелией // *Хирургия позвоночника.* 2010. № 4. С. 041–047. doi: 10.14531/ss2010.4.41-47
7. Rinella A., Lenke L., Whitaker C., et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis // *Spine.* 2005. Vol. 30, N 4. P. 475–482. doi: 10.1097/01.brs.0000153707.80497.a2. Erratum in: Edwards, Charles [corrected to Edwards, Charles 2nd]. *Spine.* 2005. Vol. 30, N 8. P. 994.
8. Limpaphayom N., Skaggs D.L., McComb G., et al. Complications of halo use in children // *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2009. Vol. 34, N 8. P. 779–784. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819e2d90
9. Zielke A.M. Präoperative Mobilisationsgymnastik, Extensionsmethoden und unmittelbare postoperative Krankengymnastik bei stabilisierenden Wirbelsäulenoperationen // *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1976. Vol. 114, N 4. P. 467–469.
10. dos Santos Alves V.L., Alves da Silva R.J., Avanzi O. Effect of a preoperative protocol of aerobic physical therapy on the quality of life of patients with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized clinical study // *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2014. Vol. 43, N 6. P. E112–E116.
11. Schirmeyer R. Über die präoperative Behandlung progredienter Skoliosen // *Beitr Orthop Traumatol.* 1966. Vol. 13, N 12. P. 765–767.
12. Агасаров Л.Г., Чигарев А.А., Шилов А.М., Зекий О.Е. Классические и традиционные методы лечебного воздействия при дорсопатиях // *Вестник новых медицинских технологий.* 2014. Т. 21, № 1. С. 1–6. doi: 10.12737/5033
13. Stevens V.K., Parlevliet T.G., Coorevits P.L., et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices // *J Electromyogr Kinesiol.* 2008. Vol. 18, N 3. P. 434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009
14. Хакимов С.А., Лядов К.В. Инновационные подходы к применению кинезотерапии у больных пояснично-крестцовой дорсопатией // *Вестник новых медицинских технологий.* 2011. Т. 18, № 4. С. 232–235.
15. Агасаров Л.Г., Хадарцев А.А., Купеев Р.В. Инновационные способы кинезиотерапии (обзор литературы) // *Журнал новых медицинских технологий.* 2020. № 3. P. 124–136. doi: 10.24411/2075-4094-2020-16655
16. Лупандина-Болотова Г.С., Корнеева И.Т., Поляков С.Д. Лечебно-диагностическая система «ТЕРГУМЕД 3D» в комплексной реабилитации подростков с функциональными вертебральными нарушениями // *Современная медицина: актуальные вопросы.* 2013. Т. 11, № 25. С. 115–122.
17. Лупандина-Болотова Г.С., Тайбулатов Н.И., Игнатов Д.А., и др. Функциональные нарушения при деформациях позвоночника и методы их коррекции // *Вопросы современной педиатрии.* 2015. Vol. 14, N 2. P. 201–206. doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287
18. Shi B., Liu D., Shi B., et al. A Retrospective Study to Compare the Efficacy of Preoperative Halo-Gravity Traction and Postoperative Halo-Femoral Traction After Posterior Spinal Release in Corrective Surgery for Severe Kyphoscoliosis // *Med Sci Monit.* 2020. N 26. P. e919281. doi: 10.12659/MSM.919281
19. Qiao J., Xiao L., Sun X., et al. Three column osteotomy for adult spine deformity: comparison of outcomes and complications between kyphosis and kyphoscoliosis // *Br J Neurosurg.* 2018. Vol. 32, N 1. P. 32–36. doi: 10.1080/02688697.2018.1427214
20. Kandwal P., Vijayaraghavan G.P., Nagaraja U.B., Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies // *Asian Spine J.* 2017. Vol. 11, N 3. P. 494–503. doi: 10.4184/asj.2017.11.3.494
21. Mehrpour S., Sorbi R., Rezaei R., Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017. Vol. 137, N 4. P. 457–463. doi: 10.1007/s00402-017-2642-x
22. McIntosh A.L., Ramo B.S., Johnston C.E. Halo Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: A Clinical Concepts Review // *Spine Deform.* 2019. Vol. 7, N 3. P. 395–403. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.068
23. Yang C., Wang H., Zheng Z., et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis // *Eur Spine J.* 2017. Vol. 26, N 7. P. 1810–1816. doi: 10.1007/s00586-016-4848-y
24. Yang Z., Liu Y., Qi L., et al. Does Preoperative Halo-Gravity Traction Reduce the Degree of Deformity and Improve Pulmonary Function in Severe Scoliosis Patients With Pulmonary Insufficiency? A Systematic Review and Meta-Analysis // *Front Med (Lausanne).* 2021. N 8. P. 767238. doi: 10.3389/fmed.2021.767238

25. Wang J., Han B., Hai Y., et al. How helpful is the halo-gravity traction in severe spinal deformity patients? A systematic review and meta-analysis // *Eur Spine J.* 2021. Vol. 30, N 11. P. 3162–3171. doi: 10.1007/s00586-021-06902-4
26. Gámiz-Bermúdez F., Obrero-Gaitán E., Zagalaz-Anula N., Lomas-Vega R. Corrective exercise-based therapy for adolescent idiopathic scoliosis: Systematic review and meta-analysis // *Clin Rehabil.* 2022. Vol. 36, N 5. P. 597–608. doi: 10.1177/02692155211070452
27. Wilczyński J., Kasprzak A. Dynamics of Changes in Isometric Strength and Muscle Imbalance in the Treatment of Women with

- Low back Pain // *Biomed Res Int.* 2020. N 2020. P. 6139535. doi: 10.1155/2020/6139535
28. De Ridder E., Danneels L., Vleeming A., et al. Trunk extension exercises: How is trunk extensor muscle recruitment related to the exercise dosage? // *J Electromyogr Kinesiol.* 2015. Vol. 25, N 4. P. 681–688. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.01.001
29. Stevens V.K., Parlevliet T.G., Coorevits P.L., et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices // *J Electromyogr Kinesiol.* 2008. Vol. 18, N 3. P. 434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009

REFERENCES

1. Has R, Yuksel A, Buyukkurt S, et al. Prenatal diagnosis of diastematomyelia: Presentation of eight cases and review of the literature. *Ultrasound Obstet. Gynecol.* 2007;30(6):845–849. doi: 10.1002/uog.4066
2. Suma CC, Marini A, Panagopoulos P, Catapano P. Diastematomyelia [Internet]. Fetus.net [cited 2022 Nov 11]. Available from: <http://www.thefetus.net/page.php?id=108>.
3. Mackel CE, Jada A, Samdani AF, et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis. *Childs Nerv Syst.* 2018;34(11):2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6
4. Wynne-Davies R. Congenital vertebral anomalies: aetiology and relationship to spina bifida cystica. *J Med Genet.* 1975;12(3):280–288. doi: 10.1136/jmg.12.3.280
5. Winter RB, Haven JJ, Moe JH, Lagaard SM. Diastematomyelia and congenital spine deformities. *J Bone Joint Surg Am.* 1974;56(1):27–39.
6. Vissarionov SV, Krutelev NA, Snischuk VP. Diagnosis and treatment of diastematomyelia in children. *Hirurgia pozvonocnika (Spine Surgery).* 2010;(4):041–047. (In Russ). doi: 10.14531/ss2010.4.41-47
7. Rinella A, Lenke L, Whitaker C, et al. Perioperative halo-gravity traction in the treatment of severe scoliosis and kyphosis. *Spine.* 2005;30(4):475–482. doi: 10.1097/01.brs.0000153707.80497.a2. Erratum in: Edwards, Charles [corrected to Edwards, Charles 2nd]. *Spine.* 2005;30(8):994.
8. Limpaphayom N, Skaggs DL, McComb G, et al. Complications of halo use in children. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2009;34(8):779–784. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819e2d90
9. Zielke AM. Preoperative mobilization gymnastics, extension methods and direct postoperative physical therapy in stabilizing spinal surgery. *Z Orthop Ihre Grenzgeb.* 1976;114(4):467–469. (In German).
10. dos Santos Alves VL, Alves da Silva RJ, Avanzi O. Effect of a preoperative protocol of aerobic physical therapy on the quality of life of patients with adolescent idiopathic scoliosis: a randomized clinical study. *Am J Orthop (Belle Mead NJ).* 2014;43(6):E112–E116.
11. Schirmeyer R. On preoperative treatment of progressive scoliosis. *Beitr Orthop Traumatol.* 1966;13(12):765–767. (In German).
12. Agasarov LG, Tchigarev AA, Shilov AM, Zekiy OE. Traditional and classic methods of therapeutic effects at the dorsopathies. *Journal of New Medical Technologies.* 2014;21(1):1–6. (In Russ). doi: 10.12737/5033
13. Stevens VK, Parlevliet TG, Coorevits PL, et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009
14. Khakimov SA, Lyadov KV. Innovative approaches to the use of kinesiotherapy in patients with lumbosacral dorsopathy. *Bulletin of New Medical Technologies.* 2011;18(4):232–235. (In Russ).
15. Agasarov LG, Khadartsev AA, Kupeev RV. Innovative kinesiotherapy methods (literature review). *Journal of New Medical Technologies.* 2020;3:124–136. (In Russ). doi: 10.24411/2075-4094-2020-16655
16. Lupandina-Bolotova GS, Korneeva IT, Polyakov SD. Medical diagnostic system «TERGUMED 3D» in complex rehabilitation in adolescent children with functional vertebral disorders. *Sovremennaya meditsina: aktual'nye voprosy.* 2013;11(25):115–122. (In Russ).
17. Lupandina-Bolotova GS, Taibulatov NI, Ignatov DA, et al. Functional Disorders in the Spine Deformations and Methods for their Correction. *Current Pediatrics.* 2015;14(2):201–206. (In Russ). doi: 10.15690/vsp.v14i2.1287
18. Shi B, Liu D, Shi B, et al. A Retrospective Study to Compare the Efficacy of Preoperative Halo-Gravity Traction and Postoperative Halo-Femoral Traction After Posterior Spinal Release in Corrective Surgery for Severe Kyphoscoliosis. *Med Sci Monit.* 2020;26:e919281. doi: 10.12659/MSM.919281
19. Qiao J, Xiao L, Sun X, et al. Three column osteotomy for adult spine deformity: comparison of outcomes and complications between kyphosis and kyphoscoliosis. *Br J Neurosurg.* 2018;32(1):32–36. doi: 10.1080/02688697.2018.1427214
20. Kandwal P, Vijayaraghavan GP, Nagaraja UB, Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies. *Asian Spine J.* 2017;11(3):494–503. doi: 10.4184/asj.2017.11.3.494
21. Mehrpour S, Sorbi R, Rezaei R, Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2017;137(4):457–463. doi: 10.1007/s00402-017-2642-x
22. McIntosh AL, Ramo BS, Johnston CE. Halo Gravity Traction for Severe Pediatric Spinal Deformity: A Clinical Concepts Review. *Spine Deform.* 2019;7(3):395–403. doi: 10.1016/j.jspd.2018.09.068
23. Yang C, Wang H, Zheng Z, et al. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2017;26(7):1810–1816. doi: 10.1007/s00586-016-4848-y
24. Yang Z, Liu Y, Qi L, et al. Does Preoperative Halo-Gravity Traction Reduce the Degree of Deformity and Improve Pulmonary Function in Severe Scoliosis Patients With Pulmonary Insufficiency? A Systematic Review and Meta-Analysis. *Front Med (Lausanne).* 2021;8:767238. doi: 10.3389/fmed.2021.767238
25. Wang J, Han B, Hai Y, et al. How helpful is the halo-gravity traction in severe spinal deformity patients? A systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J.* 2021;30(11):3162–3171. doi: 10.1007/s00586-021-06902-4
26. Gámiz-Bermúdez F, Obrero-Gaitán E, Zagalaz-Anula N, Lomas-Vega R. Corrective exercise-based therapy for adolescent idiopathic scoliosis: Systematic review and meta-analysis. *Clin Rehabil.* 2022;36(5):597–608. doi: 10.1177/02692155211070452

27. Wilczyński J, Kasprzak A. Dynamics of Changes in Isometric Strength and Muscle Imbalance in the Treatment of Women with Low back Pain. *Biomed Res Int.* 2020;2020:6139535. doi: 10.1155/2020/6139535
28. De Ridder E, Danneels L, Vleeming A, et al. Trunk extension exercises: How is trunk extensor muscle recruitment related to the

- exercise dosage? *J Electromyogr Kinesiol.* 2015;25(4):681–688. doi: 10.1016/j.jelekin.2015.01.001
29. Stevens VK, Parlevliet TG, Coorevits PL, et al. The effect of increasing resistance on trunk muscle activity during extension and flexion exercises on training devices. *J Electromyogr Kinesiol.* 2008;18(3):434–445. doi: 10.1016/j.jelekin.2006.10.009

ОБ АВТОРАХ

Колесов Сергей Васильевич, д.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>;
eLibrary SPIN: 1989-6994; e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

Цыкунов Михаил Борисович, д.м.н., профессор,
врач по лечебной физкультуре;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-8602>;
eLibrary SPIN: 8298-8338; e-mail: rehcito@mail.ru

* **Багиров Самир Бююкиши оглы**,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1038-1815>;
eLibrary SPIN: 9620-7038; e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Семендуев Семён Вадимович,
врач по лечебной физкультуре;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7530-1612>;
eLibrary SPIN: 3118-5820; e-mail: semenduev.rehab@mail.ru

Морозова Наталия Сергеевна, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4504-6902>;
eLibrary SPIN: 4593-3231; e-mail: morozcito@gmail.com

AUTHORS INFO

Sergey V. Kolesov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9657-8584>;
eLibrary SPIN: 1989-6994; e-mail: dr-kolesov@yandex.ru

Mikhail B. Tsykunov, MD, Dr. Sci. (Med.), Professor,
physiotherapist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-8602>;
eLibrary SPIN: 8298-8338; e-mail: rehcito@mail.ru

* **Samir B. Bagirov**,
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1038-1815>;
eLibrary SPIN: 9620-7038; e-mail: bagirov.samir22@gmail.com

Semen V. Semenduev,
physiotherapist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7530-1612>;
eLibrary SPIN: 3118-5820; e-mail: semenduev.rehab@mail.ru

Nataliia S. Morozova, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4504-6902>;
eLibrary SPIN: 4593-3231; e-mail: morozcito@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto106716>

Одноэтапная вентральная коррекция вторичного грудопоясничного кифоза у пациента с несостоятельной транспедикулярной фиксацией перелома Th12 позвонка

В.В. Островский, А.Е. Шульга, В.В. Зарецков, С.П. Бажанов, С.В. Лихачев, А.А. Смолькин

Научно-исследовательский институт травматологии, ортопедии и нейрохирургии, Саратовский государственный медицинский университет имени В.И. Разумовского, Саратов, Россия

АННОТАЦИЯ

Основной методикой хирургического лечения острой травмы грудного и поясничного отделов позвоночника является транспедикулярная фиксация, несостоятельность которой согласно литературным данным встречается в 10–15% случаев. В оперативном лечении пациентов с последствиями нестабильного транспедикулярного спондилосинтеза отсутствуют единые взгляды на тактику и используемую хирургическую технику. При этом реже всего встречаются публикации, посвященные применению изолированных передних вмешательств.

В статье представлены результаты одноэтапной вентральной коррекции вторичного грудопоясничного кифоза у пациента с несостоятельной транспедикулярной фиксацией перелома Th12 позвонка.

Ключевые слова: грудопоясничный переход; деформация позвоночника; посттравматический кифоз; передняя фиксация.

Как цитировать:

Островский В.В., Шульга А.Е., Зарецков В.В., Бажанов С.П., Лихачев С.В., Смолькин А.А. Одноэтапная вентральная коррекция вторичного грудопоясничного кифоза у пациента с несостоятельной транспедикулярной фиксацией перелома Th12 позвонка // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 173–180. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto106716>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto106716>

One-stage ventral correction of the secondary thoracolumbar kyphosis in a patient with failed transpedicular fixation of Th12 fracture

Vladimir V. Ostrovskij, Alexey E. Shulga, Vladimir V. Zaretskov, Sergey P. Bazhanov, Sergey V. Likhachev, Alexey A. Smolkin

Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, Saratov, Russia

ABSTRACT

The main surgical treatment technique of thoracic and lumbar spine acute injuries is transpedicular fixation, the failure of which, according to the literature data, occurs in 10–15% of cases. There are no common views on tactics and the surgical technique used to deal with the consequences of unstable transpedicular spondylosynthesis. And the publications devoted to the use of isolated anterior interventions are the least common.

We present a case study of the surgical management of the 71 years old patient with secondary thoracolumbar kyphosis that progressed after failed transpedicular fixation of Th12 fracture. The deformity was corrected with one-stage anterior approach and ventral crew system.

Keywords: thoracolumbar junction; spine deformity; posttraumatic kyphosis; anterior fixation.

To cite this article:

Ostrovskij VV, Shulga AE, Zaretskov VV, Bazhanov SP, Likhachev SV, Smolkin AA. One-stage ventral correction of the secondary thoracolumbar kyphosis in a patient with failed transpedicular fixation of Th12 fracture. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):173–180. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto106716>

Received: 25.04.2022

Accepted: 03.06.2022

Published: 29.09.2022

АКТУАЛЬНОСТЬ

Согласно литературным данным, несостоятельность транспедикулярной фиксации с формированием вторичных сегментарных деформаций позвоночника встречается в 10–15% случаев [1].

При хирургическом лечении пациентов с нестабильным транспедикулярным спондилосинтезом предпочтение, как правило, отдается перемонтажу системы [2]. Данный вариант ревизионного вмешательства зачастую требует увеличения протяженности дорзальной фиксации, а также предполагает выполнение вентрального опорного спондиледеза, что служит источником дополнительной операционной травмы [3]. Альтернативное использование в таких случаях передней винтовой фиксации предусматривает возможность коррекции деформации и выполнения опорного спондиледеза из одного доступа, что привлекает своей универсальностью [4]. Однако в имеющихся немногочисленных источниках литературы прослеживается неоднозначное отношение авторов к применению данной методики при вторичных кифозах [5]. По всей видимости, определение показаний к использованию подобных передних вмешательств у пациентов с последствиями несостоятельного транспедикулярного спондилосинтеза грудного и поясничного отделов позвоночника требует дополнительного исследования.

Цель исследования — демонстрация ближайших и отдаленных результатов одноэтапного вентрального вмешательства у больного с последствиями несостоятельного транспедикулярного спондилосинтеза в грудно-поясничном отделе позвоночника.

КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Пациент Е., 71 год, поступил 22.01.2021 в нейрохирургическое отделение НИИТОН СГМУ. Из анамнеза известно, что повреждение позвоночника было получено 17.10.2020 в результате падения с высоты. С места происшествия пострадавший был доставлен в одну из районных больниц Саратовской области, где по поводу осложненной травмы Th12 позвонка — тип A4 (A/O Spine) выполнено оперативное вмешательство: ламинотомия Th12 позвонка и транспедикулярная фиксация груднопоясничного отдела позвоночника (Th11–L2). В течение 1-го месяца после операции нижний парапарез полностью регрессировал. Спустя непродолжительное время (около 2 нед) после начала полноценных осевых нагрузок появился болевой синдром в месте оперативного вмешательства. Интенсивность боли прогрессивно нарастала, в связи с чем мужчина существенно ограничил свою физическую активность. При плановой консультации было рекомендовано обращение в НИИТОН СГМУ для решения вопроса о выполнении переднего опорного спондиледеза.

На момент обследования пациент предъявлял жалобы на боль в груднопоясничном отделе позвоночника,

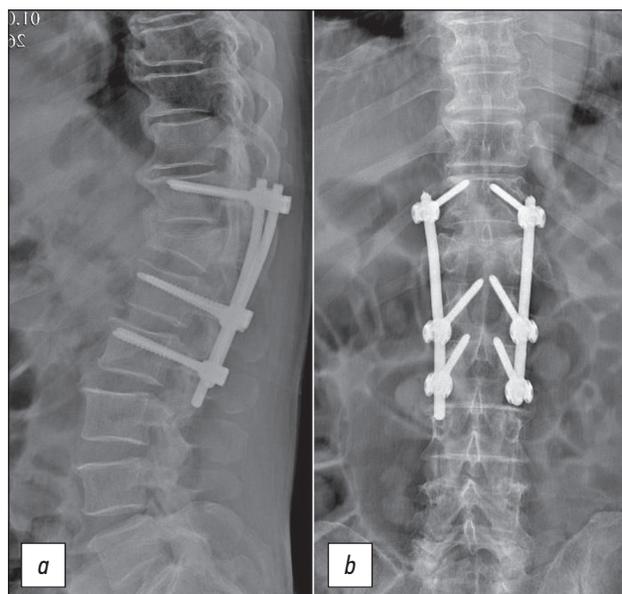


Рис. 1. Рентгенограммы позвоночника больного Е., 71 год, прямая (а) и боковая (b) проекции.

Fig. 1. X-ray images of 71 years old patient E.'s spine, anterior (a) and lateral (b) view.

которая при вертикальной нагрузке приобретала выраженный характер. Проведено анкетирование: болевой синдром в спине лежа — 3–4 балла по визуальной аналоговой шкале боли (ВАШ), стоя — 9 баллов; качество жизни (Oswestry Disability Index, ODI) — 78%. При визуальном осмотре обращала на себя внимание кифотическая деформация груднопоясничного отдела. В проекции остистых отростков Th11–L2 послеоперационный рубец (~15 см), пальпация вдоль него болезненна. Длинные мышцы спины резко напряжены. Общий клинический осмотр не обнаружил у пациента значимой сопутствующей соматической патологии. Неврологический статус без особенностей.

Проведены лучевые обследования (рентгенография, компьютерно-томографическое (КТ) исследование), при которых выявлен сегментарный кифоз с вершиной на уровне Th12 позвонка. Угол кифоза составил 28°. Груднопоясничный отдел позвоночника фиксирован транспедикулярной системой, инструментированы позвонки Th11, L1 и L2. Целостность элементов конструкции не нарушена (рис. 1).

Вокруг винтов в Th11 позвонке (в теле и ножках) отмечали зону резорбции костной ткани шириной 5–9 мм (рис. 2, а). Передние концы винтов мигрировали к верхней замыкательной пластине Th11 позвонка, справа наблюдалась ее перфорация и выстояние импланта в межпозвоночный диск (рис. 2, b). Тело Th12 позвонка клиновидно деформировано, высота его снижена на $\frac{1}{2}$. Дорзальные отделы тела позвонка пролабировали в просвет позвоночного канала до 6,5 мм, деформируя дуральный мешок на этом уровне (рис. 2, c). Полноценной консолидации перелома не наблюдалось. На уровне Th12 позвонка визуализировалась зона резекции задних структур

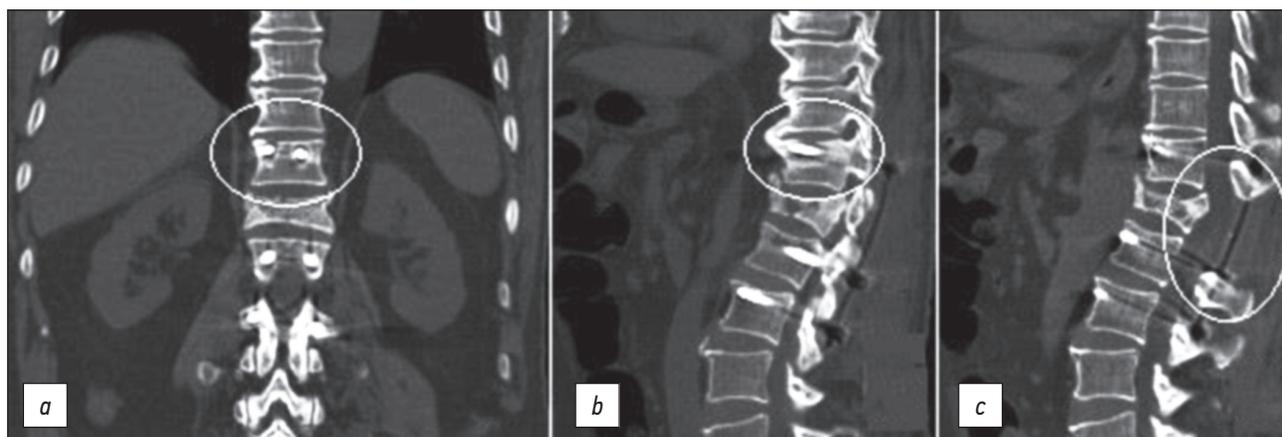


Рис. 2. Компьютерная томография позвоночника больного Е., 71 год, до операции. Пояснения в тексте.

Fig. 2. CT image of 71 years old patient E.'s spine before the surgery. Explanations in the text.

позвоночника, которая была представлена остистым отростком, дугой, нижними и верхними суставными отростками Th12 позвонка.

Выполненное пациенту денситометрическое исследование показало, что минеральная плотность костей поясничного отдела позвоночника (Т-критерий на уровне L1–L4 = 1,1 SD) и проксимальных отделов бедер (Т-критерий слева = –0,3 SD, справа = 0,2 SD) соответствует норме.

Пациент дал согласие на запланированный объем хирургического вмешательства и обработку персональных данных.

25.01.2021 выполнена операция. В положении пациента на левом боку произведен разрез кожи и подкожной клетчатки в проекции правого девятого ребра. По ходу доступа рассечены мышцы грудной стенки, визуализированы 9-е ребро на протяжении и дистальный конец десятого ребра. После поднадкостничного выделения дистальных концов 9-го и 10-го ребер (~5 см) произведено их пересечение на 2 см проксимальнее реберно хрящевого сочленения. По верхнему краю 9-го ребра вскрыта плевральная полость, установлен торакальный ранорасширитель. Легкое коллабировано и смещено кверху, визуализирована боковая поверхность позвоночника и правый купол диафрагмы. Поэтапно с тупой диссекцией брюшинного мешка выполнен разрез диафрагмы от правой ножки на протяжении 10 см, отступая от зоны ее прикрепления к грудной стенке на 2 см. Брюшинный мешок вместе с забрюшинной клетчаткой отведены медиально, а большая поясничная мышца после ее диссекции — латерально. Произведено лигирование сегментарных сосудов и скелетирование боковых поверхностей Th10–L2 позвонков от передней продольной связки до foraminalных отверстий. Обратила на себя внимание явная кифотическая деформация грудопоясничного отдела позвоночника. Выполнена дискэктомия T11–Th12 и Th12–L1, тело Th12 позвонка клиновидно изменено, полноценного костного блока не отмечено. Пробная дистракция между телами Th11 и L1 выявила наличие патологической подвижности на вершине кифоза. На тела Th10, Th11, L1 и L2 позвонков

установлены опорные площадки, через отверстия в которых проведены винты в Th11 и L2 позвонки попарно (как базовые), а в Th11 и L1 — по одному. В условиях провизорной фиксации Th11–L1 сегмента была выполнена резекция тела Th12 позвонка от передней до задней продольной связки, а также его правой ножки с широкой переднебоковой декомпрессией спинного мозга. После этапного гемостаза передние винты конструкции соединены стержнем, на котором проведена дистракция между нижними и верхними элементами конструкции. В образовавшийся между телами Th11 и L1 позвонков дефект был установлен сетчатый эндофиксатор заполненный аутокостью, который жестко зафиксирован посредством ослабления дистракции. На задних винтах конструкции смонтирован второй стержень. Между собой стержни соединены 2 поперечными коннекторами. После контрольной рентгенографии, гемостаза и активного дренирования правой плевральной полости рана послойно ушита.

После операции отрицательной динамики в неврологическом статусе не выявлено. Плевральный дренаж удален на 4–е сутки. Со 2-х суток начата поэтапная активизация больного в вертикальном положении, а на 5-й день пациент уверенно ходил без дополнительной опоры. Контрольные рентгенография и КТ, выполненные на 10-е сутки, показали правильное расположение элементов металлоконструкции (рис. 3 и 4).

Рана зажила первичным натяжением, на 14-е сутки после операции сняты швы и пациент выписан в удовлетворительном состоянии с рекомендациями по дальнейшему лечению. Анкетирование перед выпиской: интенсивность боли в спине на уровне 2 баллов (ВАШ) (стоя=лежа).

При контрольном осмотре и рентгенографии через 12 месяцев после операции потери коррекции и признаков нестабильности конструкции не выявлено (рис. 5). Неврологический статус без отрицательной динамики. Походка у пациента уверенная, дополнительной опоры не требуется, осанка не нарушена. Контрольное анкетирование: интенсивность боли в спине (ВАШ) — 0–1 балл (стоя=лежа), качество жизни (ODI) — 8%.

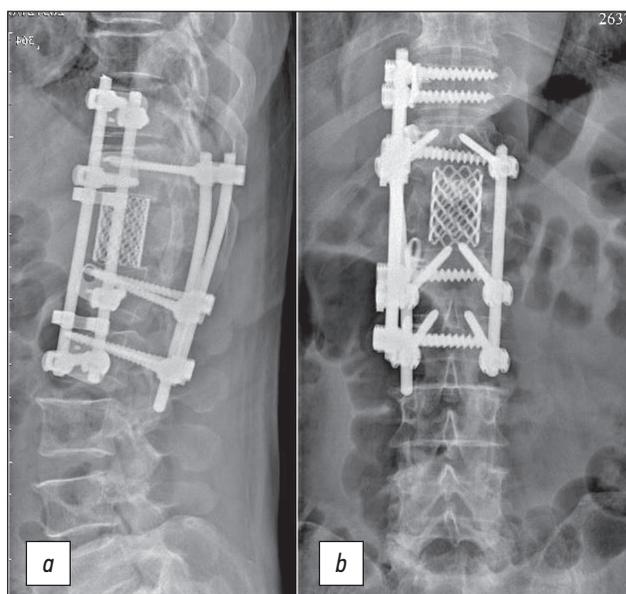


Рис. 3. Рентгенограммы позвоночника больного Е., 71 год, после операции, прямая (а) и боковая (b) проекции.

Fig. 3. X-ray image of 71 years old patient E.'s spine after the surgery, (anterior (a) and lateral (b) view).

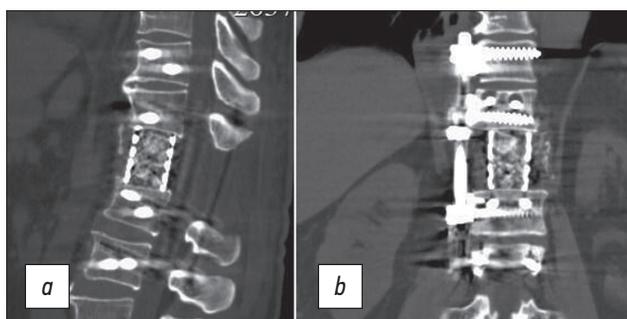


Рис. 4. Компьютерная томограмма позвоночника больного Е., 71 год, после операции, боковая (а) и прямая (b) проекции.

Fig. 4. CT image of 71 years old patient E.'s spine after the surgery, lateral (a) and anterior (b) view.

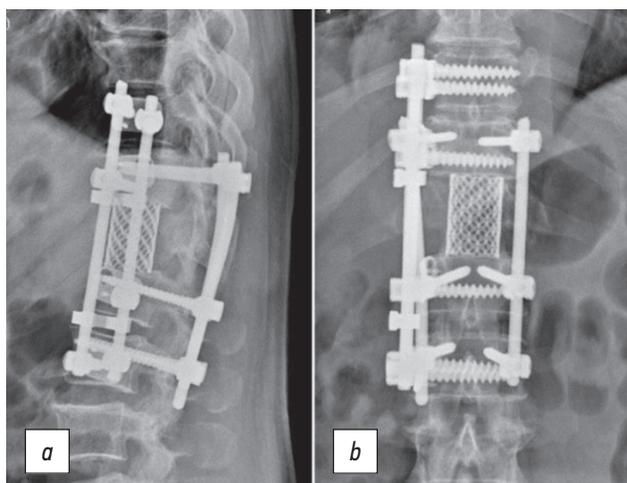


Рис. 5. Рентгенограммы позвоночника больного Е., 72 года, через 12 мес после операции, прямая (а) и боковая (b) проекции.

Fig. 5. X-ray image of 72 years old patient E.'s spine 12 months after the surgery, anterior (a) and lateral (b) view.

ОБСУЖДЕНИЕ

Специфика вторичных кифотических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника определяется уровнем повреждения и характером первичного хирургического вмешательства. В частности, как указывают многочисленные источники, одной из наиболее распространенных причин несостоятельного транспедикулярного спондилосинтеза является неадекватная инструментализация позвоночника: установка недостаточного количества винтов, неправильный подбор типоразмеров имплантов, использование полиаксиальных винтов в короткосегментарной системе [6, 7]. Дополнительный риск нестабильной фиксации также несут необоснованная резекция дорзальных опорных структур, отказ от стабилизации переходных зон позвоночника и вентрального опорного спондилодеза [8, 9].

Проведенный нами анализ причин формирования вторичного кифоза у представленного пациента выявил несколько факторов, предрасполагающих к данному осложнению. В первую очередь следует отметить некорректную фиксацию переходного грудопоясничного отдела. В частности, ниже уровня травмы была установлена база из 4 винтов, а выше перелома в зону фиксации включен только Th11 позвонок. Данная компоновка создала предпосылки для возникновения «рычага» между инструментированной частью позвоночника и ригидным грудным отделом с вершиной на уровне Th11 позвонка. Усугубила ситуацию широкая резекция дорзальных остеолигаментозных структур (ляминифасетэктомия Th12) и неадекватный подбор типоразмеров имплантов (установлены тонкие винты).

Хирургическое лечение вторичных кифозов грудного и поясничного отделов представляет собой совокупность технических приемов (мобилизация, коррекция, фиксация), направленных на восстановление нормального сагиттального профиля и стабилизацию позвоночника. Количество и последовательность этапов могут различаться в зависимости от мобильности деформации и предпочтений хирурга. В этой связи ключевым моментом планирования операций у данной категории больных представляется определение необходимости и объема релиза (А, Р, А/Р). В частности, у наблюдаемого пациента несмотря на явные клиническо-рентгенологические признаки нестабильного транспедикулярного спондилосинтеза решено воздержаться от двухэтапного вмешательства (Р/А). Отказ от коррекции деформации без предварительной передней мобилизации был продиктован большой вероятностью неудовлетворительных результатов, учитывая время, прошедшее с момента травмы, и, соответственно, высокий риск фиброзного блокирования на вершине кифоза. Также, принимая во внимание потенциальную сложность выполнения заднебокового релиза (Р/ВCR) и высокую вероятность его неблагоприятных последствий у данного больного (нижний грудной уровень, предшествующие

широкая ламинэктомия и неврологический дефицит), было принято решение начать операцию с передней мобилизующей резекции (A/VCR) тела Th12 позвонка (1-й этап). В качестве основного варианта инструментализации позвоночника и коррекции деформации рассматривалось дорзальное вмешательство с перемонтажем транспедикулярной системы (2-й этап). Этапность хирургического лечения вторичных кифозов, как указывают литературные источники, максимально исключает риск неудовлетворительной коррекции и пользуется предпочтением у многих специалистов [10]. Однако в данном случае было решено после переднего релиза предпринять пробную дистракцию Th11–L1 и в случае адекватной редукции кифоза выполнить вентральную стабилизацию груднопоясничного отдела позвоночника.

Удовлетворительные результаты (ближайшие и отдаленные) проведенного больному переднего одноэтапного вмешательства позволяют говорить об эффективности выбранной хирургической тактики. По-видимому, использование данной методики оправдано в случаях, когда наряду с нестабильностью транспедикулярной системы имеют место объективные (данные КТ) и косвенные признаки (постуральный болевой синдром, небольшой срок после первичной операции, предшествующая резекция задних структур позвоночника) отсутствия дорзального костного блока на вершине деформации. Как свидетельствуют периодические издания, в вышеперечисленных условиях вентральный инструментарий после полноценного переднего релиза позволяет создать существенное дистракционное усилие, устраняющее кифотическую деформацию [11]. При этом мобильные задние структуры вместе с фиброзной спайкой замыкаются, а нестабильная дорзальная металлоконструкция принимает правильное (исходное) положение. Ключевой манипуляцией, позволяющей интраоперационно уточнить дальнейшую тактику, является пробная дистракция. Неэффективность данной процедуры диктует необходимость выполнения заднего ревизионного вмешательства с перемонтажем транспедикулярной системы. Также следует учитывать, что технические возможности вентрального инструментария ограничены исключительно дистракцией, поэтому использование его в случаях, требующих трансляции позвонков (любые варианты смещения) чревато неудовлетворительными результатами. Кроме того, отказаться от передней коррекции целесообразно при малейшем риске интерпозиции в позвоночный канал дорзальных структур позвоночника или компонентов нестабильной металлоконструкции.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Одноэтапную вентральную коррекцию нельзя назвать универсальным способом хирургического лечения вторичных груднопоясничных кифозов. Однако категоричный отказ от использования переднего инструментария при этой

патологии необоснован. Данная методика, выполненная по объективным показаниям, позволяет восстановить нормальную ось позвоночного столба, осуществить прямую декомпрессию канала и надежно стабилизировать поврежденный отдел позвоночника. Операция, проведенная из одного вентрального доступа, дает возможность уменьшить травматичность вмешательства и тем самым сократить продолжительность восстановительного периода у таких больных.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: В.В. Островский — концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение рукописи; В.В. Зарецков — концепция и дизайн исследования, редактирование рукописи; А.Е. Шульга — концепция и дизайн исследования, написание текста, редактирование рукописи; С.В. Лихачев — сбор и обработка материала; А.А. Смолькин — сбор и обработка материала; С.П. Бажанов — написание текста.

Author contribution. V.V. Ostrovskij — concept and design of research, editing, approval of the manuscript; V.V. Zaretskov — concept and design of research, editing of the manuscript; A.E. Shulga — concept and design of research, writing of the text, editing of the manuscript; S.V. Likhachov — data collection and processing of material; A.A. Smolkin — data collection and processing of material; S.P. Bazhanov — writing the text. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках государственного задания по тематике «Разработка системы прогнозирования и профилактики неблагоприятных исходов хирургического лечения травм грудного и поясничного отделов позвоночника на основе комплексного персонализированного анализа скорости репарации позвонков», РК № 122022700112-4.

Funding source. The study was carried out within the framework of the state assignment on the topic "Development of a system for predicting and preventing adverse outcomes of surgical treatment of injuries of the thoracic and lumbar spine based on a comprehensive personalized analysis of the rate of vertebral repair", RK No. 122022700112-4.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациента на публикацию медицинских данных и фотографий.

Consent for publication. Written consent was obtained from the patient for publication of relevant medical information and all of accompanying images within the manuscript.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лихачев С.В., Зарецков В.В., Шульга А.Е., и др. Повреждения переходного грудопоясничного отдела позвоночника: библиометрический анализ англоязычной литературы // Хирургия позвоночника. 2018. Т. 15, № 4. С. 52–69. doi: 10.14531/2018.4.52-69
2. Прудникова О.Г., Хомченков М.В. Посттравматические деформации позвоночника: актуальность, проблемы, ревизионная хирургия // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16, № 4. С. 36–44. doi: 10.14531/ss2019.4.36-44
3. Mazel C., Ajavon L. Malunion of post-traumatic thoracolumbar fractures // *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018. Vol. 104, N 1S. P. 55–62. doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.018
4. Yamazaki A., Orita S., Sainoh T., et al. Anterolateral corrective lumbar corpectomy and interbody fusion by using extended screw fixation without posterior instrumentation for posttraumatic kyphosis // *Case Rep Orthop.* 2013. Vol. 2013. P. 614757. doi: 10.1155/2013/614757
5. Hu W., Wang B., Run H., et al. Pedicle subtraction osteotomy and disc resection with cage placement in post-traumatic thoracolumbar kyphosis, a retrospective study // *J Orthop Surg Res.* 2016. Vol. 11, N 1. P. 112. doi: 10.1186/s13018-016-0447-1
6. Seo D.K., Kim C.H., Jung S.K., et al. Analysis of the risk factors for unfavorable radiologic outcomes after fusion surgery in thoracolumbar burst fracture: what amount of postoperative thoracolumbar kyphosis

- correction is reasonable? // *J Korean Neurosurg Soc.* 2019. Vol. 62, N 1. P. 96–105. doi: 10.3340/jkns.2017.0214
7. Yaman O., Zileli M., Şentürk S., et al. Kyphosis after thoracolumbar spine fractures: WFNS spine committee recommendations // *Neurospine.* 2021. Vol. 18, N 4. P. 681–692. doi: 10.14245/ns.2142340.170
8. Li S., Li Z., Hua W., et al. Clinical outcome and surgical strategies for late post-traumatic kyphosis after failed thoracolumbar fracture operation: case report and literature review // *Medicine (Baltimore).* 2017. Vol. 96, N 49. P. e8770. doi: 10.1097/MD.00000000000008770
9. Zhao Q., Zhang H., Hao D., et al. Complications of percutaneous pedicle screw fixation in treating thoracolumbar and lumbar fracture // *Medicine (Baltimore).* 2018. Vol. 97, N 29. P. e11560. doi: 10.1097/MD.00000000000011560
10. Рерих В.В., Борзых К.О. Этапное хирургическое лечение посттравматических деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. 2016. Т. 13, № 4. С. 21–27. doi: 10.14531/ss2016.4.21-27
11. Smits A.J., Deunk J., Bakker F.C., Bloemers F.W. Thoracoscopic correction of post-traumatic kyphosis with an expandable cage: radiologic and patient-reported outcomes // *Asian Spine J.* 2020. Vol. 14, N 2. P. 157–168. doi: 10.31616/asj.2019.0062

REFERENCES

1. Likhachev SV, Zaretskov VV, Shulga AE, et al. Injuries to the thoracolumbar junction: bibliometric analysis of English-language literature. *Hirurgiâ pozvonočnika (Spine Surgery)*. 2018;15(4):52–69. (In Russ). doi: 10.14531/2018.4.52-69
2. Prudnikova OG, Khomchenkov MV. Post-traumatic deformities of the spine: relevance, problems, and revision surgery. *Hirurgiâ pozvonočnika (Spine Surgery)*. 2019;16(4):36–44. (In Russ). doi: 10.14531/ss2019.4.36-44
3. Mazel C, Ajavon L. Malunion of post-traumatic thoracolumbar fractures. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2018;104(1S):55–62. doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.018
4. Yamazaki A, Orita S, Sainoh T, et al. Anterolateral corrective lumbar corpectomy and interbody fusion by using extended screw fixation without posterior instrumentation for posttraumatic kyphosis. *Case Rep Orthop.* 2013;2013:614757. doi: 10.1155/2013/614757
5. Hu W, Wang B, Run H, et al. Pedicle subtraction osteotomy and disc resection with cage placement in post-traumatic thoracolumbar kyphosis, a retrospective study. *J Orthop Surg Res.* 2016;11(1):112. doi: 10.1186/s13018-016-0447-1
6. Seo DK, Kim CH, Jung SK, et al. Analysis of the risk factors for unfavorable radiologic outcomes after fusion surgery in tho-

- racolumbar burst fracture: what amount of postoperative thoracolumbar kyphosis correction is reasonable? *J Korean Neurosurg Soc.* 2019;62(1):96–105. doi: 10.3340/jkns.2017.0214
7. Yaman O, Zileli M, Şentürk S, et al. Kyphosis after thoracolumbar spine fractures: WFNS spine committee recommendations. *Neurospine.* 2021;18(4):681–692. doi: 10.14245/ns.2142340.170
8. Li S, Li Z, Hua W, et al. Clinical outcome and surgical strategies for late post-traumatic kyphosis after failed thoracolumbar fracture operation: case report and literature review. *Medicine (Baltimore).* 2017;96(49):e8770. doi: 10.1097/MD.00000000000008770
9. Zhao Q, Zhang H, Hao D, et al. Complications of percutaneous pedicle screw fixation in treating thoracolumbar and lumbar fracture. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(29):e11560. doi: 10.1097/MD.00000000000011560
10. Rerikh VV, Borzykh KO. Staged surgical treatment of post-traumatic deformities in the thoracic and lumbar spine. *Hirurgiâ pozvonočnika (Spine Surgery)*. 2016;13(4):21–27. (In Russ). doi: 10.14531/ss2016.4.21-27
11. Smits AJ, Deunk J, Bakker FC, Bloemers FW. Thoracoscopic correction of post-traumatic kyphosis with an expandable cage: radiologic and patient-reported outcomes. *Asian Spine J.* 2020;14(2):157–168. doi: 10.31616/asj.2019.0062

ОБ АВТОРАХ

***Алексей Евгеньевич Шульга**, канд. мед. наук, врач-нейрохирург; адрес: Россия, 410002, Саратовская обл., Саратов, ул. Чернышевского, д. 148;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0231>;
eLibrary SPIN: 4018-3890; e-mail: doc.shulga@yandex.ru

Владимир Владимирович Островский, д-р мед. наук, профессор, врач-нейрохирург;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>;
eLibrary SPIN: 7078-8019; e-mail: sarniito@yandex.ru

Владимир Владимирович Зарецков, д-р мед. наук, профессор, врач-травматолог-ортопед;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-9560>;
eLibrary SPIN: 6997-0909; e-mail: vzaretskov@mail.ru

Сергей Петрович Бажанов, д-р мед. наук, врач-нейрохирург;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9474-9095>;
eLibrary SPIN: 2621-4519; e-mail: baj.s@mail.ru

Сергей Вячеславович Лихачев, канд. мед. наук, врач-нейрохирург; ORCID <https://orcid.org/0000-0003-1874-2507>;
eLibrary SPIN: 3550-1343; e-mail: likha4@mail.ru

Алексей Александрович Смолькин, врач-нейрохирург;
ORCID: 0000-0001-8453-9465; e-mail: 4-4-2@mail.ru

AUTHORS INFO

***Alexey E. Shulga**, MD, Cand. Sci. (Med.), neurosurgeon; address: 148, Chernyshevskogo str., 410002, Saratov, Russia;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8476-0231>;
eLibrary SPIN: 4018-3890; e-mail: doc.shulga@yandex.ru

Vladimir V. Ostrovskij, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, neurosurgeon;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>;
eLibrary SPIN: 7078-8019; e-mail: sarniito@yandex.ru

Vladimir V. Zaretskov, MD, Dr. Sci. (Med.), professor, traumatologist-orthopedist;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3643-9560>;
eLibrary SPIN: 6997-0909; e-mail: vzaretskov@mail.ru

Sergey P. Bazhanov, MD, Dr. Sci. (Med.), neurosurgeon;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9474-9095>;
eLibrary SPIN: 2621-4519; e-mail: baj.s@mail.ru

Sergey V. Likhachov, MD, Cand. Sci. (Med.), neurosurgeon; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-2507>;
eLibrary SPIN: 3550-1343; e-mail: likha4@mail.ru

Alexey A. Smolkin, MD, neurosurgeon;
ORCID 0000-0001-8453-9465; e-mail 4-4-2@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109748>

Эпидемиология переломов проксимального отдела бедренной кости у лиц старше 50 лет: что изменилось за последние 30 лет?

М.А. Самарин¹, Х.З.А. Аси¹, А.В. Кривова¹, С.С. Родионова², И.А. Соломянник²

¹ Тверской государственный медицинский университет, Тверь, Российская Федерация;

² НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

Анализ работ, посвящённых вопросам эпидемиологии переломов проксимального отдела бедренной кости (ППОБК), подтверждает актуальность этих исследований, что связано как с демографическим старением популяции, так и с увеличением числа случаев остеопороза и переломов, возникающих на этом фоне. В обзоре представлены данные о госпитализации пациентов с ППОБК в России и странах Содружества Независимых Государств. Показано, что «выборочная» госпитализация пациентов с ППОБК не позволяет получить объективные данные об их распространённости, в то время как эти сведения являются важной составляющей планирования и организации медицинской помощи, в том числе и на этапе оказания профильной травматолого-ортопедической помощи. Что касается лечения, то в России и странах Содружества Независимых Государств отмечен низкий уровень хирургического и высокий — консервативного лечения с использованием устаревших методик. Такой подход снижает возможность возвращения почти 70% пациентов к тому качеству жизни, которое они имели до перелома. В то же время мониторинг ситуации может стать первым шагом к проведению в отдельной стране или определённом регионе организационных мероприятий по улучшению выявляемости переломов и их лечения.

Ключевые слова: остеопороз; переломы проксимального отдела бедренной кости; обзор литературы.

Как цитировать:

Самарин М.А., Аси Х.З.А., Кривова А.В., Родионова С.С., Соломянник И.А. Эпидемиология переломов проксимального отдела бедренной кости у лиц старше 50 лет: что изменилось за последние 30 лет? // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 181–191. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109748>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109748>

Epidemiology of fractures of the proximal femur in people older than 50 years: what has changed in the last 30 years?

Mikhail A. Samarin¹, Zaid A. Asi Habiballah¹, Alla V. Krivova¹, Svetlana S. Rodionova², Irina A. Solomyannik²

¹Tver' State Medical University, Tver', Russia;

²Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

The analysis of works devoted to the issues of the epidemiology of fractures of the proximal femur confirms the relevance of these studies, which is associated with both the aging of the population and the increase in cases of osteoporosis and the number of fractures against this background. The review presents data on the hospitalization of patients in Russia and the CIS countries with PPBP. It is shown that «selective» hospitalization of patients with PPBP does not allow obtaining objective data on their prevalence, while this information is an important component of planning and organizing medical care, including at the stage of providing specialized trauma and orthopedic care. As for treatment, in Russia and the countries there is a low level of surgical and high — conservative treatment using outdated techniques. This approach reduces the possibility of almost 70% of patients returning to the quality of life they had before the fracture. At the same time, monitoring the situation can be the first step in organizing organizational measures in a particular country or region to improve the detection of fractures and their treatment.

Keywords: osteoporosis; proximal femur fractures; review.

To cite this article:

Samarin MA, Habiballah ZAA, Krivova AV, Rodionova SS, Solomyannik IA. Epidemiology of fractures of the proximal femur in people older than 50 years: what has changed in the last 30 years? *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):181–191. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109748>

Received: 02.09.2022

Accepted: 11.10.2022

Published: 28.11.2022

ВВЕДЕНИЕ

Переломы проксимального отдела бедренной кости (ППОБК) у лиц старших возрастных групп чаще всего возникают на фоне остеопороза — заболевания, широко распространённого в популяции, частота развития которого с возрастом увеличивается [1–4]. В отличие от посттравматических, переломы на фоне остеопороза относятся к патологическим переломам (по Международной классификации болезней 10-го пересмотра) и происходят при незначительных травмах: падении с высоты собственного роста либо вообще без видимого травматического вмешательства. По некоторым данным, начиная с возраста 50 лет, каждая третья женщина и каждый пятый мужчина в течение оставшейся жизни перенесут хотя бы один перелом, ассоциированный с остеопорозом [5]. У женщин риск ППОБК превышает суммарный риск «женских» онкологических заболеваний — рака молочной железы, яичников и матки. У мужчин риск перелома превышает таковой рака предстательной железы [6]. По данным демографического прогноза, к 2050 году количество ППОБК достигнет 4,5 млн случаев ежегодно [7]. Увеличение продолжительности жизни населения и доли пожилых людей, по ожиданиям Росстата, также будет сопровождаться ростом числа регистрируемых ППОБК [3].

Переломы этой локализации существенно ухудшают качество жизни, повышают летальность [1]. Кроме того, характерные для остеопороза снижение прочностных свойств кости и её качественных характеристик создают трудности для консолидации, увеличивают риск развития асептической нестабильности и ложных суставов [8].

В связи с увеличением частоты остеопороза в популяции [9] эпидемиология ППОБК представляется важной составляющей планирования и организации медицинской помощи, в том числе и на этапе оказания профильной травматолого-ортопедической помощи, включая инициацию лечения остеопороза уже после случившегося патологического перелома, что влияет не только на качество лечения, но и на профилактику повторных переломов [10]. Мониторинг ситуации в отдельной стране или определённом регионе достигается проведением повторных эпидемиологических исследований.

ЧАСТОТА ПЕРЕЛОМОВ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРА В РАЗНЫХ СТРАНАХ

Попытка получить данные о количестве ППОБК в России предпринималась несколько раз. Первое многоцентровое исследование эпидемиологии основных переломов, включая и ППОБК, проведено в 1998 году. Исследование инициировано центром остеопороза (руководитель — проф. Л.И. Беневоленская) Института ревматологии и проводилось в 12 городах различных регионов России врачами-ревматологами и терапевтами.

Оценивали частоту ППОБК среди городского населения в возрасте 50 лет и старше за период 1992–1997 гг. Работу выполняли с использованием унифицированных методов сбора и обработки информации [11]. Несколько позже по той же схеме были получены данные ещё по 4 городам [12]. Общая численность обследованного населения в возрасте 50 лет и старше в 16 городах составила 1 749 274 человек (664 629 мужчин и 1 084 645 женщин). Показано, что частота переломов бедра за изучаемый период в среднем в городах составила 100,9 на 100 тыс. человек (77,0 среди мужчин и 115,5 среди женщин) [12–14]. На основании результатов этих же эпидемиологических исследований [13, 14] была рассчитана ежегодная частота ППОБК у лиц 50 лет и старше в целом по России: она оказалась равна 105,9 на 100 тыс. населения (78,8 у мужчин и 122,5 у женщин).

Следующее эпидемиологическое исследование провели в Твери (моногород). Сравнивали частоту ППОБК за временные периоды 1994–1996 и 2000–2004 гг. с включением в исследование лиц в возрасте от 40 лет и старше. Исследование проводили ретроспективно, и в анализ вошли не только все случаи госпитализации по поводу переломов этой локализации в травматологические стационары города, но и обращения в травмпункты, вызовы бригад скорой помощи. Также осуществляли поиск незарегистрированных случаев по обращению к врачам первичного звена. Всего ППОБК были зафиксированы у 2082 человек, из них 616 (29,59%) — мужчины, 1466 (70,41%) — женщины. Зарегистрировано ежегодное статистически значимое увеличение числа переломов, причём рост этого показателя был связан не только с демографическими сдвигами в сторону старения популяции, но и с увеличением числа низкоэнергетических переломов в более молодых возрастных группах. Впервые в данных отечественного исследования отмечено «омоложение» низкоэнергетических переломов у женщин, и на обсуждение вынесен вопрос о целесообразности организации скрининговых обследований лиц возрастной группы 30–40 лет с целью ранней диагностики и лечения остеопороза [15].

В 2008–2009 гг. эпидемиологическое исследование проводили в 2 городах России: Ярославле и Первоуральске. В этот период в стране, как и ранее, сохранялась практика «выборочной» госпитализации и такого же оказания оперативного пособия: значительная часть пациентов преклонного возраста и с «букетом» сопутствующих заболеваний с подозрением на перелом оставались дома из-за отказа в госпитализации на этапе скорой медицинской помощи или приёмного отделения стационара [16]. Целесообразность проведения исследования обосновывается тем, что из-за низкой госпитализации значительная часть переломов по-прежнему не попадает в статистические отчёты. В г. Ярославле на протяжении многих лет уже существовала отличная от других городов система оказания медицинской помощи пациентам с ППОБК: все

лица с подозрением на такой перелом вне зависимости от возраста и тяжести соматического состояния доставлялись в больницу скорой медицинской помощи. При подтверждении диагноза пациента госпитализировали в одно из травматологических отделений, после чего в отсутствие абсолютных противопоказаний и при наличии согласия пациента и/или его родственников ему выполняли оперативное лечение [16]. Этот подход, по мнению авторов, позволяет получить реальные данные о частоте ППОБК при ретроспективном анализе. Одновременно в другом городе (Первоуральске), где до начала исследования существовала такая же, как и во всей стране, «выборочная» госпитализация, было инициировано проспективное исследование частоты ППОБК. Его особенность заключалась в том, что кроме учёта всех госпитализированных случаев, в него включали и случаи, подозрительные на ППОБК, на основании извещения, заполняемого врачами первичного звена. При отсутствии возможности рентгенологического подтверждения диагноза перелома (если пациента с переломом не доставляли в медицинские учреждения) диагноз должен был подтвердить травматолог при клиническом осмотре. Для осуществления этой системы учёта до начала исследования было издано распоряжение Управления здравоохранения города, предписывающее обязательное исполнение вышеперечисленных требований. За период исследования в 2 городах зарегистрировано 6012 переломов. В среднем частота ППОБК составила у женщин 279, у мужчин — 176 на 100 тыс. населения. Эти данные оказались выше в сравнении с результатами предыдущего российского исследования, что, по мнению авторов, было, с одной стороны, следствием более тщательного сбора информации, с другой — увеличением числа переломов в связи с демографическим старением популяции.

Как и в предыдущих 2 эпидемиологических исследованиях, в исследовании Первоуральск–Ярославль отмечалось увеличение частоты ППОБК с возрастом и их превалирование у женщин: соотношение составило 1:1,5 [11, 12]. Авторами исследования была рассчитана прижизненная вероятность перелома шейки бедра у лиц в возрасте 50 лет (4% у мужчин и 7% у женщин) и увеличение числа серьёзных переломов к 2035 году (с 590 тыс. в 2010 до 730 тыс. к 2035 году) [17]. Также отмечено, что, независимо от города, у мужчин (по сравнению с женщинами) в возрасте 50–64 лет переломы этой локализации встречались в 2 раза чаще; в возрасте от 65 до 74 лет частота переломов у мужчин и женщин не различалась, а после 75 лет экспоненциально возрастала у женщин и более медленно — у мужчин; во всех последующих группах у женщин этот показатель был в 2 раза выше [16].

Исследование подтвердило и существование в стране «выборочной» госпитализации: в Первоуральске 27% ППОБК оказались не зарегистрированными в госпитальной базе, в то время как в Ярославле таких случаев было

только 1,8%. Однако такой большой разброс неучтённых случаев наводит на мысль о возможной гипердиагностике ППОБК врачами первичного звена г. Первоуральска.

В исследовании А.В. Древалёв и соавт. [18], проведённом в Московской обл., частоту ППОБК впервые оценивали на смешанной популяции (городское и сельское население). Данные о переломах получены при анализе архива медицинской документации Центральной районной больницы г. Коломны, обслуживающей всё население Коломенского района, на базе которой имеются травматологический пункт, травматологическое и приёмное отделение. Анализировали медицинскую документацию всех пациентов с ППОБК в возрасте 50 лет и старше за периоды 1998–2002 и 2009–2013 гг. Одной из задач исследования стало сравнение частоты ППОБК в 2 временных интервалах. За период 1998–2002 гг. зарегистрировано 527 переломов (142 у мужчин и 385 у женщин), в 2009–2013 гг. — 630 переломов (227 у мужчин и 403 у женщин). При пересчёте на 100 тыс. населения частота переломов у мужчин снизилась с 248,2 в 2009 до 123,0 в 2013 году. При этом средняя частота перелома проксимального отдела бедра у мужчин во временном интервале 2009–2013 гг. составила 170,8/100 тыс. и имела чёткую тенденцию к росту в сравнении с частотой в 1998–2002 гг., оказавшейся равной 120,6/100 тыс. Среди женского населения результаты частоты ППОБК оказались сопоставимыми с данными, полученными при первом эпидемиологическом исследовании, проведённом в 16 городах России. У мужского населения частота ППОБК в исследуемом районе находилась на уровне городов с промежуточными показателями частоты переломов — Хабаровск, Екатеринбург — отмеченных при исследовании, выполненном под эгидой центра остеопороза института ревматологии в 1998 году. В то же время средняя частота ППОБК у женщин за период 2009–2013 гг. оказалась несколько ниже, чем в ранее оцениваемый временной интервал 1998–2002 гг., и составила соответственно 184,5 против 201,1 на 100 тыс. населения [19]. Некоторое снижение частоты ППОБК в 2002 году как у мужчин, так и у женщин авторы склонны считать следствием начала внедрения мер профилактики и лечения остеопороза в Московской обл. Однако это утверждение кажется нам спорным, поскольку период проведения кампании по лечению остеопороза был очень непродолжительным, она предшествовала отмеченному нами эффекту снижения частоты переломов, и при этом отсутствовали объективные доказательства проведения профилактического лечения остеопороза на популяции, включённой в эпидемиологическое исследование. Мы не исключаем, что отмеченное снижение частоты низкоэнергетических переломов могло быть обусловлено существующей повсеместно в стране, кроме Ярославля, «выборочной» госпитализацией.

Эпидемиологическое исследование, основанное только на госпитальных случаях ППОБК, выполнено

в Санкт-Петербурге на базе 3 многопрофильных 1000-коечных больниц. За анализируемый период поступило 1412 пациентов. Отмечено преобладание женщин (71,7% vs 28,3%). Подавляющее большинство пациентов оказались в возрастных группах старше 70 лет: 70 и более лет — 70,6%, 60–69 лет — 12%, 50–59 лет — 10,8% [20]. Целью исследования был не только расчёт потребности в экстренном оперативном лечении переломов этой локализации для г. Санкт-Петербурга (4098 операций, или 1 операция на 1000 взрослого населения), но и анализ методов лечения пациентов с ППОБК. Авторы отметили отсутствие стандартизированного подхода к лечению переломов данной локализации и значительные различия материально-технических и кадровых возможностей даже в условиях одного города. Последние обстоятельства являлись, по мнению авторов, причиной сохранения «выборочного» принципа оказания хирургической помощи при переломах подобной локализации.

Ещё более скудные данные о частоте ППОБК представлены в странах Содружества Независимых Государств (СНГ). Так, в 2015 году были опубликованы результаты о частоте переломов шейки бедра в Республике Беларусь [21]. Анализ частоты переломов за 2-летний период (с 01.01.2011 по 31.12.2012 гг.) проводился в г. Мозырь, где было зарегистрировано 117 случаев перелома шейки бедра, из них 83 (70,9%) пациентов лечились стационарно. На амбулаторном лечении находились больные более старшего возраста, в среднем это были лица в возрасте $82,3 \pm 9,8$ vs $71,8 \pm 11,3$ года ($p < 0,001$). Число переломов проксимального отдела бедра у женщин составило 76, у мужчин — 41 (соотношение 1,9/1). Авторы отметили увеличение частоты возникновения перелома шейки бедра с возраста 60 лет. Частота ППОБК у мужчин моложе 70 лет была выше, чем у женщин, но среди лиц старше 70 лет частота переломов этой локализации у женщин оказалась на 60% выше, чем у мужчин.

В другом исследовании, уже в Украине [22, 23], также отмечено увеличение частоты перелома с возрастом, но у мужчин переломы встречались чаще, до 65 лет, начиная с 70 лет — чаще у женщин, причём с возраста 80–85 лет частота ППОБК у женщин в этом исследовании превышала показатели у мужчин почти в 2 раза. На основе стандартизированной возрастной ежегодной частоты ППОБК у мужчин и женщин в целом страна была отнесена к странам с умеренным риском развития остеопороза и его осложнений [22, 23].

Исследование, выполненное в Казахстане (2015–2017 гг.), также продемонстрировало большую частоту ППОБК у женщин, хотя до 70 лет, как и в сообщениях из других стран, переломы этой локализации чаще наблюдали у мужчин [24]. В возрасте старше 70 лет соотношение мужчин и женщин составило 3:1. Особенностью этого исследования стало то, что большинство выявленных случаев ППОБК получили консервативное лечение, или же лечение вообще не проводилось, и только

незначительная часть пациентов были прооперированы (200, 82 и 66 случаев соответственно) [24].

Аналогичная картина отмечена и в Молдове, где ретроспективное исследование в 2 регионах, проведённое за период 2011–2012 гг., позволило установить 137 переломов шейки бедренной кости у мужчин и 203 — у женщин (соотношение женщин / мужчин оказалось равным 1:1,5). Как и в других исследованиях, в возрасте до 70 лет переломы чаще встречались у мужчин (1:0,8), в старших возрастных группах — у женщин (3,3:1). Из 340 случаев установленных ППОБК были госпитализированы 334 пациента [25]. Столь высокая частота госпитализаций даёт основание предположить, что исследование было «выборочным», с включением главным образом госпитальных случаев. Основанием для такого предположения стала цитируемая работа [4], в которой отмечено, что в Молдове только 4 клиники имеют ортопедов-травматологов, обладающих квалификацией для выполнения операции эндопротезирования. Это уточнение ставит под сомнение возможность оказания адекватной хирургической помощи всем пациентам с ППОБК в стране в целом.

Сведения о ППОБК в Армении получены в 2 неоднозначных исследованиях. В 1 из них анализировали случаи регистрации перелома при поступлении в стационар (ретроспективный анализ медицинской документации за 2011–2012 гг.), в другом анализ проводили по документации обращения за первичной помощью (проспективное исследование за 2013 год). Согласно полученным данным исследования, проведённого в 2011–2012 гг., частота переломов шейки бедра у лиц в возрасте 50 лет и старше составила 134/100 тыс. у женщин и 73/100 тыс. у мужчин (соотношение женщин / мужчин 1,8). В 2013 году частота ППОБК выросла и составила 201/100 тыс. для женщин и 136/100 тыс. для мужчин (соотношение женщин / мужчин 1,5) [26].

Выявленные различия в частоте ППОБК по данным госпитальной регистрации и документам первичной медико-санитарной помощи авторы связывают с большим числом случаев, при которых пациенты не были госпитализированы и остались неучтёнными в 2013 году. Доля пропущенных переломов в 2011–2012 гг., по мнению авторов, составляет 44%, и на этом основании высказывается предположение, что в Армении 44% пациентов с ППОБК не получают специализированной медицинской помощи. Необходимо отметить, что в исследовании за 2013 год остался неясным такой вопрос, как возможность рентгенологического подтверждения ППОБК у всех пациентов, обратившихся за первичной помощью. Не исключаем, что отсутствие рентгенологического подтверждения могло оказаться причиной такого резкого увеличения частоты переломов в течение 2013 года относительно данных 2012 года.

Анализ приведённых опубликованных отчётов эпидемиологических исследований не даёт полной картины о распространённости так называемых

низкоэнергетических переломов у лиц старших возрастных групп, что прежде всего связано с тем, что почти 1/3 пациентов с переломами остаются вне этих отчётов из-за невозможности получения специализированной травматологической помощи либо ввиду отсутствия специалистов, либо же по причине их недостаточной квалификации госпитализация в травматологический стационар может обеспечить только консервативное лечение такими методами, как «деротационный сапожок» и «скелетное вытяжение».

В странах Евросоюза и США представлено значительно больше публикаций, и в большинстве своём они касаются хорошо спланированных исследований, которые проводят по общему дизайну, что позволяет эффективно сравнивать результаты. Отмеченные особенности исследований обусловлены тем, что большинство пациентов с ППОБК получают специализированную травматологическую помощь в стационарах и лишь незначительная их часть — только амбулаторное наблюдение [27].

Самые низкие ежегодные уровни частоты ППОБК среди женщин были зарегистрированы в Румынии и Польше, самые высокие показатели наблюдали в Дании и Швеции. Разница в частоте переломов шейки бедра оказалась приблизительно втроекратной между указанными странами. Риск перелома шейки бедра в странах Евросоюза ниже, чем наблюдаемый в мире (десятикратный диапазон), но при этом существенный. Частота переломов шейки бедра у мужчин — в 2 раза меньше, чем у женщин. Также там, где наблюдались более высокие показатели для женщин, более высокие показатели оказались и у мужчин, и наоборот [7].

В исследовании Стокгольмского южного госпиталя общего профиля (с января 2014 по декабрь 2016 года) зарегистрировано 10 548 пациентов с ППОБК. Большинство из них — женщины (69,4%), средний возраст которых составил $82,4 \pm 10,5$ года. В 75% случаев переломы произошли дома, 83% этих переломов составили падения с высоты собственного роста. Чаще отмечали переломы вертельной области (78%), в 22% случаев — подвертельные переломы. В исследовании также анализировали смертность: 30-дневная смертность зафиксирована в 7,7%, годовая — в 26% случаев, причём смертность у мужчин оказалась выше, чем у женщин [28].

Что касается динамики переломов, то в исследовании Варшавского медицинского университета при анализе выписок из стационаров за период с 2008 по 2015 год был установлен рост частоты переломов как шейки бедра (119/100 тыс. в 2008 и 207/100 тыс. в 2015 году), так и чрезвертельных переломов (73/100 тыс. в 2008 и 237/100 тыс. в 2015 году). Увеличение числа ППОБК имело тесную связь с возрастом с пиком в 80–89 лет как у мужчин, так и у женщин. Медиана смертей составила 291 в год среди мужчин и 7193 в год — у женщин (в течение 1 года после перелома) за весь период исследования. Смертность с возрастом значительно

увеличилась у обоих полов, как в подгруппе шейки бедра, так и в подгруппе чрезвертельных переломов. Независимо от пола было зафиксировано больше случаев летальных исходов в течение 1-го года после чрезвертельного перелома [29].

В Китае за 2010 год зарегистрировано 360 тыс. низкоэнергетических ППОБК (женщины — 216, мужчины — 144 тыс.), по прогнозу к 2035 году их число увеличится в 2 раза. Общие затраты на лечение таких переломов в 2010 году составили около 10 млрд \$. По опубликованным прогнозам, в ближайшие 40 лет ожидается рост затрат на лечение низкоэнергетических переломов на 169% по сравнению с 2010 годом [30, 31].

В США за 2010 год госпитализировано 258 тыс. человек с ППОБК старше 65 лет (72 тыс. мужчин и 186 тыс. женщин), и по расчётам к 2030 году эта цифра может увеличиться до 289 тыс. Ожидаемый рост связывают со стремительным старением населения. К 2030 году число людей в возрасте 65 лет и старше увеличится более чем на 80%. По прогнозам, численность пожилого населения в мире заметно увеличится в течение последующих 20 лет, но соответствующее увеличение числа переломов шейки бедра может быть в значительной степени компенсировано за счёт уменьшения частоты переломов у женщин. А вот среди мужчин, наоборот, прогнозируется увеличение числа переломов шейки бедра почти на 52% [32].

В Японии за 2012 год выявлено 175 700 пациентов с ППОБК (37 600 мужчин и 138 100 женщин). По сравнению с 2002 годом, число пациентов увеличилось на 57 800 человек. Отмечено значительное преобладание женщин: их оказалось в 3,5 раза больше, чем мужчин. Кроме того, представленные данные показали, что увеличение частоты переломов отмечается уже с возрастной группы 40–49 лет, и особенно часто они встречаются у лиц старше 90 лет. Проведённый анализ стал основанием для внедрения Обществом остеопороза с 2012 года в практику системы регистрации остеопороза (OLS). Своей главной целью OLS считает идентификацию пациентов с высоким риском переломов и организацию лечения остеопороза с целью снижения риска возникновения переломов [33].

Увеличение числа переломов отмечено и в исследовании, проведённом в Южной Корее, на острове Чеджу, в период с 2002 по 2011 гг. Это когортное проспективное госпитальное исследование, направленное на изучение частоты возникновения переломов бедра у пациентов в возрасте ≥ 50 лет. За исследуемый период число переломов шейки бедра увеличилось в 2 раза (со 151 случая в 2002 до 304 в 2011 году). Общая частота переломов бедра у населения о. Чеджу в возрасте ≥ 50 лет увеличилась со 126,6 до 183,7/100 тыс. населения. Годовой прирост частоты переломов шейки бедра составил 4,3% (5,3% у женщин и 2,2% у мужчин). Также отмечен высокий средний годовой уровень смертности: 21% для мужчин

и 15% для женщин. Отмечено, что заболеваемость у мужчин была в 1,4 раза выше, чем у женщин [34].

Аналогичная самая высокая частота переломов у лиц старше 90 лет зарегистрирована в исследовании, выполненном в Индии (округ Рохтак). Число переломов у женщин в возрастной группе 90–94 года составило 962 на 100 тыс., у мужчин в возрасте 85–90 лет — 638 на 100 тыс. населения. У лиц старше 50 лет (раздельно для женщин и мужчин) частота ППОБК оказалась равной 159 и 105 на 100 тыс. населения соответственно. Частота ППОБК у женщин выше, чем у мужчин, но статистически значимой разницы между двумя полами во всех возрастных группах авторы не зафиксировали [35].

В Бразилии ППОБК у лиц старше 60 лет составляет 226 случаев на 100 тыс. женщин и 135 на 100 тыс. населения у мужчин. В этом исследовании приведены в том числе и функциональные результаты, и данные о смертности после ППОБК. Отмечено, что у большинства пациентов в течение 4 мес после лечения сохраняются ограничения активности, спустя этот срок только 32,5% пациентов начали ходить самостоятельно, в 27,9% случаев понадобилась специальная помощь. Смертность составила 5,88% в госпитальный период, 11,9% — через 3 мес, 19,2% — через 1 год и 24,9% — через 2 года. Общая стоимость лечения переломов проксимального отдела бедра с 2010 по 2014 гг. оказалась равна \$ 29 393 442,78 [36].

Представленный обзор свидетельствует об актуальности ППОБК на фоне остеопороза для здравоохранения всех стран мира [37–39]. В странах Евросоюза только в 2010 году было потрачено 37 млрд €, а к 2025 году ожидается увеличение этой суммы на 25% [7]. Эти данные — свидетельство значительной экономической нагрузки ППОБК на общество в целом и различные страны разных континентов в частности.

В ряде стран улучшение общей осведомлённости врачей о заболевании, существование различных систем регистрации переломов на фоне остеопороза [7, 28, 33] и возможность системы здравоохранения оказывать полноценную помощь таким пациентам, в том числе назначать и проводить терапию остеопороза после случившегося перелома, в настоящее время позволяют снижать риск возникновения повторных переломов и улучшать качество жизни пациентов.

В Российской Федерации, несмотря на наличие в рубрикаторе Минздрава России с 2018 года клинических рекомендаций «Патологические переломы, осложняющие течение остеопороза», где с позиции лучших клинических практик представлена тактика выявления, лечения и профилактики ППОБК, до настоящего времени не все пациенты могут получить специализированную помощь в травматологическом стационаре. Страдающие остеопорозом пациенты даже с переломами-маркёрами заболевания (перелом луча в типичном месте или переломы тел позвонков) в течение длительного времени не получают лечения. Более того, даже наличие ППОБК редко заставляет

инициировать лечение остеопороза. Подтверждением этому служит официальная статистика 2000–2010 гг., согласно которой число пациентов с остеопорозом в отдельных регионах — в 1–12 раз меньше на 100 тыс. населения, чем ППОБК у лиц этих же возрастных групп. Сопоставление данных о частоте типичных для остеопороза переломов, выявленных в ходе эпидемиологических исследований, проведённых в ряде городов России, и официальных данных заболеваемости в тех же городах, позволяет с большой долей вероятности утверждать, что распространённость переломов проксимального отдела бедра на фоне остеопороза гораздо выше данных официальной статистики [4]. Это связано не только с несовершенством статистической отчётности, в которой остеопороз могут регистрировать как сопутствующее заболевание. Нередко остеопороз не диагностируют вследствие отсутствия достаточной осведомлённости травматологов-ортопедов регионов о патологии или факторах риска её развития. Немаловажную роль играет отсутствие или недостаточное количество в ряде регионов специального диагностического оснащения (денситометров), лекарственных препаратов для лечения и, наконец, непонимание важности проведения профилактических мероприятий [2, 40]. В то же время очевидно, что хирургическое лечение ППОБК — не только самое затратное, но и увеличивает частоту развития таких осложнений, как ложные суставы (30%), асептический некроз головки бедра (15–33%), ранняя асептическая нестабильность после эндопротезирования тазобедренного сустава и смертность [40, 41].

Низкая госпитализация пациентов с ППОБК также является серьёзной проблемой в России и странах СНГ [42]. Как правило, именно пожилой возраст служит причиной неоправданно низкой госпитализации и, соответственно, хирургической активности при лечении ППОБК [37–39], и даже в случае госпитализации консервативное лечение превалирует над оперативным [4, 15]. Всё это приводит к уменьшению способности больных к самообслуживанию и самостоятельному передвижению и, как следствие, увеличению смертности в 1-й год после заболевания и ухудшению качества их жизни [11, 12, 43].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленный обзор свидетельствует об актуальности проблемы ППОБК на фоне остеопороза для здравоохранения всех стран мира. Демографические сдвиги в сторону постарения населения и связанный с этим рост заболеваемости остеопорозом и числа переломов на его фоне ведут к постоянному увеличению прямых затрат на лечение остеопороза и ассоциированных с ним ППОБК. Отмечены общие для всех стран тенденции не только к увеличению частоты ППОБК на фоне остеопороза, но и к преобладанию переломов у женщин с пиком заболеваемости в возрасте 70–80 лет и увеличению средней частоты переломов на фоне остеопороза у мужчин.

Показано негативное влияние «выборочной» госпитализации и низкой хирургической активности на исходы переломов этой локализации.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Authors contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мельниченко Г.А., Белая Ж.Е., Рожинская Л.Я., и др. Федеральные клинические рекомендации по диагностике, лечению и профилактике остеопороза // Проблемы эндокринологии. 2017. Т. 63, № 6. С. 392–426. doi: 10.14341/probl2017636392-426
2. Вербовой А.Ф., Пашенцева А.В., Шаронова Л.А. Остеопороз: современное состояние проблемы // Терапевтический архив. 2017. Т. 89, № 5. С. 90–97. doi: 10.17116/terarkh201789590-97
3. Численность населения Российской Федерации по полу и возрасту на 1 января 2021 года (Статистический бюллетень) [интернет]. Федеральная служба государственной статистики. Москва, 2021. Дата обращения: 04.11.2022. Доступ по ссылке: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Bul_chislen_naselrv_01-01-2021.pdf.
4. Лесняк О.М. Аудит состояния проблемы остеопороза в странах Восточной Европы и Центральной Азии 2010 // Остеопороз и остеопатии. 2011. Т. 14, № 2. С. 3–6. doi: 10.14341/osteo201123-6
5. Cooper C., Atkinson E.J., O'Fallon W.M., Melton L.J. 3rd. Incidence of clinically diagnosed vertebral fractures: a population-based study in Rochester, Minnesota, 1985–1989 // J Bone Miner Res. 1992. Vol. 7, N 2. P. 221–227. doi: 10.1002/jbmr.5650070214
6. Харви Н., Макклоски Ю. Здоровье скелета: проблемы и пути решения. Глобальный план изменения ситуации [интернет]. Великобритания, 2016 [дата обращения: 04.11.2022]. Доступ по ссылке: <https://share.osteoporosis.foundation/WOD/2016/thematic-report/WOD16-report-WEB-RU.pdf>.
7. Hernlund E., Svedbom A., Ivergård M., et al. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA) // Arch Osteoporos. 2013. Vol. 8, N 1. P. 136. doi: 10.1007/s11657-013-0136-1
8. Миронова С.П., Родионова С.С., Колондаев А.Ф., и др. Метод фармакологической коррекции метаболизма костной ткани для улучшения результатов эндопротезирования тазобедренного сустава // Остеопороз и остеопатии. 2006. Т. 9, № 3. С. 44–47. doi: 10.14341/osteo2006344-47
9. Кривова А.В., Родионова С.С. Динамика частоты переломов проксимального отдела бедра среди населения города Твери за период с 1994 по 2004 г. // Остеопороз и остеопатии. 2007. Т. 10, № 1. С. 2–5. doi: 10.14341/osteo200712-5
10. Солод Э.И. Комплексный подход к терапии пациентов с нарушением метаболизма костной ткани в травматологии и ортопедии // Эффективная фармакотерапия. 2017. № 12. С. 50–52.
11. Михайлов Е.Е., Беневоленская Л.И., Аникин С.Г., и др. Частота переломов проксимального отдела бедренной кости и дистального отдела предплечья среди городского населения России // Остеопороз и остеопатии. 1999. № 3. С. 2–6.
12. Гладкова Е.Н., Ходырев В.Н., Лесняк О.М. Эпидемиологическое исследование остеопоротических переломов у жителей Среднего Урала старших возрастных групп // Научно-практическая ревматология. 2014. Т. 52, № 6. С. 643–649. doi: 10.14412/1995-4484-2014-643-649
13. Ершова О.Б., Семёнова О.В., Дегтярёв А.А. Результаты проспективного изучения исходов переломов проксимального отдела бедра // Остеопороз и остеопатии. 2000. № 1. С. 9–14.
14. Меньшикова Л.В. Эпидемиология остеопороза и переломов конечностей среди лиц старше 50 лет в Иркутской области. В кн.: Актуальные проблемы современной ревматологии: сборник научных работ. Волгоград, 2002.
15. Кривова А.В., Тимаев Р.В., Родионова С.С. Эпидемиология переломов проксимального отдела бедра в популяции г. Твери // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2006. № 2. С. 17–20.
16. Ершова О.Б., Синицына О.С., Белова К.Ю., и др. Эпидемиология переломов проксимального отдела бедренной кости у городского населения Российской Федерации: результаты многоцентрового исследования // Фарматека. 2012. № 2. С. 10–16.
17. Lesnyak O., Ershova O., Belova K., et al. Epidemiology of fracture in the Russian Federation and the development of a FRAX model // Arch Osteoporos. 2012. N 7. P. 67–73. doi: 10.1007/s11657-012-0082-3
18. Древаль А.В., Марченкова Л.А., Крюкова И.В. Частота переломов бедра и предплечья и затраты на их лечение в Московской области // Остеопороз и остеопатии. 2005. Т. 8, № 2. С. 8–13. doi: 10.14341/osteo200528-13
19. Марченкова Л.А., Крюкова И.В., Герасименко М.Ю. 16-летнее ретроспективно-проспективное исследование частоты переломов проксимального отдела бедра и дистального отдела предплечья в Московской области // Остеопороз и остеопатии. 2016. Т. 19, № 2. С. 19–20. doi: 10.14341/osteo2016219-20
20. Воронцова Т.Н., Богопольская А.С., Чёрный А.Ж., Шевченко С.Б. Структура контингента больных с переломами проксимального отдела бедра и расчет среднегодовой потребности в экстренном хирургическом лечении // Травматология и ортопедия России. 2016. Т. 22, № 1. С. 7–20. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-7-20
21. Ramanau H., Chernyanin I., Rudenka E., et al. Epidemiology of hip fracture in Belarus: development of a country-specific FRAX model

and its comparison to neighboring country models // *Arch Osteoporos*. 2018. Vol. 13, N 1. P. 42. doi: 10.1007/s11657-018-0454-4

22. Поворознюк В.В., Григорьева Н.В., Корж М.О., и др. Епідеміологія переломів проксимального відділу стегнової кістки в Україні: результати двох ретроспективних досліджень // *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2016. Т. 605, № 4. С. 68–74.

23. Povoroznyuk V.V., Grygorieva N.V., Kanis J.A., et al. Epidemiology of Hip Fractures in Two Regions of Ukraine // *J Osteoporos*. 2018. N 2018. P. 7182873. doi: 10.1155/2018/7182873

24. Исаева С.М. Эпидемиология основных остеопоротических переломов в Республике Казахстан // *Остеопороз и остеопатии*. 2020. Т. 23, № 2. С. 63–64.

25. Zakroyeva A., Lesnyak O., Cazac V., et al. Epidemiology of osteoporotic fracture in Moldova and development of a country-specific FRAX model // *Arch Osteoporos*. 2020. Vol. 15, N 1. P. 13. doi: 10.1007/s11657-019-0669-z

26. Lesnyak O., Sahakyan S., Zakroyeva A., et al. Epidemiology of fractures in Armenia: development of a country-specific FRAX model and comparison to its surrogate // *Arch Osteoporos*. 2017. Vol. 12, N 1. P. 98. doi: 10.1007/s11657-017-0392-6

27. Kanis J.A., Delmas P., Burckhardt P., et al. Guidelines for diagnosis and management of osteoporosis. The European Foundation for Osteoporosis and Bone Disease // *Osteoporos Int*. 1997. Vol. 7, N 4. P. 390–406. doi: 10.1007/BF01623782

28. Mattsson L., Bojan A., Enocson A. Epidemiology, treatment and mortality of trochanteric and subtrochanteric hip fractures: data from the Swedish fracture register // *BMC Musculoskelet Disord*. 2018. Vol. 19, N 1. P. 369. doi: 10.1186/s12891-018-2276-3

29. Glinkowski W., Narloch J., Krasuski K., Śliwczynski A. The increase of osteoporotic hip fractures and associated one-year mortality in Poland: 2008–2015 // *J Clin Med*. 2019. Vol. 8, N 9. P. 1487. doi: 10.3390/jcm8091487

30. Si L., Winzenberg T.M., Jiang Q., et al. Projection of osteoporosis-related fractures and costs in China: 2010–2050 // *Osteoporos Int*. 2015. Vol. 26, N 7. P. 1929–1937. doi: 10.1007/s00198-015-3093-2

31. Zhu Y., Xing X., Liu S., et al. Epidemiology of low-energy wrist, hip, and spine fractures in Chinese populations 50 years or older: A national population-based survey // *Medicine (Baltimore)*. 2020. Vol. 99, N 5. P. e18531. doi: 10.1097/MD.00000000000018531

32. Stevens J.A., Rudd R.A. The impact of decreasing US hip fracture rates on future hip fracture estimates // *Osteoporos Int*. 2013. Vol. 24, N 10. P. 2725–2728. doi: 10.1007/s00198-013-2375-9

REFERENCES

- Mel'nichenko GA, Belaya ZE, Rozhinskaya LY, et al. Russian federal clinical guidelines on the diagnostics, treatment, and prevention of osteoporosis. *Problems of Endocrinology*. 2017;63(6):392–426. (In Russ). doi: 10.14341/probl2017636392-426
- Verbovoy AF, Pashentseva AV, Sharonova LA. Osteoporosis: Current state of the art. *Terapevticheskii arkhiv*. 2017;89(5):90–97. (In Russ). doi: 10.17116/terarkh201789590-97
- Chislennost' naseleniya Rossiiskoi Federatsii po polu i vozrastu na 1 yanvarya 2021 goda (Statisticheskii byulleten') [Internet]. Federal'naya sluzhba gosudarstvennoi statistiki. Moscow; 2021 [cited 2022 Nov 4]. Available from: https://rosstat.gov.ru/storage/mediabank/Bul_chislen_nasel-pv_01-01-2021.pdf. (In Russ).
- Lesnyak OM. Audit sostoyaniya problemy osteoporoza v stranakh Vostochnoi Evropy i Tsentral'noi Azii 2010. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2011;14(2):3–6. (In Russ). doi: 10.14341/osteo201123-6
- Cooper C, Atkinson EJ, O'Fallon WM, Melton LJ. 3rd. Incidence of clinically diagnosed vertebral fractures: a population-based study in Rochester, Minnesota, 1985–1989. *J Bone Miner Res*. 1992;7(2):221–227. doi: 10.1002/jbmr.5650070214
- Kharvi N, Makkloski Yu. *Zdorov'e skeleta: problemy i puti resheniya. Global'nyi plan izmeneniya situatsii* [Internet]. Great Britain; 2016 [cited 2022 Nov 4]. Available from: <https://share.osteoporosis.foundation/WOD/2016/thematic-report/WOD16-report-WEB-RU.pdf>. (In Russ).

7. Hernlund E, Svedbom A, Ivergård M, et al. Osteoporosis in the European Union: medical management, epidemiology and economic burden. A report prepared in collaboration with the International Osteoporosis Foundation (IOF) and the European Federation of Pharmaceutical Industry Associations (EFPIA). *Arch Osteoporos*. 2013;8(1):136. doi: 10.1007/s11657-013-0136-1
8. Mironova SP, Rodionova SS, Kolondaev AF, et al. Metod farmakologicheskoy korrektsii metabolizma kostnoy tkani dlya uluchsheniya rezul'tatov endoprotezirovaniya tazobedrennogo sustava. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2006;9(3):44–47. (In Russ). doi: 10.14341/osteo2006344-47
9. Krivova AV, Rodionova SS. Dinamika chastoty perelomov proksimal'nogo otdela bedra sredi naseleniya goroda Tveri za period s 1994 po 2004 g. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2007;10(1):2–5. (In Russ). doi: 10.14341/osteo200712-5
10. Solod EI. Kompleksnyi podkhod k terapii patsientov s narusheniem metabolizma kostnoi tkani v travmatologii i ortopedii. *Effective Pharmacotherapy*. 2017;12:50–52. (In Russ).
11. Mikhailov EE, Benevolenskaya LI, Anikin SG, et al. Chastota perelomov proksimal'nogo otdela bedrennoi kosti i distal'nogo otdela predplech'ya sredi gorodskogo naseleniya Rossii. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 1999;3:2–6. (In Russ).
12. Gladkova EN, Khodyrev VN, Lesnyak OM. An epidemiological survey of osteoporotic fractures in older residents from the Middle Urals. *Rheumatology Science and Practice*. 2014;52(6):643–649. (In Russ). doi: 10.14412/1995-4484-2014-643-649
13. Ershova OB, Semenova OV, Degtyarev AA. Rezul'taty prospektivnogo izucheniya iskhodov perelomov proksimal'nogo otdela bedra. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2000;1:9–14. (In Russ).
14. Men'shikova LV. Epidemiologiya osteoporoza i perelomov konechnostei sredi lits starshe 50 let v Irkutskoi oblasti. In: *Aktual'nye problemy sovremennoi revmatologii: sbornik nauchnykh rabot*. Volgograd; 2002. (In Russ).
15. Krivova AV, Timaev RV, Rodionova SS. Epidemiology of proximal femur fractures in population of Tver'. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2006;2:17–20. (In Russ).
16. Ershova OB, Sinitsyna OS, Belova KYu, et al. Epidemiology of Proximal Femoral Fractures. *Farmateka*. 2012;2:10–16. (In Russ).
17. Lesnyak O, Ershova O, Belova K, et al. Epidemiology of fracture in the Russian Federation and the development of a FRAX model. *Arch Osteoporos*. 2012;7:67–73. doi: 10.1007/s11657-012-0082-3
18. Dreval' AV, Marchenkova LA, Kryukova IV. Chastota perelomov bedra i predplech'ya i zatraty na ikh lechenie v Moskovskoi oblasti. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2005;8(2):8–13. (In Russ). doi: 10.14341/osteo200528-13
19. Marchenkova LA, Kryukova IV, Gerasimenko MYu. 16-letnee retrospektivno-prospektivnoe issledovanie chastoty perelomov proksimal'nogo otdela bedra i distal'nogo otdela predplech'ya v Moskovskoi oblasti. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2016;19(2):19–20. (In Russ). doi: 10.14341/osteo2016219-20
20. Vorontsova TN, Bogopol'skaya AS, Cherny AZ, Shevchenko SB. Cohort structure of patients with proximal femur fractures and estimation of average annual demand for emergency surgical treatment. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2016;22(1):7–20. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-7-20
21. Ramanau H, Chernyanin I, Rudenka E, et al. Epidemiology of hip fracture in Belarus: development of a country-specific FRAX model and its comparison to neighboring country models. *Arch Osteoporos*. 2018;13(1):42. doi: 10.1007/s11657-018-0454-4
22. Povoroznyuk VV, Grigor'eva NV, Korzh MO, et al. Epidemiology of proximal femur fractures in Ukraine: results of two retrospective studies. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie*. 2016;605(4):68–74. (In Ukr).
23. Povoroznyuk VV, Grygorieva NV, Kanis JA, et al. Epidemiology of Hip Fractures in Two Regions of Ukraine. *J Osteoporos*. 2018;2018:7182873. doi: 10.1155/2018/7182873
24. Isaeva SM. Epidemiology of major osteoporotic fractures in Kazakhstan Republic. *Osteoporosis and Bone Diseases*. 2020;23(2):63–64. (In Russ).
25. Zakroyeva A, Lesnyak O, Cazac V, et al. Epidemiology of osteoporotic fracture in Moldova and development of a country-specific FRAX model. *Arch Osteoporos*. 2020;15(1):13. doi: 10.1007/s11657-019-0669-z
26. Lesnyak O, Sahakyan S, Zakroyeva A, et al. Epidemiology of fractures in Armenia: development of a country-specific FRAX model and comparison to its surrogate. *Arch Osteoporos*. 2017;12(1):98. doi: 10.1007/s11657-017-0392-6
27. Kanis JA, Delmas P, Burckhardt P, et al. Guidelines for diagnosis and management of osteoporosis. The European Foundation for Osteoporosis and Bone Disease. *Osteoporos Int*. 1997;7(4):390–406. doi: 10.1007/BF01623782
28. Mattisson L, Bojan A, Enocson A. Epidemiology, treatment and mortality of trochanteric and subtrochanteric hip fractures: data from the Swedish fracture register. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):369. doi: 10.1186/s12891-018-2276-3
29. Glinkowski W, Narloch J, Krasuski K, Śliwczynski A. The increase of osteoporotic hip fractures and associated one-year mortality in Poland: 2008–2015. *J Clin Med*. 2019;8(9):1487. doi: 10.3390/jcm8091487
30. Si L, Winzenberg TM, Jiang Q, et al. Projection of osteoporosis-related fractures and costs in China: 2010–2050. *Osteoporos Int*. 2015;26(7):1929–1937. doi: 10.1007/s00198-015-3093-2
31. Zhu Y, Xing X, Liu S, et al. Epidemiology of low-energy wrist, hip, and spine fractures in Chinese populations 50 years or older: A national population-based survey. *Medicine (Baltimore)*. 2020;99(5):e18531. doi: 10.1097/MD.00000000000018531
32. Stevens JA, Rudd RA. The impact of decreasing US hip fracture rates on future hip fracture estimates. *Osteoporos Int*. 2013;24(10):2725–2728. doi: 10.1007/s00198-013-2375-9
33. Orimo H, Yaegashi Y, Hosoi T, et al. Hip fracture incidence in Japan: estimates of new patients in 2012 and 25-year trends. *Osteoporos Int*. 2016;27(5):1777–1784. doi: 10.1007/s00198-015-3464-8
34. Kim BS, Lim JY, Ha YC. Recent epidemiology of hip fractures in South Korea. *Hip Pelvis*. 2020;32(3):119–124. doi: 10.5371/hp.2020.32.3.119
35. Dhanwal DK, Siwach R, Dixit V, et al. Incidence of hip fracture in Rohtak district, North India. *Arch Osteoporos*. 2013;8(0):135. doi: 10.1007/s11657-013-0135-2
36. Oliveira CC, Borba VZC. Epidemiology of femur fractures in the elderly and cost to the state of Paraná, Brazil. *Acta Ortop Bras*. 2017;25(4):155–158. doi: 10.1590/1413-785220172504168827
37. Mironov SP, Rodionova SS. Osteoporoz kak odna iz problem travmatologii i ortopedii. Proceedings of the 1st Conference with the international participation «Problema osteoporoza v travmatologii i ortopedii»; 2000 Feb 16–17; Moscow. P. 2–4. Available from: https://journals.eco-vector.com/0869-8678/article/view/101545/ru_RU. Accessed: 06.11.2022. (In Russ).

- 38.** Mironov SP, Rodionova SS. Sovremennoe sostoyanie problemy osteoporoz. Proceedings of the 2nd Conference with the international participation «Problema osteoporoz v travmatologii i ortopedii»; 2003 Feb 12–13; Moscow. P. 3–5. (In Russ).
- 39.** Mironov SP, Rodionova SS, Andreeva TM. Organizational Aspects of the Osteoporosis Problem in Traumatology and Orthopaedics. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2009;16(1):3–6. (In Russ).
- 40.** Mironov SP. Osteoporoz kak mediko-sotsial'naya problema. Proceedings of the 3rd Conference with the international participation «Problema osteoporoz v travmatologii i ortopedii»; 2006 Feb 14–15; Moscow. P. 4–5. (In Russ).

- 41.** Rodionova SS, Nuzhdin VI, Klyushnichenko IV, et al. Smoking and alcohol abuse — risk factors of aseptic instability of hip endoprostheses. *Annals of the Russian Academy of Medical Sciences*. 2008;9:6–12. (In Russ).
- 42.** Klyuchevskiy VV, Belov MV, Bystrov SV, Serov IA. Organization of correct treatment of patients with proximal femoral fractures. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;20(2):107–111. (In Russ). doi: 10.21823/2311-2905-69
- 43.** Lesnyak OM, Kuznetsova NL, Kuz'mina LI. Mediko-sotsial'nye posledstviya pereloma sheiki bedra u pozhilykh. *Clinical Gerontology*. 2001;7(9):22–27. (In Russ).

ОБ АВТОРАХ

Самарин Михаил Алексеевич, аспирант,
врач травматолог-ортопед; e-mail: botanzek49@gmail.com

Аси Хабибаллах Заид Ахмед, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9194-743X>;
e-mail: habeb.asi395@mail.ru

Кривова Алла Владимировна, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9722-1285>;
eLibrary SPIN: 9755-0627; e-mail: krivova267@gmail.com

* **Родионова Светлана Семёновна**, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>;
eLibrary SPIN: 3529-8052; e-mail: rod06@inbox.ru

Соломянник Ирина Анатольевна, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5463-9158>;
e-mail: solomyannikia@cito-priorov.ru

AUTHORS INFO

Mikhail A. Samarin, graduate student,
traumatologist-orthopedist; e-mail: botanzek49@gmail.com

Habiballah Zaid A. Asi, graduate student,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9194-743X>;
e-mail: habeb.asi395@mail.ru

Alla V. Krivova, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9722-1285>;
eLibrary SPIN: 9755-0627; e-mail: krivova267@gmail.com

* **Svetlana S. Rodionova**, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2726-8758>;
eLibrary SPIN: 3529-8052; e-mail: rod06@inbox.ru

Irina A. Solomyannik, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5463-9158>;
e-mail: solomyannikia@cito-priorov.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108463>

Трансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы при врожденных недоразвитиях кисти

П.А. Матвеев, И.В. Шведовченко, А.А. Кольцов

Федеральный научный центр реабилитации инвалидов имени Г.А. Альбрехта, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Согласно данным мировой литературы, врожденные пороки развития верхней конечности встречаются у 2,3–7,9 на 10 тыс. живорожденных детей, при этом аномалии развития кисти встречаются у 65–95% пациентов, наиболее часто — редуциционные аномалии (брахидактилия, эктродактилия, адактилия, гипоплазия). В мировой литературе известны различные методы реконструктивно-пластической хирургии, включая микрохирургию, компрессионно-дистракционный остеосинтез, различные виды кожной, сухожильно-мышечной и костной пластики, а также протезирование. Трансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп — менее распространенный метод, который при редуциционных аномалиях кисти также является эффективным и технически доступным. Данное исследование направлено на изучение актуальности применения представленного метода на основании анализа мировой литературы.

Цель обзора — анализ мирового опыта использования трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп при врожденных недоразвитиях кисти. Для этого был выполнен поиск литературных источников в открытых электронных базах PubMed и eLibrary за последние 110 лет. Анализированы публикации, посвященные изучению эффективности пересадки фаланг пальцев стопы в дефекты пальцев кисти в клинической практике. Данный метод имеет ряд достоинств: низкая травматичность для донорской стопы, минимальный риск рассасывания пересаженного трансплантата, восстановление анатомии сформированного пальца кисти, сохранение кровоснабжения и чувствительности в сформированном пальце, возможность роста фаланги при сохранении зоны роста, функциональность пальцев кисти. Вместе с тем нигде не обозначены такие вопросы, как функционирование зоны роста некрвоснабжаемой фаланги после ее трансплантации, причины продолжения или прекращения роста в ближайшие сроки после операции, резорбции перемещенных фаланг, зависимости подвижности реконструированных пальцев от технологии вмешательства.

Проведение дальнейших исследований по изучению роли трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп при патологии кисти у детей представляется актуальной задачей.

Ключевые слова: дети; кисть; пороки развития; костная пластика; трансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы; обзор.

Как цитировать:

Матвеев П.А., Шведовченко И.В., Кольцов А.А. Трансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы при врожденных недоразвитиях кисти // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 193–204. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108463>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108463>

Non-vascularized toe phalanges transplantation in congenital hand malformations

Pavel A. Matveev, Igor V. Shvedovchenko, Andrey A. Koltsov

Federal Scientific Center of Rehabilitation of the Disabled named after G.A. Albrecht, St. Petersburg, Russia

ABSTRACT

According to the world literature, congenital malformations of the upper limb are found in 2.3–7.9 per 10 thousand live births, while anomalies in the development of the hand occur in 65–95% of patients, the most common are reduction anomalies (brachydactyly, ectrodactyly, adactyly, hypoplasia). Various methods of reconstructive plastic surgery are known in the world literature, including microsurgery, compression-distraction osteosynthesis, various types of skin, tendon-muscle and bone plasty, as well as prosthetics. Non-vascularized toe phalanges transplantation is a less common method, which is effective and technically accessible in case of reduction anomalies of the hand. This study is aimed at studying the relevance of the application of the presented method based on the analysis of world literature.

The aim of the review is the analysis of the world experience of using non-vascularized toe phalanges transplantation in case of congenital hand malformations. A search was made for literature sources in the open electronic databases PubMed and eLibrary for the last 110 years. The publications devoted to the study of the effectiveness of transplanting the phalanges of the toes into defects of the fingers in clinical practice are analyzed. This method has a number of advantages: low morbidity for the donor foot, minimal risk of resorption of the transplanted graft, restoration of the anatomy of the formed finger, preservation of blood supply and sensitivity in the formed finger, the possibility of phalanx growth while maintaining the growth zone, the functionality of the fingers. At the same time, such issues as the detailed functioning of the growth zone of the non-perfusion phalanx after its transplantation, the reasons for the continuation or cessation of growth in the short term after surgery, the resorption of displaced phalanges, and the dependence of the mobility of the reconstructed fingers on the technology of interventions are not indicated anywhere.

Conducting further research on the role of transplantation of non-vascularized toe phalanges in the pathology of the hand in children seems to be an actual task.

Keywords: children; hand; malformations; bone grafting; non-vascularized toe phalanges transplantation; review.

To cite this article:

Matveev PA, Shvedovchenko IV, Koltsov AA. Non-vascularized toe phalanges transplantation in congenital hand malformations. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):193–204. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto108463>

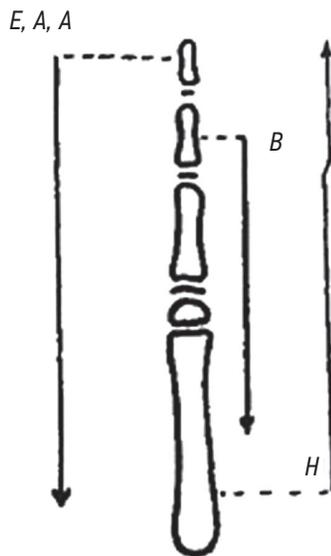


Рис. 1. Принципиальная схема тератологических рядов дефектов, характеризующихся уменьшением линейных и объемных параметров кисти: *E* — эктродактилия, *A* — адактилия, *A* — аплазия, *B* — брахидактилия, *H* — гипоплазия.

Fig. 1. Schematic diagram of teratological series of defects characterized by a decrease in linear and volumetric parameters of the hand: *E* — ectrodactyly, *A* — adactyly, *A* — aplasia, *B* — brachydactyly, *H* — hypoplasia.

или пальцев кисти как косметическими [27, 28], так и активными протезами [28, 29].

История вопроса

Метод трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп получил известность в начале XX века.

Впервые о выполнении трансплантации некрвоснабжаемой фаланги пальца стопы в дефект пальца кисти сообщил немецкий хирург Н. Wolff в 1910 году [25]. Он провел 27-летней женщине пересадку проксимальной фаланги второго пальца стопы в позицию средней фаланги второго пальца кисти, удаленной ранее из-за лизиса вследствие перенесенной туберкулезной инфекции.

Второй случай костной пластики дефекта пальца кисти некрвоснабжаемой фалангой со стопы был опубликован W. Goebel в 1913 году [30]. Автор представил наблюдение за пациентом 16 лет, которому в 1911 году выполнена резекция пораженной энхондромой проксимальной фаланги четвертого пальца кисти с одномоментным замещением сформированного дефекта проксимальной фалангой второго пальца левой стопы.

В 1959 году данную методику дважды повторил М.А. Entin при лечении дефектов пальцев кисти [31].

В 1975 году появилась публикация о перемещении 159 фаланг пальцев стоп у 79 пациентов [32], затем в 1982 году — о 36 случаях пересадки фаланг пальцев стоп в область рудиментов фаланг пальцев кисти у 20 детей [33].

Наиболее широкую известность указанный метод лечения врожденной патологии получил в 1990 году, когда

D. Buck-Gramsko опубликовал результаты исследований 57 пациентов, которым с 1976 года было выполнено 97 трансплантаций фаланг [22, 23].

Более поздние публикации: в 1993 году — об опыте применения трансплантации 73 фаланг с минимальным сроком наблюдения 1 год [34], в 2003 — о перемещении 64 фаланг пальцев стоп у 22 детей [35], в 2005 — о выполнении 113 трансплантаций некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп у 48 пациентов [36].

В 2006 году F. Unglaub et al. опубликовали результаты наблюдения 20 пациентов с врожденными деформациями кистей, которым в 1975–1995 годах было проведено 56 трансплантаций некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп [37].

Известна публикация Т. Ozkan о применении метода у 6 детей с афалангией кистей (терминология автора), у 1 пациента — с двусторонней аномалией, которым было выполнено 18 трансплантаций фаланг пальцев стоп [38].

М.А. Tonkin et al. в 2005 году сообщили о 21 случае пересадки фаланг пальцев стоп в дефекты пальцев на кисти у 13 пациентов с афалангией [39].

L. Garagnani et al. клинически и рентгенологически изучали состояние донорских участков у 40 пациентов с недоразвитиями пальцев кисти, которым в 1991–2007 годах было выполнено 136 трансплантаций фаланг пальцев стоп с восстановлением сухожилия разгибателя после удаления фаланги [40].

В 2018 году Н. Kawabata et al. [41] также описали результаты своих наблюдений за ростом перемещенных фаланг у 54 пациентов в отдаленном периоде, от 5 до 10 лет после операции.

В России метод трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы стал применяться недавно. Впервые об успешном применении метода при лечении 15 детей с врожденными аномалиями кисти (в основном при различных формах эктродактилии и брахидактилии) сообщили И.В. Шведовченко и А.А. Кольцов в 2018 году [21].

Варианты патологии

Согласно литературным данным, трансплантацию некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы выполняли как при врожденных недоразвитиях [21–24, 31–45], так и в случаях приобретенной патологии кисти, связанных с утратой фаланги [25, 30, 40].

Публикации, посвященные пересадке некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы при приобретенной патологии кисти, очень редки. Мы встретили только 3 публикации, посвященные данному вопросу, в которых был представлен опыт наблюдения пациентов после перемещения фаланг пальцев стопы при последствиях туберкулезного поражения средней фаланги второго пальца кисти [25], энхондроме проксимальной фаланги четвертого пальца кисти [30] и последствиях перинатального тромбоза подключичной вены [40].

Наиболее часто применяли данную методику при врожденных поражениях кисти. Об использовании метода при брахидактилии сообщается в 6 источниках [21–23, 35, 36, 40], как и при гипоплазии пальцев кисти [21–23, 40, 44, 45]. Чуть реже встречаются сведения о пересадке фаланг пальцев стопы при эктродактилии [21–23, 33] и при афалангии [35, 36, 38, 39]. Также выявлено 3 публикации, посвященных трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы при синдроме амниотических перетяжек [35, 36, 40].

Техника операции

Согласно данным литературы [21–25, 30, 32–37, 40, 42], методику трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы выполняли следующим образом.

Основным доступом к реципиентной зоне на кисти является тыльный. В ходе операции создавали диастаз в мягких тканях для обеспечения возможности помещения в дефект пальца трансплантата фаланги. Крайне важно учитывать объем тканей в дистальной части пальца, чтобы предотвратить нарушение локального кровоснабжения и развитие краевого некроза из-за натяжения кожи после внедрения фаланги. Обычно в качестве донорской фаланги использовали проксимальные или средние фаланги второго, третьего или четвертого пальца стопы [21–24, 32–37, 40].

Доступ к донорской зоне на стопе осуществляли по тыльной поверхности пальца [21–25, 30, 32–37, 40, 42–44]. Обязательным условием было сохранение целостности трансплантата и его надкостницы [21–24, 30, 32, 33].

Для предотвращения укорочения донорского пальца, а также с целью сохранения стабильности пальца стопы использовали различные методы: внедрение реберного хряща [25, 30], костного ауто трансплантата, взятого поднадкостнично из гребня подвздошной кости [42], цилиндрического костного трансплантата из бедренной кости

с включением в состав эпифизарного хряща [42].

D. Buck-Gramcko [22, 23] применял менее травматичный способ — сшивание сухожилия сгибателя с сухожилием разгибателя донорского пальца стопы. Донорский палец фиксировали спицей Киршнера на 4–5 нед [22, 23].

Выделенную фалангу пальца стопы внедряли в ранее сформированное реципиентное ложе пальца кисти в положение либо основной, либо средней фаланги (в зависимости от дефекта). Также трансплантат мог потенциально использоваться для одновременной реконструкции пястно-фалангового сустава и увеличения длины недоразвитого пальца, в котором отсутствуют все скелетные образования, дистальные по отношению к головке пястной кости. Сформированный палец кисти фиксировали спицей Киршнера на 4–6 нед [22, 24].

Осложнения

Обнаруженные в публикациях осложнения, возможные после пересадки фаланг пальцев стопы, указаны в таблице.

Наиболее часто среди осложнений в литературе встречаются краевой некроз кожи и мягких тканей на конце сформированного пальца кисти (до 9,3% случаев) и послеоперационный подвывих трансплантата (до 12,5%). В 1 источнике сообщают о 13,0% случаев локального нарушения кровообращения из-за натяжения кожи, в результате чего потребовалось укорочение трансплантата [41]. В 1 публикации пишут о 12,5% пациентов, у которых сформировались грубые послеоперационные рубцы, что потребовало дополнительной пластики местными тканями [36]. Крайне редким осложнением являлась поверхностная раневая инфекция — до 0,6% случаев [32].

Отдаленные результаты

Согласно данным литературы, в ходе наблюдения пациентов в отдаленном периоде часто встречались случаи

Таблица. Послеоперационные осложнения, возможные после трансплантации некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы

Table. Postoperative complications possible after non-vascularized toe phalanges transplantation

Осложнения	Исследования	Доля осложнений, %
Локальное нарушение кровообращения из-за натяжения кожи	H. Kawabata et al., 2018 [41]	13,0
Поверхностная раневая инфекция	R.E. Carroll et al., 1975 [32]	0,6
	R.E. Carroll et al., 1975 [32]	2,5
Краевой некроз кожи и мягких тканей на конце сформированного пальца кисти	D. Buck-Gramcko, 1990 [22, 23]	5,2
	T. Gohla et al., 2005 [36]	8,3
	T. Ozkan et al., 2007 [38]	5,6
	H. Kawabata et al., 2018 [41]	9,3
Грубые послеоперационные рубцы, потребовавшие дополнительного вмешательства с применением Z-пластики или пластики местными тканями	T. Gohla et al., 2005 [36]	12,5
	D. Buck-Gramcko, 1990 [22, 23]	2,1
Послеоперационный подвывих трансплантата	T. Gohla et al., 2005 [36]	12,5
	T. Ozkan et al., 2007 [38]	5,6

укорочения, деформации, избыточной подвижности донорских пальцев стопы [37, 38, 40, 42], что могло вызвать проблемы с подбором и ношением обуви [40, 42], однако не оказывало существенного влияния на походку [37].

G. Bourke и S.P. Kay [42] в своих наблюдениях разделили пациентов на две группы: 1-я — пациенты, которым замещение дефекта донорской зоны не выполняли; 2-я — пациенты после замещения дефекта пальца губчато-кортикальным трансплантатом. Авторы оценивали следующие параметры: длину донорского пальца стопы по сравнению с контрлатеральным четвертым пальцем стопы (использовали для сравнения как постоянную характеристику донорской стопы), стабильность донорского пальца, наличие деформаций пальцев стоп, удовлетворенность родителей состоянием оперированных стоп у детей. У пациентов 2-й группы длина донорского пальца по сравнению с контрлатеральным была больше в 6 случаях, равна в 3 случаях и короче в 2 случаях. У большинства пациентов 1-й группы отмечались гибкие, неустойчивые («пересекающиеся» или «перекрывающиеся») пальцы, тогда как во 2-й группе они встречались только в 2 случаях. Удовлетворенность родителей состоянием донорской стопы детей оценивалась путем опроса о внешнем виде стоп, любых проблемах с подбором и ношением обуви, а также о внимании ребенка к оперированной стопе. Удовлетворенность родителей пациентов 2-й группы была выше, чем у родителей пациентов 1-й группы.

L. Garagnani et al. [40] клинически и рентгенологически изучали заболеваемость донорских участков у 40 пациентов с недоразвитиями пальцев кисти, которым в 1991–2007 годах было выполнено 136 трансплантаций фаланг пальцев стоп с восстановлением сухожилия разгибателя после удаления фаланги. Средний период наблюдения составил 122 мес с минимальным периодом наблюдения 36 мес. При этом, авторы использовали опросник The Oxford Ankle-Foot Questionnaire (OAFQ), утвержденный для детей в возрасте 5–16 лет, который освещает удовлетворенность пациентов и их родителей состоянием стоп. Более 80% пациентов и семей сообщили о наличии эмоциональных проблем, связанных с их стопами. Проблемы, связанные с подбором и ношением обуви, были отмечены более чем у 60% пациентов. Все опрошенные пациенты сообщили о склонности скрывать свои стопы. С клинической точки зрения укорочение донорских пальцев стоп носило универсальный характер, а избыточная подвижность отмечалась в 76–100% случаев. Неудивительно, что клиническая деформация пальцев стоп усиливалась, когда несколько донорских фаланг брали с одной стопы. Рентгенологическое исследование также выявило гипотрофию окружающих костных структур, включая дистальную фалангу, среднюю фалангу и плюсневую кость. Одному пациенту была проведена ампутация четвертых пальцев обеих стоп в связи с нестабильностью.

Согласно данным подавляющего большинства авторов, оптимальный срок выполнения операции — первые

1,5–2 года жизни [22, 24, 33, 34, 36–38, 41]. Преимущества: лучший потенциал для роста, развития и формирования кисти, более быстрое заживление после операции, а также сниженный эмоциональный барьер для ребенка и родителей. В качестве недостатков раннего вмешательства отмечены повышенная техническая сложность и связанный с этим повышенный риск осложнений.

При изучении литературы выявлено, что пересадка некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы отличается редкой частотой возникновения резорбции трансплантатов в отдаленном периоде после операции [21, 25, 30, 32, 38, 43].

При этом обнаружены публикации, в которых авторы сопоставили связь резорбции трансплантата с возрастом выполнения оперативного вмешательства [36, 37]. В обеих публикациях пациенты были разделены на 3 группы: оперированных в возрасте до 1,5 лет, от 1,5 до 4 лет и старше 4 лет.

Так T. Gohla et al. [36] отметили, что у детей, оперированных в возрасте до 1,5 лет, частота резорбции составила 4%, тогда как у оперированных в возрасте старше 4 лет — 45%.

Об аналогичном выводе сообщили F. Unglaub et al. [37], опубликовав наблюдения 20 пациентов с врожденными деформациями кистей, которым в 1975–1995 годах было проведено 56 трансплантаций некрвоснабжаемых фаланг пальцев стоп. Ретроспективно пациенты обследовались в среднем через 3,5 (от 1,5 до 17,6) года на предмет функции кисти, роста трансплантированной фаланги, оценки зоны роста, а также удовлетворения родителей результатом лечения. У детей, оперированных в возрасте до 1,5 лет, трансплантаты прижились, случаи их резорбции были единичными, а у пациентов 3-й группы отмечена более высокая частота резорбции трансплантатов (54%).

Вместе с тем в наблюдениях H. Wolff и W. Goebel за взрослыми пациентами (27-летней женщиной и 16-летним юношей) при контрольном рентгенологическом обследовании через 1–2 года после операции лизиса трансплантатов не отмечалось [25, 30].

Согласно данным ряда авторов, длительность функционирования зоны роста в трансплантате также зависит от возраста, в котором выполняли операцию [33, 34, 36].

N.H. Goldberg и H. Kirk-Watson [33] заявили, что доля сохранения зон роста у детей с периодом отдаленного наблюдения в среднем 3,4 года составила 90% для оперированных в возрасте от 6 мес до 1,5 лет, 67% для оперированных в возрасте 1,5–5 лет, 50% для оперированных в возрасте 5–13 лет.

R.F. Radocha et al. [34] провели аналогичные наблюдения пациентов через 1 год после операции. У 94% детей, оперированных в возрасте до 1 года, зоны роста остались открытыми. Численность пациентов с сохранными через 1 год зонами роста, оперированных в возрасте от 1 до 2 лет, оказалась ниже — 71 %, тогда как всего

у 48% детей, оперированных в возрасте старше 2 лет, зоны роста оставались открытыми.

T. Gohla et al. [36] также выявили наиболее длительное функционирование зон роста у детей, оперированных до возраста 18 мес (87% в этой группе), в возрасте от 19 мес до 4 лет — у 86 %, старше 4 лет — у 64%.

В мировой литературе известны наблюдения, посвященные длительности и темпам роста перемещенных фаланг пальцев стопы [33–35, 38, 39, 41].

В наблюдениях N.H. Goldberg и H. Kirk-Watson [33] линейный рост перемещенных фаланг превысил 90% от роста аналогичной фаланги на контрлатеральной стопе во всех случаях трансплантаций с открытыми зонами роста.

R.F. Radocha et al. [34] отмечали, что темпы роста трансплантатов у детей, оперированных в возрасте до 2 лет, составляют 1 мм/год, тогда как у оперированных в более позднем возрасте — 0,5 мм/год.

A.V. Cavallo et al. [35] сообщили, что в течение 5-летнего наблюдения длина трансплантированных фаланг увеличилась в среднем на 5 мм.

Согласно наблюдениям T. Ozkan et al. [38], скорость линейного роста перенесенных фаланг в среднем составила 2,4 мм/год в период наблюдения от 2 до 4 лет после операции, к завершению исследования зоны роста функционировали у 78% пациентов.

M.A. Tonkin et al. [39] также отмечали, что в отдаленном периоде (5–10 лет после операции) длина перенесенных фаланг пальцев стоп составляла в среднем 75% от контрлатеральной сопоставимой фаланги пальца стопы и 44% от контрлатеральной проксимальной фаланги пальца кисти.

В 2018 году H. Kawabata et al. [41] описали результаты своих наблюдений за ростом перемещенных фаланг у 54 пациентов в течение 5–10 лет после операции. Средний возраст пациентов на момент операции составил 1,5 года. Длина перемещенных фаланг составила 87% от ожидаемой при 5-летнем наблюдении, 71% — при 10-летнем наблюдении. Темпы роста фаланг в среднем составляли 0,83 мм/год в первые 5 лет и 0,22 мм/год в последующие 5 лет. У 23% пациентов рост фаланги завершился в течение первых 5 лет, у остальных — в течение 10 лет.

В суставных поверхностях реконструированных пальцев кисти, сформированных за счет пересаженных фаланг пальцев стопы, наблюдалась подвижность [21–25, 30, 35, 38, 41, 43].

D. Buck-Gramcko [22, 23] отмечал, что попытки воссоздать функциональный сустав приводили к переменным результатам с диапазоном движений от 0 до 90°.

В наблюдениях A.V. Cavallo et al. [35] средняя амплитуда движений сформированных суставов составляла 60°.

Согласно публикации H. Kawabata et al. [41] об опыте наблюдения 54 пациентов в течение 5–10 лет, активные движения в сформированных суставах пальцев кисти

у 24 пациентов оценены как хорошие (разгибание более 0° и сгибание более 45°), у 7 — удовлетворительные, у 16 — плохие (амплитуда движений менее 30°). Стабильность и выравнивание по оси оценены как хорошие (до 10°) в 37 и 33 случаях соответственно, удовлетворительные (от 10 до 30°) — в 8 и 5, плохие (более 30°) — в 2 и 9.

За счет увеличения длины оперированных пальцев кистей и появления подвижности в сформированных суставах, трансплантация некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы способствует улучшению мануальных навыков, возможности самообслуживания, функции схвата кистей и их внешнего вида [21, 23, 25, 30, 37, 38, 40].

Перед завершением анализа данных литературы об отдаленных результатах пересадки некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы, стоит упомянуть следующие уникальные наблюдения [43–45].

В 2016 году S. Naran [43] сообщил о случае наблюдения пациентки с врожденной аномалией 2–5 пальцев правой кисти через 35 лет после выполнения в возрасте 4 лет трансплантации некрвоснабжаемых проксимальных фаланг 5-го пальца левой стопы и 4–5 пальцев правой стопы в позиции основных фаланг 3–5 пальцев кисти. Автор отмечает хорошую функциональность кисти с полностью подвижными пястно-фаланговыми суставами во всех реконструированных пальцах и отсутствие у пациентки эмоциональных проблем, связанных с линейным укорочением донорских пальцев стоп.

Интересны 2 исследования результатов перемещения не фаланг пальцев стопы, а плюсневых костей.

C.S. Chow et al. [44] в 2012 году опубликовали сведения о 6 случаях реконструкции гипопластического большого пальца кисти (Blauth, типы IIIB–IV) путем пересадки продольно разделенных плюсневых костей и их соединения с рудиментарной пястной костью. В ходе дальнейшего наблюдения (в среднем 87,7 мес) рентгенологически достоверно отмечался рост перенесенной плюсневой кости в среднем на 1,5 мм/год. Функциональность кистей оценивалась по тесту Джебсена–Тейлора. Слабость оперированных кистей, по сравнению с контрлатеральными конечностями, сохранялась, но были улучшения при захвате и при движениях в суставах 1 пальца кисти.

Аналогичный случай реконструкции гипопластического 1 пальца правой кисти (Blauth, тип IIIB) у мальчика в возрасте 5 лет опубликован M.A. Nakada et al. в 2018 году [45]. До операции у ребенка активное сгибание и разгибание межфалангового и пястно-фалангового суставов большого пальца были невозможны, а запястно-пястный сустав был нестабильным. На рентгенограммах отмечалась гипоплазия 1 пястной кости и дефект запястно-пястного сустава. Ребенку выполнена трансплантация некрвоснабжаемой 4 плюсневой кости левой стопы, при этом фаланга была разделена продольно, фрагмент вычленен, перевернут, трансплантирован и подшит к 1 пястной кости. Сразу после операции длина пястной кости составила

the article, analysis of the material, writing the text of the manuscript; I.V. Shvedovchenko — review of publications on the topic of the article, analysis of the material, editing the text of the manuscript; A.A. Koltsov — review of publications on the topic of the article, analysis of the material, editing the text of the manuscript. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках выполнения Государственного задания № 149-00001-22-00 от 29.12.2021 на 2022 и плановый период 2023 и 2024 годов

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. msdmanuals.com [Internet]. Boyadjiev Boyd S.A. Introduction to congenital craniofacial and musculoskeletal abnormalities. [дата обращения: 12.05.2022]. Medical topics & chapters; [около 2 страниц]. Доступ по ссылке: <https://www.msdmanuals.com/professional/pediatrics/congenital-craniofacial-and-musculoskeletal-abnormalities/introduction-to-congenital-craniofacial-and-musculoskeletal-abnormalities>.
2. Lamb D.W., Wynne-Davies R., Soto L. An estimate of the population frequency of congenital malformations of the upper limb // *J Hand Surg*. 1982. Vol. 7, N 6. P. 557–562. [doi: 10.1016/s0363-5023(82)80101-9]
3. Тяжелков А.П. Врожденные пороки кисти с недостаточным развитием составляющих элементов // *Здравоохранение Дальнего Востока*. 2014. № 4. С. 65–72.
4. Шведовченко И.В. Лечение детей с врожденными пороками развития верхних конечностей. В кн.: *Травматология и ортопедия / под ред. Н.В. Корнилова, Э.Н. Грязнухина*. Т. 2. Санкт-Петербург : Гиппократ, 2005.
5. Swanson A.B., Swanson G.D., Tada K. A classification for congenital limb malformation // *J Hand Surg Am*. 1983. Vol. 8, N 5, Pt 2. P. 693–702. doi: 10.1016/s0363-5023(83)80249-4
6. Tonkin M.A. Classification of congenital anomalies of the hand and upper limb // *J Hand Surg Eur Vol*. 2017. Vol. 42, N 5. P. 448–456. doi: 10.1177/1753193417690965
7. Codivilla A. On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity // *J Bone Joint Surg Am*. 1905. Vol. s2-2, N 4. P. 353–369.
8. Hülsbergen-Krüger S., Preisser P., Partecke B.D. Ilizarov distraction-lengthening in congenital anomalies of the upper limb // *J Hand Surg Br*. 1998. Vol. 23, N 2. P. 192–195. doi: 10.1016/s0266-7681(98)80173-3
9. Matev I.B. Thumb reconstruction after amputation at the metacarpophalangeal joint by bone-lengthening. A preliminary report of three cases // *J Bone Joint Surg*. 1970. Vol. 52, N 5. P. 957–965. doi: 10.2106/00004623-197052050-00010
10. Pensler J.M., Carroll N.C., Cheng L.F. Distraction osteogenesis in the hand // *Plast Reconstr Surg*. 1998. Vol. 102, N 1. P. 92–95. doi: 10.1097/00006534-199807000-00014
11. Seitz W.H., Shimko P., Patterson R.W. Long-term results of callus distraction-lengthening in the hand and upper extremity for traumatic and congenital skeletal deficiencies // *J Bone Joint Surg Am*. 2010. Vol. 92, Suppl 2. P. 47–58. doi: 10.2106/jbjs.j.01106
12. Buck-Gramcko D. Congenital malformations of the hand and forearm // *Chir Main*. 2002. Vol. 21, N 2. P. 70–101. doi: 10.1016/s1297-3203(02)00103-8
13. Kay S.P., Wiberg M. Toe to hand transfer in children. Part 1: technical aspects // *J Hand Surg Br*. 1996. Vol. 21, N 6. P. 723–734. doi: 10.1016/s0266-7681(96)80176-8
14. Kay S.P., Wiberg M., Bellew M., Webb F. Toe to hand transfer in children. Part 2: Functional and psychological aspects. // *J Hand Surg Br*. 1996. Vol. 21, N 6. P. 735–745. doi: 10.1016/s0266-7681(96)80177-x
15. Kotkansalo T., Vilkkki S., Elo P. Long-term results of finger reconstruction with microvascular toe transfers after trauma // *J Plast Reconstr Aesthet Surg*. 2011. Vol. 64, N 10. P. 1291–1299. doi: 10.1016/j.bjps.2011.04.036
16. Broadbent T.R., Woolf R.M. Thumb reconstruction with contiguous skin-bone pedicle graft. A case report // *J Plast Reconstr Surg*. 1960. Vol. 26, N 5. P. 494–499. doi: 10.1097/00006534-196011000-00002
17. McGregor I.A., Simonetta C. Reconstruction of the thumb by composite bone-skin flap. // *Br J Plast Surg*. 1964. Vol. 17. P. 37–48. doi: 10.1016/s0007-1226(64)80007-2
18. Mowlem R. Bone grafting // *Br J Plast Surg*. 1963. Vol. 16. P. 293–304. doi: 10.1016/s0007-1226(63)80133-2
19. Nicoladoni C. Daumenplastik // *Wien Klin Wochenschr*. 1897. Vol. 10. P. 663–665. (In German).
20. Timann C. Die Behandlung der Spinaventosamittels freier Autoplastik // *Beitr Klin Chir*. 1902. Vol. 36. P. 189–211. (In German).
21. Шведовченко И.В., Кольцов А.А. Улучшение функции кисти при тяжелых формах недоразвития методом свободной костной пластики некрвоснабжаемых фаланг пальцев стопы. В кн.: *Резабилитация XXI век: традиции и инновации: материалы II Национального конгресса с международным участием; 12-13 сентября 2018 года; Санкт-Петербург, Россия*. Санкт-Петербург : Минтруд России, 2018. С. 158.
22. Buck-Gramcko D., Pereira J.A. Proximal toe phalanx transplantation for bony stabilization and lengthening of partially aplastic digits // *Ann Chir Main Memb Super*. 1990. Vol. 9, N 2. P. 107–118. doi: 10.1016/s0753-9053(05)80487-9
23. Buck-Gramcko D. The role of nonvascularized toe phalanx transplantation // *Hand Clin*. 1990. Vol. 6, N 4. P. 643–659. doi: 10.1016/s0749-0712(21)01061-1
24. medscape.com [Internet]. Laub D.R. Congenital hand deformities [дата обращения: 12.04.2022]. *Drugs & Diseases > Plastic Surgery*

[около 2 страниц]. Доступ по ссылке: <https://emedicine.medscape.com/article/1285233-overview>

- 25.** Wolff H. Auswechsellung von Finger und Zehenknochen: Beitrag zur Autoplastik // *Münchener Med Wochenschr.* 1911. Vol. 58. P. 578. (In German).
- 26.** Kessler I., Baruch A., Hecht O. Experience with distraction lengthening of digital rays in congenital anomalies // *J Hand Surg Am.* 1977. Vol. 2, N 5. P. 394–401. doi: 10.1016/s0363-5023(77)80049-x
- 27.** Руководство по протезированию и ортезированию / под ред. М.А. Дымочки, А.И. Суховеровой, Б.Г. Спивака. 3-е изд. Москва, 2016.
- 28.** Корюков А.А. Способ подготовки к протезированию короткой культи кисти // *Вестник всероссийской гильдии протезистов-ортопедов.* 2011. № 1. С. 25–26.
- 29.** Круглов А.В., Шведовченко И.В. Оценка результатов функционального протезирования детей с врожденными дефектами кисти и пальцев // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2019. Т. 7, № 2. С. 33–40. doi: 10.17816/PTORS7233-40
- 30.** Goebel W. Ersatz von Fingergelenken durch Zehengelenke // *Münchener Med Wochenschr.* 1913. P. 1598–1599. (In German).
- 31.** Entin M.A. Reconstruction of congenital abnormalities of the upper extremities // *J Bone Joint Surg Am.* 1959. Vol. 41-A, N 4. P. 681–701.
- 32.** Carroll R.E., Green D.P. Reconstruction of the hypoplastic digits using toe phalanges // *J Bone Joint Surg Am.* 1975. Vol. 57. P. 727. doi: 10.2106/00004623-197557050-00038
- 33.** Goldberg N.H., Watson H.K. Composite toe (phalanx and epiphysis) transfers in the reconstruction of the aphalangic hand // *J Hand Surg Am.* 1982. Vol. 7, N 5. P. 454–459. doi: 10.1016/s0363-5023(82)80039-7
- 34.** Radocha R.F., Netscher D., Kleinert H.E. Toe phalangeal grafts in congenital hand anomalies // *J Hand Surg Am.* 1993. Vol. 18, N 5. P. 833–841. doi: 10.1016/0363-5023(93)90050-d
- 35.** Cavallo A.V., Smith P.J., Morley S., Morci A.W. Non-vascularized free toe phalanx transfers in congenital hand deformities the Great Ormond Street experience // *J Hand Surg Br.* 2003. Vol. 28, N 6. P. 520–527. doi: 10.1016/s0266-7681(03)00084-6
- 36.** Gohla T., Metz Ch., Lanz U. Non-vascularized free toe phalanx transplantation in the treatment of symbrachydactyly and constriction ring syndrome // *J Hand Surg Br.* 2005. Vol. 30, N 5. P. 446–451. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.003
- 37.** Unglaub F., Lanz U., Hahn P. Outcome analysis, including patient and parental satisfaction, regarding nonvascularized free toe phalanx transfer in congenital hand deformities // *Ann Plast Surg.* 2006. Vol. 56, N 1. P. 87–92. doi: 10.1097/01.sap.0000188109.65963.42
- 38.** Ozkan T., Kuvat S.V., Aydin A., Bicer A. Nonvascular phalangeal transfer from toes to hand in congenital aphyalangia // *J Acta Orthop Traumatol Turc.* 2007. Vol. 41, N 1. P. 36–41. (In Turkish).
- 39.** Tonkin M.A., Deva A.K., Filan S.L. Long term follow-up of composite non-vascularized toe phalanx transfers for aphyalangia // *J Hand Surg Br.* 2005. Vol. 30, N 5. P. 452–458. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.001
- 40.** Garagnani L., Gibson M., Smith P.J., Smith G.D. Long-term donor site morbidity after free nonvascularized toe phalangeal transfer // *J Hand Surg Am.* 2012. Vol. 37, N 4. P. 764–774. doi: 10.1016/j.jhsa.2011.12.010
- 41.** Kawabata H., Tamura D. 5- and 10-year follow-up of nonvascularized toe phalanx transfers // *J Hand Surg Am.* 2018. Vol. 43, N 5. P. 485.e1–485.e5. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.10.034
- 42.** Bourke G., Kay S.P. Free phalangeal transfer: donor-site outcome // *Br J Plast Surg.* 2002. Vol. 55, N 4. P. 307–311. doi: 10.1054/bjps.2002.3836
- 43.** Naran S., Imbriglia J.E. Case report: 35-year follow-up for nonvascularized toe phalangeal transfer for multiple digit symbrachydactyly // *Hand (N Y).* 2016. Vol. 11, N 4. P. NP38–NP40. doi: 10.1177/1558944716658748
- 44.** Chow C.S., Ho P.C., Tse W.L., Hung L.K. Reconstruction of hypoplastic thumb using hemi-longitudinal metatarsal transfer // *J Hand Surg Eur Vol.* 2012. Vol. 37, N 8. P. 738–744. doi: 10.1177/1753193411432677
- 45.** Nakada M.A., Tada K., Nakajima T., et al. Case of a 5-year-old boy with a blauth type IIIB hypoplastic thumb reconstructed with a nonvascularized, hemilongitudinal metatarsal transfer // *Case Rep Orthop.* 2018. Vol. 2018. P. 8205285. doi: 10.1155/2018/8205285

REFERENCES

- 1.** msdmanuals.com [Internet]. Boyadjiev Boyd S.A. Introduction to congenital craniofacial and musculoskeletal abnormalities [updated 2020 May 23; cited 2022 May 12]. Medical topics & chapters. Available from: <https://www.msdmanuals.com/professional/pediatrics/congenital-craniofacial-and-musculoskeletal-abnormalities/introduction-to-congenital-craniofacial-and-musculoskeletal-abnormalities>.
- 2.** Lamb DW, Wynne-Davies R, Soto L. An estimate of the population frequency of congenital malformations of the upper limb. *J Hand Surg Am.* 1982;7(6):557–562. doi: 10.1016/s0363-5023(82)80101-9
- 3.** Tyazhelkov AP. Congenital hand malformations with the insufficient development of the composing elements. *Healthcare of the Far East.* 2014;(4):65–72. (In Russ).
- 4.** Shvedovchenko IV. Lechenie detei s vrozhdannymi porokami razvitiya verkhnikh konechnostei. In: *Travmatologiya i ortopediya.* Ed by N.V. Kornilov, E.N. Gryaznukhin. Vol. 2. St. Petersburg: Gippokrat; 2005. (In Russ).
- 5.** Swanson AB, Swanson GD, Tada K. A classification for congenital limb malformation. *J Hand Surg Am.* 1983;8(5 Pt 2):693–702. doi: 10.1016/s0363-5023(83)80249-4
- 6.** Tonkin MA. Classification of congenital anomalies of the hand and upper limb. *J Hand Surg Eur Vol.* 2017;42(5):448–456. doi: 10.1177/1753193417690965
- 7.** Codivilla A. On the means of lengthening, in the lower limbs, the muscles and tissues which are shortened through deformity. *J Bone Joint Surg Am.* 1905;s2-2(4):353–369.
- 8.** Hülsbergen-Krüger S, Preisser P, Partecke BD. Ili-zarov distraction-lengthening in congenital anomalies of the upper limb. *J Hand Surg Br.* 1998;23(2):192–195. doi: 10.1016/s0266-7681(98)80173-3
- 9.** Matev IB. Thumb reconstruction after amputation at the metacarpophalangeal joint by bone-lengthening. A preliminary report of three cases. *J Bone Joint Surg.* 1970;52(5):957–965. doi: 10.2106/00004623-197052050-00010

10. Pensler JM, Carroll NC, Cheng LF. Distraction osteogenesis in the hand. *Plast Reconstr Surg.* 1998;102(1):92–95. doi: 10.1097/00006534-199807000-00014
11. Seitz WH, Shimko P, Patterson RW. Long-term results of callus distraction-lengthening in the hand and upper extremity for traumatic and congenital skeletal deficiencies. *J Bone Joint Surg Am.* 2010;92 Suppl 2:47–58. doi: 10.2106/JBJS.J.01106
12. Buck-Gramcko D. Congenital malformations of the hand and forearm. *Chir Main.* 2002;21(2):70–101. doi: 10.1016/s1297-3203(02)00103-8
13. Kay SP, Wiberg M. Toe to hand transfer in children. Part 1: technical aspects. *J Hand Surg Br.* 1996;21(6):723–734. doi: 10.1016/s0266-7681(96)80176-8
14. Kay SP, Wiberg M, Bellew M, Webb F. Toe to hand transfer in children. Part 2: Functional and psychological aspects. *J Hand Surg Br.* 1996;21(6):735–745. doi: 10.1016/s0266-7681(96)80177-x
15. Kotkansalo T, Vilkki S, Elo P. Long-term results of finger reconstruction with microvascular toe transfers after trauma. *J Plast Reconstr Aesthet Surg.* 2011;64(10):1291–1299. doi: 10.1016/j.bjps.2011.04.036
16. Broadbent TR, Woolf RM. Thumb reconstruction with contiguous skin-bone pedicle graft. A case report. *J Plast Reconstr Surg.* 1960;26(5):494–499. doi: 10.1097/00006534-196011000-00002
17. McGregor IA, Simonetta C. Reconstruction of the thumb by composite bone-skin flap. *Br J Plast Surg.* 1964;17:37–48. doi: 10.1016/s0007-1226(64)80007-2
18. Mowlem R. Bone grafting. *Br J Plast Surg.* 1963;16:293–304. doi: 10.1016/s0007-1226(63)80133-2
19. Nicoladoni C. Daumenplastik. *Wien Klin Wochenschr.* 1897;10:663–665. (In German).
20. Timann C. Die Behandlung der Spinaventosamittels freier Autoplastik. *Beitr Klin Chir.* 1902;36:189–211. (In German).
21. Shvedovchenko IV, Koltsov AA. The improvement of hand function in patients with severe hand underdevelopment by method of free toes phalanx transposition. In: Rehabilitation XXI century: traditions and innovations: Proceedings of the II National Congress with international participation; 2018 Sep 12–13; St. Petersburg, Russia. St. Petersburg: Ministry of Labor of Russia; 2018. P. 158. (In Russ).
22. Buck-Gramcko D, Pereira JA. Proximal toe phalanx transplantation for bony stabilization and lengthening of partially aplastic digits. *Ann Chir Main Memb Super.* 1990;9(2):107–118. doi: 10.1016/s0753-9053(05)80487-9
23. Buck-Gramcko D. The role of nonvascularized toe phalanx transplantation. *Hand Clin.* 1990;6(4):643–659. doi: 10.1016/s0749-0712(21)01061-1
24. medscape.com [Internet]. Laub DR. Congenital hand deformities [updated 2021 Mar 24; cited 2022 Apr 12]. Drugs & Diseases > Plastic Surgery [about 2 screens]. Available from: <https://emedicine.medscape.com/article/1285233-overview>
25. Wolff H. Auswechsellung von Finger und Zehenknochen: Beitrag zur Autoplastik. *Münchener Med Wochenschr.* 1911;58:578. (In German).
26. Kessler I, Baruch A, Hecht O. Experience with distraction lengthening of digital rays in congenital anomalies. *J Hand Surg Am.* 1977;2(5):394–401. doi: 10.1016/s0363-5023(77)80049-x
27. *Rukovodstvo po protezirovaniyu i ortezirovaniyu.* Ed by M.A. Dymochka, A.I. Sukhoverova, B.G. Spivak 3rd ed. Moscow; 2016. (In Russ).
28. Koryukov AA. Spособ podgotovki k protezirovaniyu korotkoi kul'ti kisti. *Vestnik vsereossiiskoi gil'dii protezistov-ortopedov.* 2011;(1):25–26. (In Russ).
29. Kruglov AV, Shvedovchenko IV. Evaluation of the results of functional prosthetics in children with congenital defects of the hand and fingers. *Orthopedics, Traumatology and Reconstructive Surgery of Childhood.* 2019;7(2):33–40. (In Russ). doi: 10.17816/PTORS7233-40
30. Goebel W. Ersatz von Fingergelenken durch Zehengelenke. *Münchener Med Wochenschr.* 1913:1598–1599. (In German).
31. Entin MA. Reconstruction of congenital abnormalities of the upper extremities. *J Bone Joint Surg Am.* 1959;41-A(4):681–701.
32. Carroll RE, Green DP. Reconstruction of the hypoplastic digits using toe phalanges. *J Bone Joint Surg Am.* 1975;57:727. doi: 10.2106/00004623-197557050-00038
33. Goldberg NH, Watson HK. Composite toe (phalanx and epiphysis) transfers in the reconstruction of the aphyalangic hand. *J Hand Surg Am.* 1982;7(5):454–459. doi: 10.1016/s0363-5023(82)80039-7
34. Radocha RF, Netscher D, Kleinert HE. Toe phalangeal grafts in congenital hand anomalies. *J Hand Surg Am.* 1993;18(5):833–841. doi: 10.1016/0363-5023(93)90050-d
35. Cavallo AV, Smith PJ, Morley S, Morci AW. Non-vascularized free toe phalanx transfers in congenital hand deformities: the Great Ormond Street experience. *J Hand Surg Br.* 2003;28(6):520–527. doi: 10.1016/s0266-7681(03)00084-6
36. Gohla T, Metz Ch, Lanz U. Non-vascularized free toe phalanx transplantation in the treatment of symbrachydactyly and constriction ring syndrome. *J Hand Surg Br.* 2005;30(5):446–451. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.003
37. Unglaub F, Lanz U, Hahn P. Outcome analysis, including patient and parental satisfaction, regarding nonvascularized free toe phalanx transfer in congenital hand deformities. *Ann Plast Surg.* 2006;56(1):87–92. doi: 10.1097/01.sap.0000188109.65963.42
38. Ozkan T, Kuvat SV, Aydin A, Bicer A. Nonvascular phalangeal transfer from toes to hand in congenital aphyalangia. *J Acta Orthop Traumatol Turc.* 2007;41(1):36–41. (In Turkish).
39. Tonkin MA, Deva AK, Filan SL. Long term follow-up of composite non-vascularized toe phalanx transfers for aphyalangia. *J Hand Surg Br.* 2005;30(5):452–458. doi: 10.1016/j.jhsb.2005.06.001
40. Garagnani L, Gibson M, Smith PJ, Smith GD. Long-term donor site morbidity after free nonvascularized toe phalangeal transfer. *J Hand Surg Am.* 2012;37(4):764–774. doi: 10.1016/j.jhsa.2011.12.010
41. Kawabata H, Tamura D. 5- and 10-year follow-up of nonvascularized toe phalanx transfers. *J Hand Surg Am.* 2018;43(5):485.e1–485.e5. doi: 10.1016/j.jhsa.2017.10.034
42. Bourke G, Kay SP. Free phalangeal transfer: donor-site outcome. *Br J Plast Surg.* 2002;55(4):307–311. doi: 10.1054/bjps.2002.3836
43. Naran S, Imbriglia JE. Case report: 35-year follow-up for nonvascularized toe phalangeal transfer for multiple digit symbrachydactyly. *Hand (N Y).* 2016;11(4):NP38–NP40. doi: 10.1177/1558944716658748
44. Chow CS, Ho PC, Tse WL, Hung LK. Reconstruction of hypoplastic thumb using hemi-longitudinal metatarsal transfer. *J Hand Surg Eur Vol.* 2012;37(8):738–744. doi: 10.1177/1753193411432677
45. Nakada MA, Tada K, Nakajima T, et al. Case of a 5-year-old boy with a blauth type IIIB hypoplastic thumb reconstructed with a non-vascularized, hemilongitudinal metatarsal transfer. *Case Rep Orthop.* 2018;2018:8205285. doi: 10.1155/2018/8205285

ОБ АВТОРАХ

***Павел Андреевич Матвеев**, аспирант,
врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 195067, Санкт-Петербург,
ул. Бестужевская, д. 50;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0455-740X>;
eLibrary SPIN: 2026-3460; e-mail: p-matveyev@narod.ru

Игорь Владимирович Шведовченко, д-р мед. наук,
профессор, врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>;
eLibrary SPIN: 3326-0488; e-mail: schwed.i@mail.ru

Андрей Анатольевич Кольцов, канд. мед. наук,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
eLibrary SPIN: 2767-3392; e-mail: katandr2007@yandex.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHORS INFO

***Pavel A. Matveev**, post-graduate student,
traumatologist-orthopedist;
address: 50 Bestuzhevskaya str., 195067,
Saint Petersburg, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0455-740X>;
eLibrary SPIN: 2026-3460; e-mail: p-matveyev@narod.ru

Igor V. Shvedovchenko, MD, Dr. Sci. (Med.), professor,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4618-328X>;
eLibrary SPIN: 3326-0488; e-mail: schwed.i@mail.ru

Andrey A. Koltsov, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0862-8826>;
eLibrary SPIN: 2767-3392; e-mail: katandr2007@yandex.ru

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109172>

Повреждения заднего полукольца таза: классификация, диагностика, методы лечения

Н.А. Аганесов, А.Ф. Лазарев, А.А. Кулешов, М.С. Ветрилэ, И.Н. Лисянский, С.Н. Макаров, В.Р. Захарин

НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Российская Федерация

АННОТАЦИЯ

В статье представлен обзор литературы из источников PubMed (MEDLINE) и eLibrary по проблеме повреждений заднего полукольца таза. Проанализировано 67 научных работ из источников PubMed и eLibrary. Освещены современные аспекты классификации, диагностики и хирургических методов лечения повреждений заднего полукольца таза. В настоящее время предложены различные классификации переломов крестца, однако их нельзя рассматривать отдельно от всего тазового кольца, потому что крестец — это не только один из отделов позвоночника, но и часть таза. «Золотым стандартом» диагностики пациента с подозрением на повреждение тазового кольца является компьютерная томография, которая снижает частоту пропущенной или запоздалой диагностики повреждений таза. Позвоночно-тазовая фиксация в сочетании с подвздошно-крестцовыми винтами или пластиной (треугольный остеосинтез) — наиболее стабильная техника стабилизации заднего полукольца таза. Однако необходимо учитывать более высокие риски незаживления послеоперационной раны и глубокой инфекции с последующим удалением металлофиксатора. При отсутствии клинически значимого смещения, но при наличии нестабильности тазового кольца предпочтительно использовать малоинвазивные методы стабилизации заднего полукольца таза.

Ключевые слова: таз; повреждение заднего полукольца таза; крестец; перелом крестца; позвоночно-тазовая диссоциация.

Как цитировать:

Аганесов Н.А., Лазарев А.Ф., Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Захарин В.Р. Повреждения заднего полукольца таза: классификация, диагностика, методы лечения // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2022. Т. 29, № 2. С. 205–220. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109172>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109172>

Posterior pelvic ring injuries: classification, diagnosis, methods of treatment

Nikolay A. Aganesov, Anatoliy F. Lazarev, Aleksandr A. Kuleshov,
Marchel S. Vetrile, Igor N. Lisyansky, Sergei N. Makarov, Vitaliy R. Zakharin

Priorov National Medical Research Center for Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

This article aimed to familiarize the reader with the features of classification, diagnosis, and treatment methods of posterior pelvic ring injuries. It presents a review of literatures from PubMed (MEDLINE) and eLibrary investigating posterior pelvic ring injuries. A total of 67 scientific papers were covered. Modern aspects of classification, diagnostics, and surgical methods of treatment of the posterior pelvic ring injuries were analyzed. However, the classification of posterior pelvic injuries remains a difficult problem. Currently, various classifications of sacral fractures have been proposed, but sacral fractures cannot be considered separately from the entire pelvic ring because it is not only a part of the spine but also of the pelvis. The gold standard diagnostic modality of a patient with suspected pelvic ring damage is computed tomography, which reduces the frequency of missed or delayed diagnosis of pelvic injuries. Spino-pelvic fixation in combination with iliosacral screws or plate (triangular osteosynthesis) is the most stable technique for the stabilization of the dorsal pelvic ring. However, the higher risks of failure of the postoperative wound and the risks of deep infection with subsequent removal of the metal fixator should be considered. In the absence of clinically significant displacement, but in the presence of pelvic ring instability, minimally invasive methods of the stabilization of the posterior pelvic ring are preferred.

Keywords: pelvis; posterior pelvic ring injuries; sacrum; sacrum fracture; spino-pelvic dissociation.

To cite this article:

Aganesov NA, Lazarev AF, Kuleshov AA, Vetrile MS, Lisyansky IN, Makarov SN, Zakharin VR. Posterior pelvic ring injuries: classification, diagnosis, methods of treatment. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2022;29(2):205–220. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto109172>

Received: 04.07.2022

Accepted: 31.10.2022

Published: 29.11.2022

АКТУАЛЬНОСТЬ

Крестец — это связующее звено между позвоночным столбом и тазовым кольцом. Удерживая вес всего тела, он играет фундаментальную роль в обеспечении стабильности тазового кольца во время нагрузки [1]. К нему прилегают такие важные анатомические образования, как нервы, кровеносные сосуды, органы мочеполовой системы и другие органы малого таза, именно поэтому перелом крестца вызывает не только нарушение работы опорно-двигательного аппарата, повреждая заднее полукольцо таза и вызывая нарушение целостности всего тазового кольца, но и может привести к различным сопутствующим повреждениям внутренних органов.

Существует множество причин, вызывающих повреждение задних отделов таза, начиная с высокоэнергетической травмы у молодых (дорожно-транспортные происшествия, кататравма) и заканчивая незначительными травмами у пожилых людей, страдающих остеопорозом. По данным разных авторов, частота повреждений задних отделов таза, не связанных с остеопорозом, составляет 2,1 случая на 100 тыс. человек [2]. Тем временем число этих повреждений с 2002 по 2011 год выросло втрое [1]. Это можно связать и с более широким использованием компьютерной томографии (КТ), влияющей на качество их диагностики [3].

КЛАССИФИКАЦИЯ

В 1948 году А.В. Каплан предложил первую классификацию, базирующуюся на целостности тазового кольца [4]. В последующем, во 2-й половине XX в., были предложены классификации Pennal & Sutherland (1961), учитывающая механизм повреждения, и M. Tile (1980), основанная на стабильности тазового кольца [4]. Они и легли в основу современных классификаций повреждений тазового кольца.

Классификация повреждений задних отделов таза остаётся сложной проблемой. В настоящее время предложены различные варианты классификации переломов крестца, однако их нельзя рассматривать в отдельности от всего тазового кольца, поскольку крестец является не только одним из отделов позвоночника, но и частью таза.

Изолированные повреждения крестца составляют до 10–13% всех переломов крестца [5], в то время как доля повреждений, связанных с нарушением тазового кольца, доходит до 80–90% [1, 3, 6].

На сегодняшний день классификационными системами, широко используемыми для описания переломов крестца в контексте всего тазового кольца, являются классификация Association of the Osteosynthesis / Orthopaedic Trauma Association (AO/OTA; рис. 1), модифицированная классификация Tile [6] и классификация

Young–Burgess [7]. Классификация AO/OTA подразделяет переломы в зависимости от стабильности тазового кольца, в то время как классификация Young–Burgess характеризует повреждения в зависимости от различных векторов смещения: переднезадняя компрессия (APC), боковая компрессия (LC), вертикальный сдвиг (VS; рис. 2).

Классификации повреждений крестца делятся в зависимости от варианта прохождения линии перелома относительно крестцовой кости (продольные,

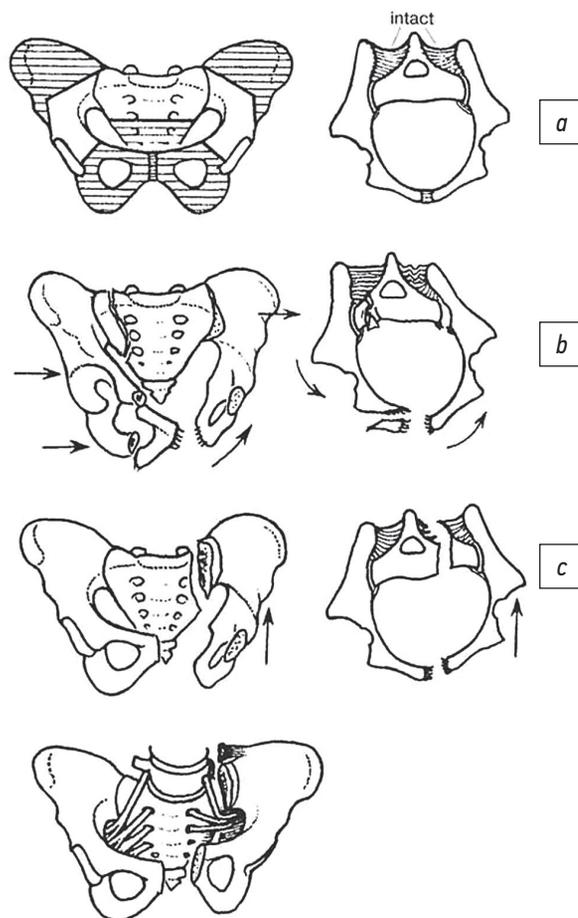


Рис. 1. Классификация переломов костей таза по AO/OTA: тип *a* — стабильные повреждения, при которых целостность костно-связочного аппарата заднего полукольца не нарушена, диафрагма таза интактна; тип *b* — частично стабильные, сопровождающиеся неполным разрывом заднего полукольца и диафрагмы таза, при котором может иметь место ротационная нестабильность; тип *c* — нестабильные повреждения тазового кольца с полной потерей целостности заднего полукольца и диафрагмы таза, ротационной и вертикальной нестабильностью [6].

Fig. 1. AO/OTA classification of pelvic fractures: type *a* — stable injuries in which the integrity of the bone-ligamentous apparatus of the posterior pelvic ring is not broken, the pelvic diaphragm is intact; type *b* — partially stable, accompanied by incomplete rupture of the posterior pelvic ring and pelvic diaphragm, in which rotational instability may occur; type *c* — unstable damage of the pelvic ring with complete loss of integrity of the posterior pelvic ring and pelvic diaphragm, rotational and vertical instability [6].

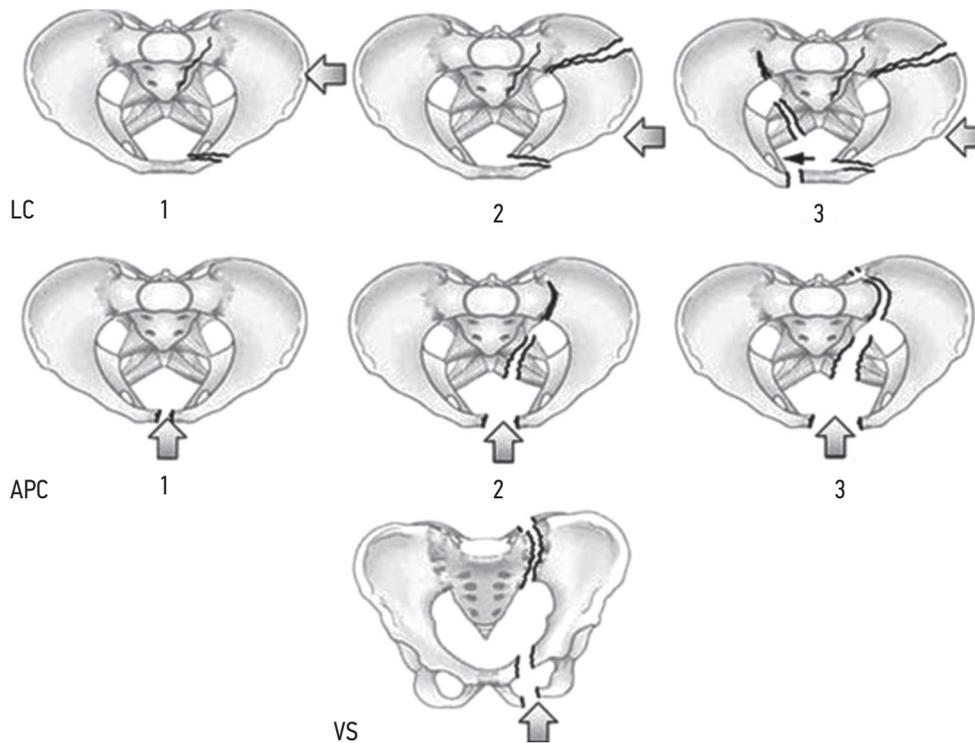


Рис. 2. Классификация переломов костей таза по Young–Burgess [7]. LC — латеральная компрессия: 1 — компрессионные переломы лобковых ветвей (верхней и нижней) и ипсилатеральной передней крестцовой кости; 2 — перелом ветви и вывих ипсилатеральной задней подвздошной кости; 3 — ипсилатеральная компрессия и контралатеральная переднезадняя компрессия. APC — переднезадняя компрессия: 1 — расширение симфиза <2,5 см; 2 — расширение симфиза >2,5 см, диастаз переднего сустава S_1 , разрыв крестцово-остистых и крестцово-бугристых связок; 3 — вывих S_1 с сопутствующим повреждением сосудов. VS — вертикальный сдвиг: задняя и превосходящая направленная сила.

Fig. 2. Young–Burgess classification [7]. LC — lateral compression: 1 — compression fractures of the pubic rami (superior pubic ramus and inferior pubic ramus) and ipsilateral anterior sacral ala; 2 — rami fracture and ipsilateral posterior ilium fracture dislocation; 3 — ipsilateral lateral compression and contralateral APC (windswept pelvis). APC — anterior posterior compression: 1 — symphysis widening <2.5 cm; 2 — symphysis widening >2.5 cm, anterior S_1 joint diastasis, disruption of sacrospinous and sacrotuberous ligaments; 3 — S_1 dislocation with associated vascular injury. VS — vertical shear: posterior and superior directed force.

поперечные или комбинированные в виде H-, U-, λ- или T-образных форм; рис. 3). Продольные переломы являются наиболее распространёнными (90%) [5], поперечные составляют всего 3–5% всех переломов крестца (они же ещё подразделяются на высокие или низкие) [8], а на комбинированные переломы, такие как U-, H-, T- или λ-образные, приходится 3–6% всех случаев переломов крестца [9].

Отдельно следует отметить специфическое состояние, известное как позвоночно-тазовая диссоциация, которое возникает и в случаях двусторонних продольных переломов (см. рис. 1) [10], и при разрывах крестцово-подвздошного сустава. Для продольных переломов предложена отдельная классификация по Denis (рис. 4) [11]. Классификация по Denis предлагает разделять переломы крестца на 3 зоны [11]:

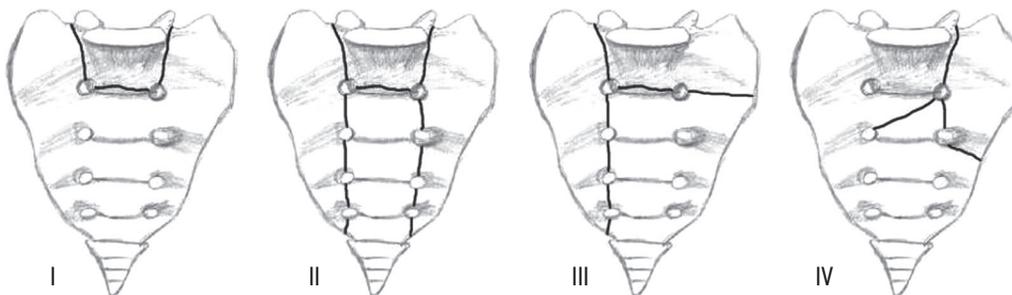


Рис. 3. Классификация комбинированных переломов крестца по прохождению линии перелома крестца: I — U-образный; II — H-образный; III — T-образный; IV — λ-образный [9].

Fig. 3. Classification of combined sacral fractures according to the sacral fracture line: I — U-shaped; II — H-shaped; III — T-shaped; IV — λ-shaped [9].



Рис. 4. Классификация по Denis: зона I — линия перелома проходит через крылья крестца латеральнее крестцовых отверстий; зона II — линия перелома проходит на уровне крестцовых отверстий; зона III — линия перелома проходит через канал крестца медиальнее крестцовых отверстий [11].

Fig. 4. The Denis classification: zone I — fracture involves the sacral ala lateral to the foramina; zone II — fracture at the level of the foramina; zone III — fracture affects the sacral canal medial to the neural foramina [11].

- зона I — линия перелома проходит латеральнее крестцовых отверстий;
- зона II — линия перелома проходит через крестцовые отверстия;
- зона III — линия перелома проходит через канал крестца (медиальнее крестцовых отверстий).

Переломы зоны I [11] имеют 6% риск неврологических осложнений (радикулопатия L_V). Переломы зоны II (могут возникать у пациентов с нестабильной гемодинамикой из-за повреждения боковых и медиальных крестцовых артерий) [11] имеют 28% риск неврологических осложнений. Переломы зоны III имеют 56% риск неврологических осложнений (синдром «конского хвоста») [11].

Модифицированная классификация Roy–Camille [12] (рис. 5) описывает высокие поперечные переломы крестца (выше тела S_{IV}) с различным риском неврологических поражений и разделяет их в зависимости от смещения. Эти переломы приходятся на зону III [8]. Классификация Roy–Camille включает в себя 4 типа переломов с различным риском развития неврологических поражений [13]. Переломы типа I отличаются только кифотической угловой деформацией, переломы типа II характеризуются как кифозом, так и ретролистезом, переломы типа III представлены полным антелистезом, а переломы типа IV характеризуются сильным разрушением тела S_I . Типы I и II наиболее распространены (93%), в то время как типы III и IV встречаются реже (7%) [13].

В. Isler также разделил повреждения крестца в зависимости от прохождения линии перелома по отношению к суставной фасетке L_V-S_I , которая вместе с пояснично-крестцовыми задними связками

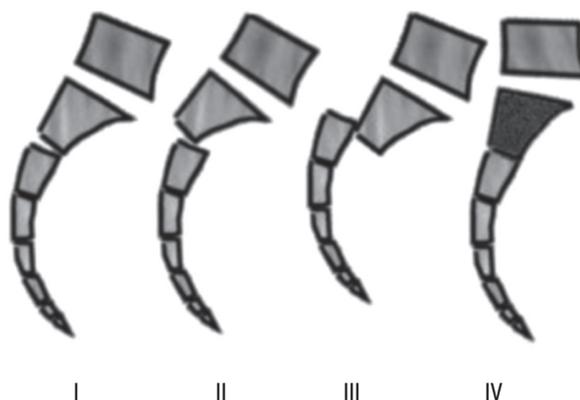


Рис. 5. Классификация по Roy–Camille: тип I — перелом с угловой кифотической деформацией; тип II — перелом с кифотической деформацией и ретролистезом; тип III — полный антелистез; тип IV — тотальное разрушение тела S_I [13].

Fig. 5. The Roy–Camille classification: type I — fractures show kyphotic angulation only; type II — fractures demonstrate both kyphosis and retrolisthesis; type III — fractures have complete anterior listhesis; type IV — fractures characterized by severe comminution of the S_I body [13].

и крестцово-подвздошными суставами определяет стабильность позвоночника и таза (рис. 6) [14]. Он классифицировал продольные трансфораминальные переломы и разделил их на 3 типа:

- тип I — стабильный, проходящий латеральнее суставной фасетки L_V-S_I ;
- тип II — нестабильный, проходящий через суставную фасетку L_V-S_I ;
- тип III — крайне нестабильный, медиальный по отношению к суставной фасетке L_V-S_I , представляющий собой своего рода позвоночно-тазовую диссоциацию [15], возникающую, как правило, при вертикальном сдвиге.

ДИАГНОСТИКА

Клиническая

Клинический диагноз перелома крестца не всегда очевиден, а порой и затруднён. Переломы крестца являются частью полифокальных повреждений таза в сочетании с повреждениями переднего полукольца и переломами вертлужной впадины. Частота пропущенной или запоздалой диагностики колеблется в пределах от 25 до 70% [16]. В целом для перелома крестца характерна специфическая картина с учётом механизма травмы: это обычно высокоэнергетическая травма, сопровождающаяся болью в ягодицах, кровоподтёками, припухлостью или рваной раной в области крестца, нарушением чувствительности промежности и гениталий, нарушением тонуса анального сфинктера, неврологическим дефицитом нижних конечностей, наличием поражения Мореля–Лавалле. Следует

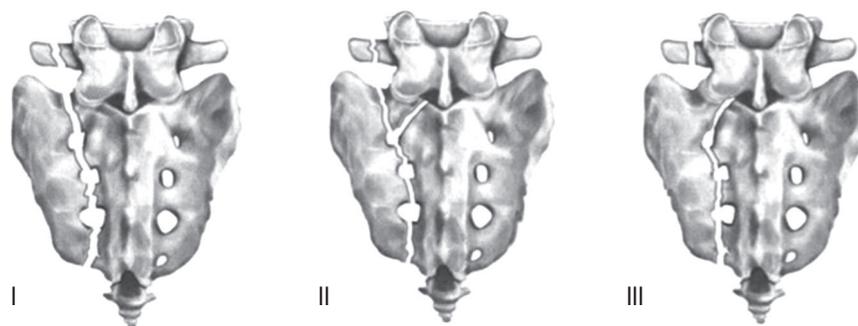


Рис. 6. Классификация повреждений пояснично-крестцового отдела позвоночника по Isler: тип I — линия перелома латеральнее суставной фасетки L_V-S_1 ; тип II — линия перелома проходит через суставную фасетку L_V-S_1 ; тип III — линия перелома медиальнее суставной фасетки L_V-S_1 [14].

Fig. 6. Isler classification of the lumbosacral injuries: type I — the fracture line is lateral to the facet joint L_V-S_1 ; type II — the fracture line passes through the facet joint L_V-S_1 ; type III — the fracture line is medial to the facet joint L_V-S_1 [14].

отметить, что в 62% случаев высокоэнергетические поперечные переломы крестца сочетаются с переломами грудных и поясничных позвонков [17].

Низкоэнергетические переломы крестца характеризуются нетипичной клинической картиной (пациенты жалуются на неоднозначную боль в пояснице, которая усиливается при осевой нагрузке, имитируя боль от поясничного стеноза или метастазирования в позвоночник, как правило, без радикулопатии) [18]. Низкоэнергетические переломы боковых масс крестца сопровождаются переломом лобковой дуги и являются типичным видом переломов на фоне остеопороза. Стресс-переломы крестца обычно наблюдают у спортсменов, сообщающих о боли в пояснице при отсутствии травмы [19].

Лучевая

Классические обзорные рентгенограммы таза в прямой проекции служат методом первичной диагностики, однако ориентируясь только на них можно пропустить до 50% переломов крестца [17]. Проекция входа и выхода (inlet / outlet) могут дополнить прямую проекцию для увеличения чувствительности рентгенограмм к диагностике повреждений задних отделов таза [17].

В настоящее время «золотым стандартом» исследования пациентов с подозрением на повреждение тазового кольца служит компьютерная томография (КТ), которая способна помочь обнаружить переломы крестца с чувствительностью до 88% [20]. Магнитно-резонансная томография (МРТ) обладает самой высокой чувствительностью (98%), поскольку может способствовать диагностированию скрытых переломов с неповреждённым кортикальным слоем кости, пропущенных при КТ [19]. На МРТ можно обнаружить отёк губчатой кости и линию перелома в виде линии гипоинтенсивного сигнала [21]. Кроме того, переломы крестца могут быть связаны со злокачественным поражением (по данным некоторых исследований, до 45% случаев) [22]. МРТ также может помочь в дифференциальной диагностике, позволяя идентифицировать отёк кости, который является признаком инфекционного

процесса или опухоли, которые необходимо исключить [23]. При подозрении на стрессовый перелом назначают МРТ, за которой следует и КТ, соответственно [24]. Костная сцинтиграфия может помочь в диагностике низкоэнергетических переломов крестца, обладая высокой чувствительностью, но меньшей специфичностью, чем МРТ [25]. Однофотонная эмиссионная КТ позволяет не только идентифицировать перелом, но и диагностировать его давность [26].

ЛЕЧЕНИЕ ПОВРЕЖДЕНИЙ ЗАДНЕГО ПОЛУКОЛЬЦА ТАЗА

Консервативное лечение

Показания к консервативному лечению, по данным литературы, следующие: краевые переломы тазового кольца, низкие поперечные переломы крестца, стабильные продольные переломы боковых масс крестца без смещения [27]. Тем не менее некоторые авторы предлагают хирургическое лечение смещённых кпереди низких поперечных переломов, осложнённых неврологическим дефицитом [28].

Консервативное лечение заключается в постельном режиме, обезболивающей терапии и последующей реабилитации [27].

Лечение стресс-переломов включает ограничение физических нагрузок, занятий спортом, а в случае нарушения метаболизма костной ткани — приём препаратов кальция и витамина D в течение 3–6 мес [29].

Хирургические методы лечения

Наличие нестабильности, смещения при повреждении тазового кольца служат прямыми показаниями к оперативному лечению.

Поперечные переломы ниже уровня крестцово-подвздошного сустава ($S_{III}/S_{IV}-S_V$) и неполные продольные переломы обычно считают стабильными. Завершённые продольные переломы и смещённые поперечные

переломы считаются нестабильными и требуют хирургической фиксации [30]. То же относится и к U-образным переломам, вызывающим позвоночно-тазовую диссоциацию: такие переломы обычно требуют хирургической фиксации, поскольку они являются нестабильными и могут привести к прогрессирующему кифотическому смещению и отсроченным неврологическим осложнениям [31].

М.А. Halawi и соавт. в своей работе отмечают, что смещение более 10 мм требует хирургического лечения [32]. Что касается травм задних отделов тазового кольца, то травмы АО/ОТА типа А и некоторые случаи повреждений таза без смещения латеральной компрессией по Young–Burgess считаются стабильными и должны лечиться консервативно [27]. Травмы АО/ОТА типа В со смещением и типа С требуют хирургического вмешательства, так как они являются нестабильными [32].

Хирургическое лечение неврологически осложнённой травмы — спорный вопрос. Повреждение выше позвонка S_{IV} , сопровождающееся синдромом «конского хвоста», часто относят к переломам зоны III; оно требует прямой или непрямой хирургической декомпрессии, даже если поздно диагностировано. Действительно, когда встречаются переломы с отломками, мигрировавшими в крестцовый канал, сдавливающие нервные корешки, показано их хирургическое удаление из крестцового канала в случаях, где они вызывают неврологический дефицит. Однако что касается других неврологических осложнений, хирургическая декомпрессия не гарантирует лучшего результата в сравнении с нехирургическим лечением [32].

В целом показания и цели хирургического лечения различаются в зависимости от энергии перелома. При высокоэнергетических травмах целью операции является анатомическая репозиция и восстановление стабильности с помощью жёсткой фиксации, в то время как при низкоэнергетических повреждениях целью

оказывается восстановление стабильности с помощью жёсткой фиксации как можно менее инвазивно, при этом значимость самой репозиции уходит на второй план [33].

В 2012 году для принятия решения о тактике лечения R.A. Jr. Lehman и соавт. была разработана система классификации травм пояснично-крестцового отдела позвоночника Lumbosacral Injury Classification System (LSICS). Классификация используется при тяжёлой травме, каждому перелому присваивается оценка в диапазоне от 0 до 10, основанная на морфологии перелома, повреждении связок и наличии неврологического дефицита, где число баллов <4 указывает на необходимость проведения консервативного лечения, а >4 — на потребность в выполнении хирургической стабилизации [34].

Хирургические методы можно разделить на 2 основные группы: методики фиксации заднего полукольца таза и техники позвоночно-тазовой фиксации [33].

Методики фиксации заднего полукольца таза позволяют фиксировать подвздошную кость с крестцом, их выполняют как чрескожно, так и открытым способом. Среди транскутаных методик наиболее часто используют подвздошно-крестцовую винтовую фиксацию [35]. Методика представлена введением канюлированного винта через безопасный коридор тела S_I или S_{II} , причём сохранность безопасного коридора влияет на вероятность мальпозиции металлофиксатора [36]. В некоторых случаях было также описано использование коридора S_{III} [37].

Транссакральные импланты являются альтернативными транскутаными методиками, при которых имплант с длинной резьбой проходит полностью через коридор S_I или S_{II} до контралатеральной подвздошной кости [38]. Системы трансподвздошной мостовидной фиксации представляют собой минимально инвазивную фиксацию левой и правой подвздошной кости. Они представлены балками (рис. 7, а), пластинами (рис. 7, б) или стержнями,

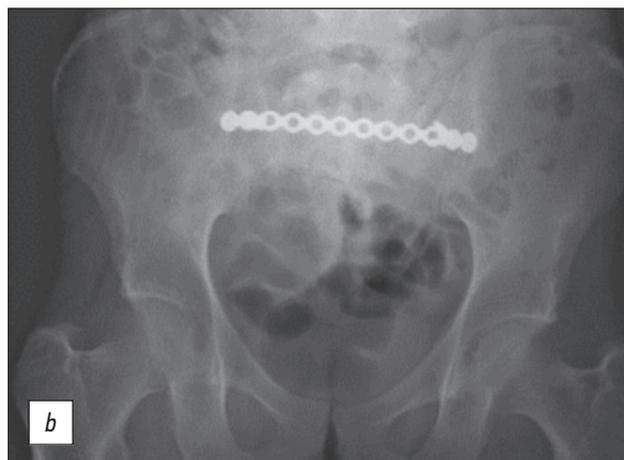
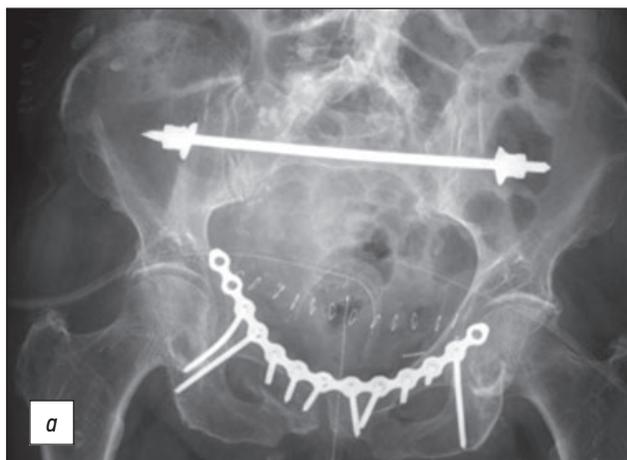


Рис. 7. Системы трансподвздошной мостовидной фиксации [19, 39]. *а* — обзорная рентгенограмма таза, демонстрирующая трансподвздошную мостовидную фиксацию заднего полукольца таза балкой, *б* — обзорная рентгенограмма таза, показывающая трансподвздошную мостовидную фиксацию заднего полукольца таза пластиной.

Fig. 7. Transsacral bridging systems [19, 39]. *a* — AP-radiograph of the pelvis, showing transsacral bridge fixation of the posterior pelvic ring with a transsacral bar, *b* — AP-radiograph of the pelvis, showing transsacral bridge fixation of the posterior pelvic ring with a plate.

соединяющими педикулярные винты, и проводятся под-кожно по задней поверхности крестца с помощью двух минидоступов в проекции левой и правой подвздошной кости, выполняя роль внутренних фиксаторов подвздошной кости [39].

Техники позвоночно-тазовой фиксации позволяют соединить поясничный отдел позвоночника с подвздошной костью. Позвоночно-тазовая фиксация соединяет позвонки поясничного отдела с подвздошными костями при помощи педикулярных винтов и стержней. В случаях высокой степени нестабильности повреждения таза наиболее стабильную компоновку конструкции можно получить, соединив как позвонки L_{IV} , так и L_V с подвздошными костями с обеих сторон. В ситуациях, где нагрузка на конструкцию предполагается меньшей, может быть достаточно фиксации от позвонка L_V до подвздошной кости с одной стороны [40]. Аналогичным образом подвздошных винтов может быть как по 1, так и по 2 и более с каждой стороны [41]. Если вышеупомянутая пояснично-подвздошная техника сочетается с подвздошно-крестцовыми винтами или пластиной, она образует узел треугольного остеосинтеза (рис. 8), первоначально предложенный как односторонний, но также описанный и как двусторонний с большей стабильностью, представляющий собой наиболее устойчивый метод фиксации заднего полукольца таза [42].

Фиксацию переднего полукольца таза следует рассматривать как метод выбора в случаях, когда необходимо повысить стабильность и снизить риск несостоятельности заднего импланта. Это может быть ретроградный лонный винт, передний внутренний фиксатор или пластина с винтами [43].

После высокоэнергетической травмы при продольных переломах крестца, связанных только с ротационной нестабильностью таза по АО/ОТА типа В, при успешной закрытой репозиции можно использовать одно-/двусторонние

подвздошно-крестцовые винты как окончательный метод фиксации либо трансподвздошную мостовидную фиксацию в ситуациях, когда подвздошно-крестцовый винт провести затруднительно [44]. Когда закрытая репозиция недостаточна, рекомендуются открытая репозиция и внутренняя фиксация повреждения заднего отдела таза. Если продольные переломы связаны с вертикально-нестабильными повреждениями таза АО/ОТА типа С, можно использовать различные методы фиксации, однако следует отдавать предпочтение позвоночно-тазовой фиксации в комбинации с фиксацией переднего полукольца таза как наиболее стабильной методике, противодействующей сдвигающим силам [45]. Высокие поперечные переломы крестца (U- или H-образные) можно фиксировать двусторонними подвздошно-крестцовыми или сакрально-подвздошными винтами в случае поперечного смещения, классифицируемого как Roy–Camille, тип I.

В ситуации смещённого поперечного перелома, например, при повреждениях Roy–Camille типа II или III или при неврологически осложнённом переломе, лечение должно проводиться открытым способом с использованием позвоночно-тазовой фиксации, при этом треугольный остеосинтез показал наибольшую стабильность [46].

При низкоэнергетических переломах боковых масс крестца используют подвздошно-крестцовую винтовую фиксацию, которая возможна как в коридоре S_I , так и S_{II} [47]. Для повышения стабильности импланта винты могут быть дополнены цементом [1]. Сакропластика показана в качестве альтернативы подвздошно-крестцовому винту при незавершённых переломах боковых масс крестца без полного повреждения кортикального слоя кости [48].

ОСЛОЖНЕНИЯ ОПЕРАТИВНОГО ЛЕЧЕНИЯ

Лечение повреждений заднего полукольца таза — сложная задача, оно сопряжено с широким спектром

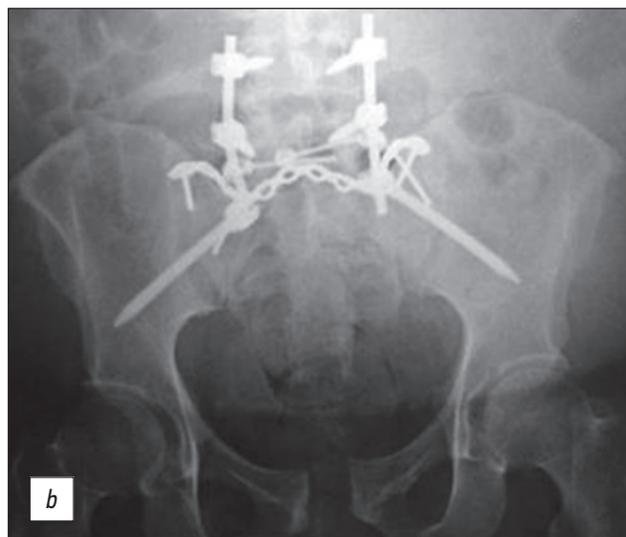
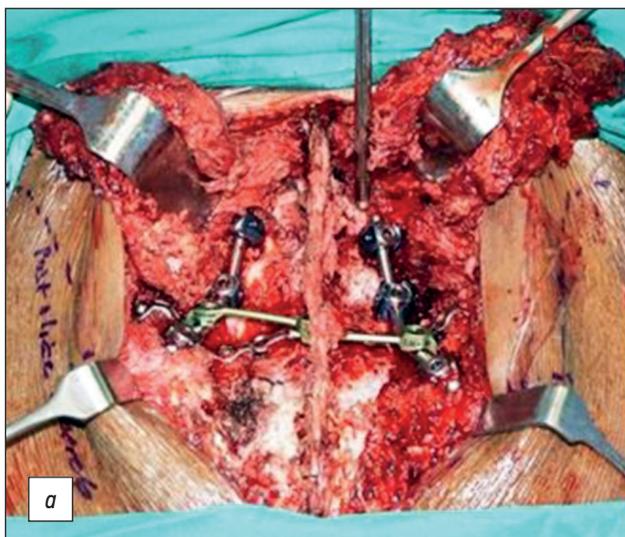


Рис. 8. Треугольный остеосинтез заднего полукольца таза [42]. *a* — интраоперационное фото, *b* — обзорная рентгенограмма таза.
Fig. 8. Triangular fixation of the posterior pelvic ring [42]. *a* — intraoperative photo, *b* — AP-radiograph of the pelvis.

осложнений, частота которых, по разным сообщениям, достигает 40–50% случаев при определённых типах переломов [49]. Периоперационные осложнения включают в себя мальпозицию импланта (15%) [50], повреждение корешков на уровне L_{IV}–L_V, S_I (2–15%) [50], ликворею (3–11%) [51], кровопотерю при открытых доступах (5–16%) [52], а также повреждение верхней ягодичной артерии (1,2%) в более редких случаях [51]. К послеоперационным осложнениям относят инфицирование послеоперационной раны (редко при минимально инвазивных или транскутаных методиках [52, 53], однако гораздо чаще при открытых методиках — до 50% при позвоночно-тазовой фиксации и до 20% при фиксации пластинами [54]), несостоятельность металлофиксации (11–17%) [45] или воспаление мягких тканей, требующее удаления импланта (20%) [55], а также мальпозицию цемента после сакропластики (22–56%) [56].

РЕЗУЛЬТАТЫ ЛЕЧЕНИЯ

Функциональные результаты

Клинические результаты лечения высокоэнергетических травм зависят от изначальной степени тяжести повреждения. Описание серии случаев наблюдения за пациентами после позвоночно-тазовой диссоциации продемонстрировало неудовлетворительные клинические результаты в 42% ситуаций, что напрямую связано со степенью первоначального смещения, при этом, по сообщениям пациентов, их качество жизни было ниже, чем у населения в целом, без наступления улучшения в период от 1 до 10 лет наблюдения [57].

Аналогичным образом хронический болевой синдром зачастую присутствует и в отдалённом периоде наблюдения, в особенности после вертикальных нестабильных переломов или позвоночно-тазовой диссоциации. По некоторым данным, он может сохраняться почти у 100% пациентов, в том числе и при длительном наблюдении [57]. Однако спустя 10 лет после травмы наблюдаемые пациенты продемонстрировали значительное восстановление их повседневной деятельности в сравнении с однолетним наблюдением [57]. Что касается техник фиксации, то подвздошно-крестцовые винты имеют лучшие показатели с точки зрения раннего возвращения к повседневной деятельности по сравнению с задними пластинами и показывают удовлетворительные хирургические результаты даже при лечении нестабильных повреждений АО/ОТА типа В или С [39].

Низкоэнергетические переломы характеризуются высокими показателями смертности (смертность до 28% при наблюдении в течение 12 мес) и потерей трудоспособности в 34% случаев [58]. У пациентов, страдающих от изолированных переломов крестца, в случае операции наблюдается более высокий показатель возвращения работоспособности к уровню до травмы, чем у больных, получавших консервативное лечение [47]. При лечении

трансилюсакральным винтом изолированные переломы крестца продемонстрировали 75% частоту восстановления к бытовым нагрузкам по сравнению с 20% пациентов, получавших консервативное лечение, и 100% способность передвигаться по сравнению с 70% у неоперированных больных [59].

Сращение перелома

На сращение перелома крестца уходит 8–12 нед, а частота сращения после таких переломов, как сообщается, составляет до 85–90% [3]. Неправильное сращение или псевдоартроз могут возникнуть после несвоевременного лечения или недостаточной репозиции, особенно при переломах Roy–Camille типа II и III, а также в случаях позвоночно-тазовой диссоциации [60]. После травм, связанных с позвоночно-тазовой диссоциацией, восстановление пояснично-крестцового взаимоотношения имеет решающее значение, в противном случае возникнет сагиттальный дисбаланс с ухудшением функциональных результатов и хроническим болевым синдромом в спине [61].

Неврологическое восстановление

Что касается клинического результата при неврологически осложнённой травме, то прогноз восстановления неврологического статуса строго связан с тяжестью перелома крестца. Недавно было показано, что чем сильнее нестабильность при переломе крестца в сочетании с повреждением поясничного сплетения, тем хуже будет происходить неврологическое восстановление [62]. Соответственно, пациенты, страдающие от позвоночно-тазовой диссоциации с сопутствующими неврологическими осложнениями, редко когда-либо выздоравливают полностью: как правило, они страдают остаточными неврологическими нарушениями в нижних конечностях, проблемами с мочеиспусканием и сексуальной функцией [57]. В отношении клинических результатов было обнаружено, что степень первоначального смещения в горизонтальной плоскости при переломах Roy–Camille тесно связана со скоростью неврологического восстановления [60]. Другими факторами, связанными с неврологическим дефицитом, являются недостаточная послеоперационная репозиция с остаточным смещением >10 мм и наличие отломков в канале крестца или фораменальных отверстиях [63].

Независимо от тактики лечения, неврологически осложнённые травмы нередко восстанавливаются со временем, хотя полное выздоровление наблюдается менее чем у 1/2 пациентов. Восстановление происходит лучше, когда используется хирургическая декомпрессия, однако в настоящий момент этот вопрос остаётся спорным [33]. В случае синдрома «конского хвоста» хирургическая декомпрессия улучшает неврологическое восстановление [64]. Непрямая декомпрессия путём репозиции перелома показала лучшие результаты по сравнению с открытой ламинэктомией [65]. Также время декомпрессии (<72 ч)

не имеет чёткого значения, важнее её качество. Хотя некоторые авторы и утверждают, что декомпрессия, по-видимому, не влияет на исход, другие говорят, что ранняя декомпрессия улучшила бы его, но это зачастую невозможно понять из-за тяжёлого состояния пациентов во время острой фазы травмы [65].

ОБСУЖДЕНИЕ

Переломы крестца считаются сложными, поскольку крестец — это своеобразный краевольный камень тазового пояса, который подвергается высоким нагрузкам, обеспечивая порядка 60% стабильности таза. Это подчёркивает исключительную важность восстановления его анатомии и биомеханики после перелома с максимальной возможной точностью, что делает лечение чрезвычайно непростым [66].

Первой серьёзной проблемой, связанной с лечением переломов крестца, является соматический статус пациентов. Это могут быть молодые люди, страдающие от высокоэнергетической травмы, или пожилые пациенты с низкоэнергетической травмой. В обеих ситуациях, если не производить лечение должным образом, регистрируют высокие показатели смертности.

Другая сложность связана с классификацией переломов. Для того, чтобы правильно определить клиническую ситуацию, характер перелома, хирург обычно пользуется существующей классификацией. Однако ввиду неоднородности повреждений заднего полукольца таза ни одна из доступных классификаций не охватывает все возможные аспекты, связанные его повреждениями. Основная центральная часть заднего полукольца представлена крестцом. Современные классификационные системы характеризуют или повреждения крестца в частности, или повреждения тазового кольца в целом, но на сегодняшний день отсутствует классификация, которая бы описывала повреждения заднего полукольца таза и характеризовала крестец как часть тазового кольца. Чтобы выявить основные проблемы, связанные с переломами крестца, был проведён опрос среди членов AOSpine/Trauma. Хирургам задавали вопросы о тяжести различных типов переломов, рисках неврологических осложнений травмы после различных вариаций смещения переломов, вовлечении фасеточных суставов S_1-L_5 и нестабильности повреждений. На основании разнообразия полученных ответов сделан вывод о необходимости разработки новой всеобъемлющей и общепринятой классификации, которая была бы способна учитывать все соответствующие факторы, связанные с этой сложной группой повреждений [67].

Помимо прочего, обнаружение переломов крестца является сложной задачей ещё и по причине высокой частоты неправильной или несвоевременной диагностики [16]. Происхождение этой проблемы многофакторно: прежде всего, низкая частота переломов крестца приводит

к тому, что большинство хирургов имеют мало опыта в их диагностике и лечении. Кроме того, имеет значение вариабельность клинической картины, которая различается в зависимости от энергии перелома и связанных с ним повреждений и часто оказывается трудной в диагностике из-за изменённого психического статуса пациента как в случае высокоэнергетической травмы из-за сопутствующих угрожающих жизни состояний, так и в случае нестабильных переломов из-за общего ухудшения соматического состояния больного. Наконец, нельзя не учитывать не повсеместную доступность требуемых методов визуализации, обладающих достаточной диагностической силой. Особенно часто диагностика затруднительна при использовании стандартных рентгенограмм, которые, будучи первичным результатом обследования, зачастую недостаточно эффективны для обнаружения перелома, в том числе и по причине наличия на них сопутствующих артефактов, таких как воздух в кишечнике, а также из-за несоблюдения пациентом требований к исследованию, дегенеративных изменений или артрита тазовых костей, перекрывающих крестец.

Решением этой проблемы может стать использование большего числа рентгеновских снимков (в проекции inlet / outlet) и установление обязательного требования к дополнительной диагностике с помощью КТ в случае, если рентгеновские снимки демонстрируют косвенные признаки переломов крестца или не показывают их вообще при наличии клинических подозрений после тщательного осмотра [30].

Тактика ведения повреждений задних отделов таза также вызывает затруднения, поскольку общепринятые стандарты, способные определять стратегию лечения, отсутствуют, а те немногие (такие как стабильность перелома), которые существуют, нелегко интерпретировать. Чтобы решить эту проблему и помочь хирургу, столкнувшемуся с повреждением заднего полукольца таза, определить, следует ли его оперировать, недавно была предложена система классификации пояснично-крестцовых травм LSICS. Это система подсчёта баллов, которая аналогична той, что была разработана для шейного и груднопоясничного отдела позвоночника. Она позволяет выбрать тактику, рекомендуя хирургическое лечение для каждого перелома с оценкой >4 баллов на основе морфологии, целостности связок и неврологического статуса пациента [34].

Хирургическое лечение представляет собой ещё одну большую проблему для врачей, сталкивающихся с повреждениями заднего полукольца таза, поскольку оно связано с высокой частотой осложнений и неблагоприятных исходов как при чрескожных, так и при открытых методах лечения, которые имеют и преимущества, и недостатки. Чрескожные и минимально инвазивные методы вызывают периоперационные осложнения, но их меньше по сравнению с открытыми методами. Однако при использовании этих методов обычно трудно добиться хорошей репозиции [52].

Открытые методы обременены некоторыми периоперационными осложнениями, такими как большая кровопотеря и более длительное время операции, но их основные проблемы связаны с послеоперационными осложнениями, в особенности связанными с воспалительным процессом послеоперационной раны. Тем не менее они позволяют более легко достичь нужной репозиции и стабильной фиксации. Именно поэтому чтобы снизить частоту развития осложнений и улучшить результаты, за исключением случаев высокой вертикальной нестабильности или позвоночно-тазовой диссоциации, при которых открытые техники позвоночно-тазовой фиксации обеспечивают лучшую стабильность, всегда следует пытаться использовать чрескожные или минимально инвазивные методы. Однако для этого необходимо устранить их недостатки, такие как трудности с достижением репозиции. Периоперационные осложнения чрескожных методов, например, мальпозиции, повреждение нервных структур и лучевое воздействие, обычно связаны с методикой подвздошно-крестцовой винтовой фиксации. Точное предоперационное планирование и ассистенция, предоставляемая современными рентген-аппаратами для контроля позиционирования, могут снизить частоту мальпозиции, облучения и время операции [44, 50, 52]. Для улучшения репозиции повреждений могут быть приняты различные решения:

- специальная укладка пациента на ортопедическом столе;
- особые репозиционные манёвры, полезные в случаях переломов крестца, связанных с повреждениями тазового кольца, такие как манипулирование крыльями подвздошных костей вместе с контролем вращения нижних конечностей при травме таза типа В;
- использование специализированных вспомогательных средств, таких как чрезмышечное вытяжение;
- винты Шанца, полезные в качестве чрескожного вспомогательного средства для выполнения восстановительных манипуляций и удержания полученной репозиции до окончательной фиксации, или рамы, такие как рамка Старра, способные прикладывать контролируемые усилия для репозиции перелома в разных плоскостях одновременно [51].

Наконец, недавно была предложена малоинвазивная позвоночно-тазовая фиксация с многообещающими

результатами [40, 53]. Она может свести к минимуму высокий уровень осложнений, связанных с открытыми доступами.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

С учётом сложности и разнообразия характера повреждений заднего полукольца таза ни одна из предложенных классификаций не охватывает все возможные аспекты, связанные его повреждениями. «Золотым стандартом» обследования пациентов с подозрением на повреждение тазового кольца служит КТ, которая снижает частоту пропущенной или запоздалой диагностики в отношении повреждений таза. В случае нестабильных повреждений, требующих проведения открытой репозиции и мобилизации перелома, позвоночно-тазовая фиксация в сочетании с подвздошно-крестцовыми винтами или пластиной (треугольный остеосинтез) является наиболее стабильным методом фиксации заднего полукольца таза. При отсутствии клинически значимого смещения, но при наличии нестабильности тазового кольца предпочтительно использовать малоинвазивные методы фиксации заднего полукольца таза.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / ADDITIONAL INFO

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

Author contribution. Thereby, all authors made a substantial contribution to the conception of the work, drafting and revising the work, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the work.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified.

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

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. van Berkel D., Ong T., Drummond A., et al. ASSERT (Acute Sacral insufficiency fracture augmentation) randomised controlled, feasibility in older people trial: a study protocol // *BMJ Open*. 2019. Vol. 9, N 7. P. e032111. doi: 10.1136/bmjopen-2019-032111
2. Tamaki Y., Nagamachi A., Inoue K., et al. Incidence and clinical features of sacral insufficiency fracture in the emergency department // *Am J Emerg Med*. 2017. Vol. 35, N 9. P. 1314–1316. doi: 10.1016/j.ajem.2017.03.037
3. Bydon M., Fredrickson V., De la Garza-Ramos R., et al. Sacral fractures // *Neurosurg Focus*. 2014. Vol. 37, N 1. P. E12. doi: 10.3171/2014.5.FOCUS1474
4. Лазарев А.Ф. Оперативное лечение повреждений таза: дис. ... докт. мед. наук. Москва, 1992. Режим доступа: <https://medlical-diss.com/docreader/526577/a?#?page=1>. Дата обращения: 23.11.2022.

5. Beckmann N., Cai C. CT characteristics of traumatic sacral fractures in association with pelvic ring injuries: correlation using the Young-Burgess classification system // *Emerg Radiol.* 2017. Vol. 24 N 3. P. 255–262. doi: 10.1007/s10140-016-1476-0
6. Meinberg E.G., Agel J., Roberts C.S., et al. Fracture and dislocation classification compendium-2018 // *J Orthop Trauma* 2018. Vol. 32, Suppl. 1. P. S1–S170. doi: 10.1097/bot.0000000000001063
7. Burgess A.R., Eastridge B.J., Young J.W., et al. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols // *J Trauma.* 1990. Vol. 30, N 7. P. 848–856.
8. Katsuura Y., Lorenz E., Gardner W. 2nd. Anatomic parameters of the sacral lamina for osteosynthesis in transverse sacral fractures // *Surg Radiol Anat.* 2018. Vol. 40, N 5. P. 521–528. doi: 10.1007/s00276-017-1955-3
9. Bäcker H.C., Wu C.H., Vosseller J.T., et al. Spinopelvic dissociation in patients suffering injuries from airborne sports // *Eur Spine J.* 2020. Vol. 29, N 10. P. 2513–2520. doi: 10.1007/s00586-019-05983-6
10. Lehmann W., Hoffmann M., Briem D., et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: review of the literature // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2012. Vol. 38, N 5. P. 517–524. doi: 10.1007/s00068-012-0225-7
11. Denis F., Davis S., Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases // *Clin Orthop Relat Res.* 1988. N 227. P. 67–81.
12. Strange-Vognsen H.H., Lebech A. An unusual type of fracture in the upper sacrum // *J Orthop Trauma.* 1991. Vol. 5, N 2. P. 200–203. doi: 10.1097/00005131-199105020-00014
13. Bishop J.A., Dangelmajer S., Corcoran-Schwartz I., et al. Bilateral Sacral Ala Fractures Are Strongly Associated With Lumbopelvic Instability // *J Orthop Trauma.* 2017. Vol. 31, N 12. P. 636–639. doi: 10.1097/bot.0000000000000972
14. Isler B. Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries // *J Orthop Trauma.* 1990. Vol. 4, N 1. P. 1–6. doi: 10.1097/00005131-199003000-00001
15. Guerado E., Cervan A.M., Cano J.R., Giannoudis P.V. Spinopelvic injuries. Facts and controversies // *Injury.* 2018. Vol. 49, N 3. P. 449–456. doi: 10.1016/j.injury.2018.03.001
16. Hanna T.N., Sadiq M., Ditkofsky N., et al. Sacrum and Coccyx Radiographs Have Limited Clinical Impact in the Emergency Department // *AJR Am J Roentgenol.* 2016. Vol. 206, N 4. P. 681–686. doi: 10.2214/AJR.15.15095
17. Стоюхин С.С., Лазарев А.Ф., Гудушаури Я.Г. Актуальные вопросы экспресс диагностики переломов вертлужной впадины. Часть III. Алгоритм определения атипичных переломов. Сопутствующие локальные повреждения // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова.* 2020. Т. 27, № 1. С. 91–97. doi: 10.17816/vto202027191-97
18. Kao F.C., Hsu Y.C., Liu P.H., et al. Osteoporotic sacral insufficiency fracture: An easily neglected disease in elderly patients // *Medicine (Baltimore).* 2017. Vol. 96, N 51. P. e9100. doi: 10.1097/MD.00000000000009100
19. Wagner D., Ossendorf C., Gruszka D., et al. Fragility fractures of the sacrum: how to identify and when to treat surgically? // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2015. Vol. 41, N 4. P. 349–362. doi: 10.1007/s00068-015-0530-z
20. Mandell J.C., Weaver M.J., Khurana B. Computed tomography for occult fractures of the proximal femur, pelvis, and sacrum in clinical practice: single institution, dual-site experience // *Emerg Radiol.* 2018. Vol. 25, N 3. P. 265–273. doi: 10.1007/s10140-018-1580-4
21. Na W.C., Lee S.H., Jung S., et al. Pelvic Insufficiency Fracture in Severe Osteoporosis Patient // *Hip Pelvis.* 2017. Vol. 29, N 2. P. 120–126. doi: 10.5371/hp.2017.29.2.120
22. Baldwin M.J., Tucker L.J. Sacral insufficiency fractures: a case of mistaken identity // *Int Med Case Rep J.* 2014. N 7. P. 93–98. doi: 10.2147/IMCRJ.S60133
23. Kinoshita H., Miyakoshi N., Kobayashi T., et al. Comparison of patients with diagnosed and suspected sacral insufficiency fractures // *J Orthop Sci.* 2019. Vol. 24, N 4. P. 702–707. doi: 10.1016/j.jos.2018.12.004
24. Yoder K., Bartsokas J., Averell K., et al. Risk factors associated with sacral stress fractures: a systematic review // *J Man Manip Ther.* 2015. Vol. 23, N 2. P. 84–92. doi: 10.1179/2042618613Y.0000000055
25. Wang B., Fintelmann F.J., Kamath R.S., et al. Limited magnetic resonance imaging of the lumbar spine has high sensitivity for detection of acute fractures, infection, and malignancy // *Skeletal Radiol.* 2016. Vol. 45, N 12. P. 1687–1693. doi: 10.1007/s00256-016-2493-5
26. Zhang L., He Q., Jiang M., et al. Diagnosis of Insufficiency Fracture After Radiotherapy in Patients With Cervical Cancer: Contribution of Technetium Tc 99m-Labeled Methylene Diphosphonate Single-Photon Emission Computed Tomography / Computed Tomography // *Int J Gynecol Cancer.* 2018. Vol. 28, N 7. P. 1369–1376. doi: 10.1097/IGC.0000000000001337
27. Höch A., Schneider I., Todd J., et al. Lateral compression type B 2-1 pelvic ring fractures in young patients do not require surgery // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2018. Vol. 44, N 2. P. 171–177. doi: 10.1007/s00068-016-0676-3
28. Sommer C. Fixation of transverse fractures of the sternum and sacrum with the locking compression plate system: two case reports // *J Orthop Trauma.* 2005. Vol. 19, N 7. P. 487–490. doi: 10.1097/01.bot.0000149873.99394.86
29. Baillieux S., Guinot M., Dubois C., et al. Set the pace of bone healing — Treatment of a bilateral sacral stress fracture using teriparatide in a long-distance runner // *Joint Bone Spine.* 2017. Vol. 84, N 4. P. 499–500. doi: 10.1016/j.jbspin.2016.06.003
30. Beckmann N.M., Chinapuvvula N.R. Sacral fractures: classification and management // *Emerg Radiol.* 2017. Vol. 24, N 6. P. 605–617. doi: 10.1007/s10140-017-1533-3
31. Pulley B.R., Cotman S.B., Fowler T.T. Surgical Fixation of Geriatric Sacral U-Type Insufficiency Fractures: A Retrospective Analysis // *J Orthop Trauma.* 2018. Vol. 32, N 12. P. 617–622. doi: 10.1097/BOT.0000000000001308
32. Halawi M.J. Pelvic ring injuries: Surgical management and long-term outcomes // *J Clin Orthop Trauma.* 2016. Vol. 7, N 1. P. 1–6. doi: 10.1016/j.jcot.2015.08.001
33. Santolini E., Kanakaris N.K., Giannoudis P.V. Sacral fractures: issues, challenges, solutions // *EFORT Open Rev.* 2020. Vol. 5, N 5. P. 299–311. doi: 10.1302/2058-5241.5.190064
34. Lehman R.A. Jr, Kang D.G., Bellabarba C. A new classification for complex lumbosacral injuries // *Spine J.* 2012. Vol. 23, N 7. P. 612–628. doi: 10.1016/j.spinee.2012.01.009
35. Vigdorichik J.M., Jin X., Sethi A., et al. A biomechanical study of standard posterior pelvic ring fixation versus a posterior pedicle screw construct // *Injury.* 2015. Vol. 46, N 8. P. 1491–1496. doi: 10.1016/j.injury.2015.04.038
36. Takao M., Hamada H., Sakai T., Sugano N. Factors influencing the accuracy of iliosacral screw insertion using 3D fluoroscopic navigation // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2019. Vol. 139, N 2. P. 189–195. doi: 10.1007/s00402-018-3055-1

37. El Dafrawy M.H., Strike S.A., Osgood G.M. Use of the S3 Corridor for Iliosacral Fixation in a Dysmorphic Sacrum: A Case Report // *JBJS Case Connect.* 2017. Vol. 7, N 3. P. e62. doi: 10.2106/JBJS.CC.17.00058
38. Lucas J.F., Routt M.L. Jr, Eastman J.G. A Useful Preoperative Planning Technique for Transiliac-Transsacral Screws // *J Orthop Trauma.* 2017. Vol. 31, N 1. P. e25–e31. doi: 10.1097/BOT.0000000000000708
39. Liuzza F., Silluzio N., Florio M., et al. Comparison between posterior sacral plate stabilization versus minimally invasive transiliac-transsacral lag-screw fixation in fractures of sacrum: a single-centre experience // *Int Orthop.* 2019. Vol. 43, N 1. P. 177–185. doi: 10.1007/s00264-018-4144-z
40. Williams S.K., Quinnan S.M. Percutaneous Lumbopelvic Fixation for Reduction and Stabilization of Sacral Fractures With Spinopelvic Dissociation Patterns // *J Orthop Trauma.* 2016. Vol. 30, N 9. P. e318–e324. doi: 10.1097/BOT.0000000000000559
41. Bourghli A., Boissiere L., Obeid I. Dual iliac screws in spinopelvic fixation: a systematic review // *Eur Spine J.* 2019. Vol. 28, N 9. P. 2053–2059. doi: 10.1007/s00586-019-06065-3
42. Mohd Asihin M.A., Bajuri M.Y., Ahmad A.R., et al. Spinopelvic fixation supplemented with gullwing plate for multiplanar sacral fracture with spinopelvic dissociation: a case series with short term follow up // *Front Surg.* 2019. N 6. P. 42. doi: 10.3389/fsurg.2019.00042
43. Backer H.C., Wu C.H., Vosseller J.T., et al. Spinopelvic dissociation in patients suffering injuries from airborne sports // *Eur Spine J.* 2020. Vol. 29, N 10. P. 2513–2520. doi: 10.1007/s00586-019-05983-6
44. Krappinger D., Lindtner R.A., Benedikt S. Preoperative planning and safe intraoperative placement of iliosacral screws under fluoroscopic control // *Oper Orthop Traumatol.* 2019. Vol. 31, N 6. P. 465–473. doi: 10.1007/s00064-019-0612-x
45. Kim J.W., Oh C.W., Oh J.K., et al. The incidence of and factors affecting iliosacral screw loosening in pelvic ring injury // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2016. Vol. 136, N 7. P. 921–927. doi: 10.1007/s00402-016-2471-3
46. Maki S., Nakamura K., Yamauchi T., et al. Lumbopelvic Fixation for Sacral Insufficiency Fracture Presenting with Sphincter Dysfunction // *Case Rep Orthop.* 2019. N 2019. P. 9097876. doi: 10.1155/2019/9097876
47. Hopf J.C., Kriegelstein C.F., Müller L.P., Koslowsky T.C. Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients // *Injury.* 2015. Vol. 46, N 8. P. 1631–1636. doi: 10.1016/j.injury.2015.04.036
48. Kortman K., Ortiz O., Miller T., et al. Multicenter study to assess the efficacy and safety of sacroplasty in patients with osteoporotic sacral insufficiency fractures or pathologic sacral lesions // *J Neurointerv Surg.* 2013. Vol. 5, N 5. P. 461–466. doi: 10.1136/neurintsurg-2012-010347
49. König M.A., Jehan S., Boszczyk A.A., Boszczyk B.M. Surgical management of U-shaped sacral fractures: a systematic review of current treatment strategies // *Eur Spine J.* 2012. Vol. 21, N 5. P. 829–836. doi: 10.1007/s00586-011-2125-7
50. Yang F., Yao S., Chen K.F., et al. A novel patient-specific three-dimensional-printed external template to guide iliosacral screw insertion: a retrospective study // *BMC Musculoskelet Disord.* 2018. Vol. 19, N 1. P. 397. doi: 10.1186/s12891-018-2320-3
51. Pascal-Moussellard H., Hirsch C., Bonaccorsi R. Osteosynthesis in sacral fracture and lumbosacral dislocation // *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016. Vol. 102, Suppl. 1. P. S45–S57. doi: 10.1016/j.otsr.2015.12.002
52. Zhang R., Yin Y., Li S., et al. Sacroiliac screw versus a minimally invasive adjustable plate for Zone II sacral fractures: a retrospective study // *Injury.* 2019. Vol. 50, N 3. P. 690–696. doi: 10.1016/j.injury.2019.02.011
53. Kanezaki S., Miyazaki M., Notani N., et al. Minimally invasive triangular osteosynthesis for highly unstable sacral fractures: Technical notes and preliminary clinical outcomes // *Medicine (Baltimore).* 2019. Vol. 98, N 24. P. e16004. doi: 10.1097/MD.00000000000016004
54. Yu Y.H., Lu M.L., Tseng I.C., et al. Effect of the subcutaneous route for iliac screw insertion in lumbopelvic fixation for vertical unstable sacral fractures on the infection rate: A retrospective case series // *Injury.* 2016. Vol. 47, N 10. P. 2212–2217. doi: 10.1016/j.injury.2016.06.021
55. Osterhoff G., Noser J., Sprengel K., et al. Rate of intraoperative problems during sacroiliac screw removal: expect the unexpected // *BMC Surg.* 2019. Vol. 19, N 1. P. 39. doi: 10.1186/s12893-019-0501-0
56. Yang S.C., Tsai T.T., Chen H.S., et al. Comparison of sacroplasty with or without balloon assistance for the treatment of sacral insufficiency fractures // *J Orthop Surg (Hong Kong).* 2018. Vol. 26, N 2. P. 2309499018782575. doi: 10.1177/2309499018782575
57. Adelved A., Tötterman A., Glott T., et al. Patient-reported health minimum 8 years after operatively treated displaced sacral fractures: a prospective cohort study // *J Orthop Trauma.* 2014. Vol. 28, N 12. P. 686–693. doi: 10.1097/BOT.0000000000000242
58. Loggers S.A.I., Joosse P., Jan Ponsen K. Outcome of pubic rami fractures with or without concomitant involvement of the posterior ring in elderly patients // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2019. Vol. 45, N 6. P. 1021–1029. doi: 10.1007/s00068-018-0971-2
59. Walker J.B., Mitchell S.M., Karr S.D., et al. Percutaneous Transiliac-Transsacral Screw Fixation of Sacral Fragility Fractures Improves Pain, Ambulation, and Rate of Disposition to Home // *J Orthop Trauma.* 2018. Vol. 32, N 9. P. 452–456. doi: 10.1097/BOT.0000000000001243
60. Lindahl J., Mäkinen T.J., Koskinen S.K., Söderlund T. Factors associated with outcome of spinopelvic dissociation treated with lumbopelvic fixation // *Injury.* 2014. Vol. 45, N 12. P. 1914–1920. doi: 10.1016/j.injury.2014.09.003
61. Lee H.D., Jeon C.H., Won S.H., Chung N.S. Global Sagittal Imbalance Due to Change in Pelvic Incidence After Traumatic Spinopelvic Dissociation // *J Orthop Trauma.* 2017. Vol. 31, N 7. P. e195–e199. doi: 10.1097/BOT.0000000000000821
62. Lee J.S., Kim Y.H. Factors associated with gait outcomes in patients with traumatic lumbosacral plexus injuries // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2020. Vol. 46, N 6. P. 1437–1444. doi: 10.1007/s00068-019-01137-x
63. Adelved A., Tötterman A., Hellund J.C., et al. Radiological findings correlate with neurological deficits but not with pain after operatively treated sacral fractures // *Acta Orthop.* 2014. Vol. 85, N 4. P. 408–414. doi: 10.3109/17453674.2014.908344
64. Bekmez S., Demirkiran G., Caglar O., et al. Transverse sacral fractures and concomitant late-diagnosed cauda equina syndrome // *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg.* 2014. Vol. 20, N 1. P. 71–74. doi: 10.5505/tjtes.2014.21208
65. Kepler C.K., Schroeder G.D., Hollern D.A., et al. Do Formal Laminectomy and Timing of Decompression for Patients With Sacral Fracture and Neurologic Deficit Affect Outcome? // *J Orthop Trauma.* 2017. Vol. 31, Suppl. 4. P. S75–S80. doi: 10.1097/BOT.0000000000000951
66. Bai Z., Gao S., Liu J., et al. Anatomical evidence for the anterior plate fixation of sacroiliac joint // *J Orthop Sci.* 2018. Vol. 23, N 1. P. 132–136. doi: 10.1016/j.jos.2017.09.003
67. Schroeder G.D., Kurd M.F., Kepler C.K., et al. The Development of a Universally Accepted Sacral Fracture Classification: A Survey of AOSpine and AOTrauma Members // *Global Spine J.* 2016. Vol. 6, N 7. P. 686–694. doi: 10.1055/s-0036-1580611

REFERENCES

1. van Berkel D, Ong T, Drummond A, et al. ASSERT (Acute Sacral insufficiency fracture augmentation) randomised controlled, feasibility in older people trial: a study protocol. *BMJ Open*. 2019;9(7):e032111. doi: 10.1136/bmjopen-2019-032111
2. Tamaki Y, Nagamachi A, Inoue K, et al. Incidence and clinical features of sacral insufficiency fracture in the emergency department. *Am J Emerg Med*. 2017;35(9):1314–1316. doi: 10.1016/j.ajem.2017.03.037
3. Bydon M, Fredrickson V, De la Garza-Ramos R, et al. Sacral fractures. *Neurosurg Focus*. 2014;37(1):E12. doi: 10.3171/2014.5.FOCUS1474
4. Lazarev AF. *Operativnoe lechenie povrezhdenii taza* [dissertation]. Moscow; 1992. Available from: <https://medical-diss.com/docreader/526577/a?#?page=1>. Accessed: 23.11.2022. (In Russ).
5. Beckmann N, Cai C. CT characteristics of traumatic sacral fractures in association with pelvic ring injuries: correlation using the Young-Burgess classification system. *Emerg Radiol*. 2017;24(3):255–262. doi: 10.1007/s10140-016-1476-0
6. Meinberg EG, Agel J, Roberts CS, et al. Fracture and dislocation classification compendium-2018. *J Orthop Trauma*. 2018;32 suppl. 1:S1–S170. doi: 10.1097/bot.0000000000001063
7. Burgess AR, Eastridge BJ, Young JW, et al. Pelvic ring disruptions: effective classification system and treatment protocols. *J Trauma*. 1990;30(7):848–856.
8. Katsuura Y, Lorenz E, Gardner W. 2nd. Anatomic parameters of the sacral lamina for osteosynthesis in transverse sacral fractures. *Surg Radiol Anat*. 2018;40(5):521–528. doi: 10.1007/s00276-017-1955-3
9. Bäcker HC, Wu CH, Vosseller JT, et al. Spinopelvic dissociation in patients suffering injuries from airborne sports. *Eur Spine J*. 2020;29(10):2513–2520. doi: 10.1007/s00586-019-05983-6
10. Lehmann W, Hoffmann M, Briem D, et al. Management of traumatic spinopelvic dissociations: review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012;38(5):517–524. doi: 10.1007/s00068-012-0225-7
11. Denis F, Davis S, Comfort T. Sacral fractures: an important problem. Retrospective analysis of 236 cases. *Clin Orthop Relat Res*. 1988;227:67–81.
12. Strange-Vognsen HH, Lebech A. An unusual type of fracture in the upper sacrum. *J Orthop Trauma*. 1991;5(2):200–203. doi: 10.1097/00005131-199105020-00014
13. Bishop JA, Dangelmajer S, Corcoran-Schwartz I, et al. Bilateral Sacral Ala Fractures Are Strongly Associated With Lumbopelvic Instability. *J Orthop Trauma*. 2017;31(12):636–639. doi: 10.1097/bot.0000000000000972
14. Isler B. Lumbosacral lesions associated with pelvic ring injuries. *J Orthop Trauma*. 1990;4(1):1–6. doi: 10.1097/00005131-199003000-00001
15. Guerado E, Cervan AM, Cano JR, Giannoudis PV. Spinopelvic injuries. Facts and controversies. *Injury*. 2018;49(3):449–456. doi: 10.1016/j.injury.2018.03.001
16. Hanna TN, Sadiq M, Ditkofsky N, et al. Sacrum and Coccyx Radiographs Have Limited Clinical Impact in the Emergency Department. *AJR Am J Roentgenol*. 2016;206(4):681–686. doi: 10.2214/AJR.15.15095
17. Stoyukhin SS, Lazarev AF, Gudushauri YG. Actual features of express diagnostic of acetabular fractures. Part III. Atypical fractures diagnostic algorithm. Associated local injuries. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2020;27(1):91–97. (In Russ). doi: 10.17816/vto202027191-97
18. Kao FC, Hsu YC, Liu PH, et al. Osteoporotic sacral insufficiency fracture: An easily neglected disease in elderly patients. *Medicine (Baltimore)*. 2017;96(51):e9100. doi: 10.1097/MD.00000000000009100
19. Wagner D, Ossendorf C, Gruszka D, et al. Fragility fractures of the sacrum: how to identify and when to treat surgically? *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2015;41(4):349–362. doi: 10.1007/s00068-015-0530-z
20. Mandell JC, Weaver MJ, Khurana B. Computed tomography for occult fractures of the proximal femur, pelvis, and sacrum in clinical practice: single institution, dual-site experience. *Emerg Radiol*. 2018;25(3):265–273. doi: 10.1007/s10140-018-1580-4
21. Na WC, Lee SH, Jung S, et al. Pelvic Insufficiency Fracture in Severe Osteoporosis Patient. *Hip Pelvis*. 2017;29(2):120–126. doi: 10.5371/hp.2017.29.2.120
22. Baldwin MJ, Tucker LJ. Sacral insufficiency fractures: a case of mistaken identity. *Int Med Case Rep J*. 2014;7:93–98. doi: 10.2147/IMCRJ.S60133
23. Kinoshita H, Miyakoshi N, Kobayashi T, et al. Comparison of patients with diagnosed and suspected sacral insufficiency fractures. *J Orthop Sci*. 2019;24(4):702–707. doi: 10.1016/j.jos.2018.12.004
24. Yoder K, Bartsokas J, Averell K, et al. Risk factors associated with sacral stress fractures: a systematic review. *J Man Manip Ther*. 2015;23(2):84–92. doi: 10.1179/2042618613Y.0000000055
25. Wang B, Fintelmann FJ, Kamath RS, et al. Limited magnetic resonance imaging of the lumbar spine has high sensitivity for detection of acute fractures, infection, and malignancy. *Skeletal Radiol*. 2016;45(12):1687–1693. doi: 10.1007/s00256-016-2493-5
26. Zhang L, He Q, Jiang M, et al. Diagnosis of Insufficiency Fracture After Radiotherapy in Patients With Cervical Cancer: Contribution of Technetium Tc 99m-Labeled Methylene Diphosphonate Single-Photon Emission Computed Tomography / Computed Tomography. *Int J Gynecol Cancer*. 2018;28(7):1369–1376. doi: 10.1097/IGC.0000000000001337
27. Höch A, Schneider I, Todd J, et al. Lateral compression type B 2-1 pelvic ring fractures in young patients do not require surgery. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2018;44(2):171–177. doi: 10.1007/s00068-016-0676-3
28. Sommer C. Fixation of transverse fractures of the sternum and sacrum with the locking compression plate system: two case reports. *J Orthop Trauma*. 2005;19(7):487–490. doi: 10.1097/01.bot.0000149873.99394.86
29. Baillieux S, Guinot M, Dubois C, et al. Set the pace of bone healing — Treatment of a bilateral sacral stress fracture using teriparatide in a long-distance runner. *Joint Bone Spine*. 2017;84(4):499–500. doi: 10.1016/j.jbspin.2016.06.003
30. Beckmann NM, Chinapuvvula NR. Sacral fractures: classification and management. *Emerg Radiol*. 2017;24(6):605–617. doi: 10.1007/s10140-017-1533-3
31. Pulley BR, Cotman SB, Fowler TT. Surgical Fixation of Geriatric Sacral U-Type Insufficiency Fractures: A Retrospective Analysis. *J Orthop Trauma*. 2018;32(12):617–622. doi: 10.1097/BOT.0000000000001308
32. Halawi MJ. Pelvic ring injuries: Surgical management and long-term outcomes. *J Clin Orthop Trauma*. 2016;7(1):1–6. doi: 10.1016/j.jcot.2015.08.001
33. Santolini E, Kanakaris NK, Giannoudis PV. Sacral fractures: issues, challenges, solutions. *EFORT Open Rev*. 2020;5(5):299–311. doi: 10.1302/2058-5241.5.190064
34. Lehman RA Jr, Kang DG, Bellabarba C. A new classification for complex lumbosacral injuries. *Spine J*. 2012;12(7):612–628. doi: 10.1016/j.spinee.2012.01.009
35. Vigdorichik JM, Jin X, Sethi A, et al. A biomechanical study of standard posterior pelvic ring fixation versus a pos-

- terior pedicle screw construct. *Injury*. 2015;46(8):1491–1496. doi: 10.1016/j.injury.2015.04.038
36. Takao M, Hamada H, Sakai T, Sugano N. Factors influencing the accuracy of iliosacral screw insertion using 3D fluoroscopic navigation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2019;139(2):189–195. doi: 10.1007/s00402-018-3055-1
37. El Dafrawy MH, Strike SA, Osgood GM. Use of the S3 Corridor for Iliosacral Fixation in a Dysmorphic Sacrum: A Case Report. *J BJS Case Connect*. 2017;7(3):e62. doi: 10.2106/JBJS.CC.17.00058
38. Lucas JF, Routt ML Jr, Eastman JG. A Useful Preoperative Planning Technique for Transiliac-Transsacral Screws. *J Orthop Trauma*. 2017;31(1):e25–e31. doi: 10.1097/BOT.0000000000000708
39. Liuzza F, Silluzio N, Florio M, et al. Comparison between posterior sacral plate stabilization versus minimally invasive transiliac-transsacral lag-screw fixation in fractures of sacrum: a single-centre experience. *Int Orthop*. 2019;43(1):177–185. doi: 10.1007/s00264-018-4144-z
40. Williams SK, Quinnan SM. Percutaneous Lumbopelvic Fixation for Reduction and Stabilization of Sacral Fractures With Spinopelvic Dissociation Patterns. *J Orthop Trauma*. 2016;30(9):e318–e324. doi: 10.1097/BOT.0000000000000559
41. Bourghli A, Boissiere L, Obeid I. Dual iliac screws in spinopelvic fixation: a systematic review. *Eur Spine J*. 2019;28(9):2053–2059. doi: 10.1007/s00586-019-06065-3
42. Mohd Asihin MA, Bajuri MY, Ahmad AR, et al. Spinopelvic fixation supplemented with gullwing plate for multiplanar sacral fracture with spinopelvic dissociation: a case series with short term follow up. *Front Surg*. 2019;6:42. doi: 10.3389/fsurg.2019.00042
43. Backer HC, Wu CH, Vosseller JT, et al. Spinopelvic dissociation in patients suffering injuries from airborne sports. *Eur Spine J*. 2020;29(10):2513–2520. doi: 10.1007/s00586-019-05983-6
44. Krappinger D, Lindtner RA, Benedikt S. Preoperative planning and safe intraoperative placement of iliosacral screws under fluoroscopic control. *Oper Orthop Traumatol*. 2019;31(6):465–473. doi: 10.1007/s00064-019-0612-x
45. Kim JW, Oh CW, Oh JK, et al. The incidence of and factors affecting iliosacral screw loosening in pelvic ring injury. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016;136(7):921–927. doi: 10.1007/s00402-016-2471-3
46. Maki S, Nakamura K, Yamauchi T, et al. Lumbopelvic Fixation for Sacral Insufficiency Fracture Presenting with Sphincter Dysfunction. *Case Rep Orthop*. 2019;2019:9097876. doi: 10.1155/2019/9097876
47. Hopf JC, Kriegelstein CF, Müller LP, Koslowsky TC. Percutaneous iliosacral screw fixation after osteoporotic posterior ring fractures of the pelvis reduces pain significantly in elderly patients. *Injury*. 2015;46(8):1631–1636. doi: 10.1016/j.injury.2015.04.036
48. Kortman K, Ortiz O, Miller T, et al. Multicenter study to assess the efficacy and safety of sacroplasty in patients with osteoporotic sacral insufficiency fractures or pathologic sacral lesions. *J Neurointerv Surg*. 2013;5(5):461–466. doi: 10.1136/neurintsurg-2012-010347
49. König MA, Jehan S, Boszczyk AA, Boszczyk BM. Surgical management of U-shaped sacral fractures: a systematic review of current treatment strategies. *Eur Spine J*. 2012;21(5):829–836. doi: 10.1007/s00586-011-2125-7
50. Yang F, Yao S, Chen KF, et al. A novel patient-specific three-dimensional-printed external template to guide iliosacral screw insertion: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):397. doi: 10.1186/s12891-018-2320-3
51. Pascal-Moussellard H, Hirsch C, Bonaccorsi R. Osteosynthesis in sacral fracture and lumbosacral dislocation. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2016;102(1 Suppl):S45–S57. doi: 10.1016/j.otsr.2015.12.002
52. Zhang R, Yin Y, Li S, et al. Sacroiliac screw versus a minimally invasive adjustable plate for Zone II sacral fractures: a retrospective study. *Injury*. 2019;50(3):690–696. doi: 10.1016/j.injury.2019.02.011
53. Kanezaki S, Miyazaki M, Notani N, et al. Minimally invasive triangular osteosynthesis for highly unstable sacral fractures: Technical notes and preliminary clinical outcomes. *Medicine (Baltimore)*. 2019;98(24):e16004. doi: 10.1097/MD.00000000000016004
54. Yu YH, Lu ML, Tseng IC, et al. Effect of the subcutaneous route for iliac screw insertion in lumbopelvic fixation for vertical unstable sacral fractures on the infection rate: A retrospective case series. *Injury*. 2016;47(10):2212–2217. doi: 10.1016/j.injury.2016.06.021
55. Osterhoff G, Noser J, Sprengel K, et al. Rate of intraoperative problems during sacroiliac screw removal: expect the unexpected. *BMC Surg*. 2019;19(1):39. doi: 10.1186/s12893-019-0501-0
56. Yang SC, Tsai TT, Chen HS, et al. Comparison of sacroplasty with or without balloon assistance for the treatment of sacral insufficiency fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2018;26(2):2309499018782575. doi: 10.1177/2309499018782575
57. Adelved A, Tötterman A, Glott T, et al. Patient-reported health minimum 8 years after operatively treated displaced sacral fractures: a prospective cohort study. *J Orthop Trauma*. 2014;28(12):686–693. doi: 10.1097/BOT.0000000000000242
58. Loggers SAI, Joosse P, Jan Ponsen K. Outcome of pubic rami fractures with or without concomitant involvement of the posterior ring in elderly patients. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019;45(6):1021–1029. doi: 10.1007/s00068-018-0971-2
59. Walker JB, Mitchell SM, Karr SD, et al. Percutaneous Transiliac-Transsacral Screw Fixation of Sacral Fragility Fractures Improves Pain, Ambulation, and Rate of Disposition to Home. *J Orthop Trauma*. 2018;32(9):452–456. doi: 10.1097/BOT.0000000000001243
60. Lindahl J, Mäkinen TJ, Koskinen SK, Söderlund T. Factors associated with outcome of spinopelvic dissociation treated with lumbopelvic fixation. *Injury*. 2014;45(12):1914–1920. doi: 10.1016/j.injury.2014.09.003
61. Lee HD, Jeon CH, Won SH, Chung NS. Global Sagittal Imbalance Due to Change in Pelvic Incidence After Traumatic Spinopelvic Dissociation. *J Orthop Trauma*. 2017;31(7):e195–e199. doi: 10.1097/BOT.0000000000000821
62. Lee JS, Kim YH. Factors associated with gait outcomes in patients with traumatic lumbosacral plexus injuries. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2020;46(6):1437–1444. doi: 10.1007/s00068-019-01137-x
63. Adelved A, Tötterman A, Hellund JC, et al. Radiological findings correlate with neurological deficits but not with pain after operatively treated sacral fractures. *Acta Orthop*. 2014;85(4):408–414. doi: 10.3109/17453674.2014.908344
64. Bekmez S, Demirkiran G, Caglar O, et al. Transverse sacral fractures and concomitant late-diagnosed cauda equina syndrome. *Ulus Travma Acil Cerrahi Derg*. 2014;20(1):71–74. doi: 10.5505/tjtes.2014.21208
65. Kepler CK, Schroeder GD, Hollern DA, et al. Do Formal Laminectomy and Timing of Decompression for Patients With Sacral Fracture and Neurologic Deficit Affect Outcome? *J Orthop Trauma*. 2017; 31 Suppl 4:S75–S80. doi: 10.1097/BOT.0000000000000951
66. Bai Z, Gao S, Liu J, et al. Anatomical evidence for the anterior plate fixation of sacroiliac joint. *J Orthop Sci*. 2018;23(1):132–136. doi: 10.1016/j.jos.2017.09.003
67. Schroeder GD, Kurd MF, Kepler CK, et al. The Development of a Universally Accepted Sacral Fracture Classification: A Survey of AOSpine and AOTrauma Members. *Global Spine J*. 2016;6(7):686–694. doi: 10.1055/s-0036-1580611

ОБ АВТОРАХ

*** Аганесов Николай Александрович,**

врач травматолог-ортопед;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, д. 10;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-6862>;
eLibrary SPIN: 1805-5790; e-mail: kolyanzer@yandex.ru

Лазарев Анатолий Фёдорович, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
e-mail: lazarev.anatoly@gmail.com

Кулешов Александр Алексеевич, д.м.н., профессор,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9526-8274>;
eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: cito-spine@mail.ru

Ветрилэ Марчел Степанович, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6689-5220>;
eLibrary SPIN: 9690-5117; e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Лисянский Игорь Николаевич, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4381>;
eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

Макаров Сергей Николаевич, к.м.н.,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0406-1997>;
eLibrary SPIN: 2767-2429; e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Захарин Виталий Романович,
врач травматолог-ортопед;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-2782>;
eLibrary SPIN: 2931-0703; e-mail: zakhvit@gmail.com

AUTHORS INFO

*** Nikolay A. Aganesov,**
traumatologist-orthopedist;
address: 10 Priorova Str., 127299, Moscow, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5383-6862>;
eLibrary SPIN: 1805-5790; e-mail: kolyanzer@yandex.ru

Anatoly F. Lazarev, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
e-mail: lazarev.anatoly@gmail.com

Aleksandr A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9526-8274>;
eLibrary SPIN: 7052-0220; e-mail: cito-spine@mail.ru

Marchel S. Vetrile, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6689-5220>;
eLibrary SPIN: 9690-5117; e-mail: vetrilams@cito-priorov.ru

Igor N. Lisyansky, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2479-4381>;
eLibrary SPIN: 9845-1251; e-mail: lisigornik@list.ru

Sergey N. Makarov, MD, Cand. Sci. (Med.),
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0406-1997>;
eLibrary SPIN: 2767-2429; e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Vitaly R. Zakharin,
traumatologist-orthopedist;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1553-2782>;
eLibrary SPIN: 2931-0703; e-mail: zakhvit@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author