

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)



ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

2021 • Т. 27 • № 4

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)

SCIENTIFIC AND PRACTICAL PEER-REVIEWED JOURNAL

TRAVMATOLOGIYA I ORTOPEDIYA ROSSII

TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS OF RUSSIA

Founders

Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics
Eco-Vector

Publisher Eco-Vector

Vol. 27, N 4, 2021

Traumatology and Orthopedics of Russia

Editor-in-Chief

Rashid M. Tikhilov – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Deputy Editor-in-Chief

Igor I. Shubnyakov – Dr. Sci. (Med.)

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Executive secretary

Irina V. Kolesnikova

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

EDITORIAL BOARD

Ildar F. Akhtyamov – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Kazan State Medical University, Kazan, Russia)

Aleksey G. Baidurashvili – Dr. Sci. (Med.), Professor,

(Turner National Medical Research Center of Children's Orthopedics

and Trauma Surgery, St. Petersburg, Russia)

Igor G. Belenkiy – Dr. Sci. (Med.)

(St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute,

St. Petersburg, Russia)

Mikhail V. Belov – Cand. Sci. (Med)

(Solovyov Clinical Emergency Hospital, Yaroslavl, Russia)

Svetlana A. Bozhkova – Dr. Sci. (Med.)

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Dmitry Yu. Borzunov – Dr. Sci. (Med.)

(Ural State Medical University, Ekaterinburg, Russia)

Aleksander V. Gubin – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)

Aleksander K. Dulaev – Dr. Sci. (Med.), Professor

(St. Petersburg Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia)

Luigi Zagra – MD, Professor

(Galeazzi Orthopedic Institute, Milan, Italy)

Nikolay N. Kornilov – Dr. Sci. (Med.)

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Andrey V. Korolev – Dr. Sci. (Med.), Professor

(European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)

Andrey A. Korytkin – Cand. Sci. (Med.)

(Tsiyvan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopedics, Novosibirsk, Russia)

Aleksander Yu. Kochish – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Veit Krenn – MD, Professor (Center for Histology, Cytology and Molecular Diagnostics, Trier, Germany)

Djoldas Kuldjanov – MD, Professor (St. Louis, USA)

Dmitry A. Malanin – Dr. Sci. (Med), Professor

(Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia)

Alexander M. Miromanov – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Chita State Medical Academy, Chita, Russia)

Vyacheslav N. Mitrofanov – Cand. Sci. (Med)

(Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia)

Valery Yu. Murylev – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, Russia)

Javad Parvizi – MD, Professor (Rothman Institute, Philadelphia, USA)

Carsten Perka – MD, Professor

(Charité – University Medicine, Berlin, Germany)

Dmitry A. Ptashnikov – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Sergey O. Ryabykh – Dr. Sci. (Med.)

(Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia)

Andrey P. Sereda – Dr. Sci. (Med.)

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Leonid N. Solomin – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia)

Marc Thomsen – MD, Professor

(Mittelbaden Clinics Baden-Baden Balg, Baden-Baden, Germany)

Vladimir V. Khominets – Dr. Sci. (Med.), Professor

(Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia)

Robert Hube – MD, Professor (Center of Arthroplasty, Munich, Germany)

The journal is listed among the peer-reviewed scientific periodicals recommended

by Higher Attestation Commission at the Ministry of Education and Science.

The journal is currently indexed in Emerging Sources Citation Index (Web of Science), Russian Science Citation Index,

in international open publications databases Google Scholar and Directory of Open Access Journals,

in the world's largest bibliographic database WorldCat, database of the Russian Institute for Scientific and Technical Information at Russian Academy of Science.

Information about the journal is published annually in Ulrichsweb Global Serials Directory.

Journal "Traumatology and Orthopedics of Russia" founded in 1993. The journal publishes regular issues quarterly, four times per year.

The journal is registered by Federal Service for Supervision in the Sphere of Telecom, Information Technologies and Mass Communications.

Registration certificate PI No. FC77-82474 was issued on December 10, 2021.

Editorial office takes no responsibility for the contents of advertising material. No part of this issue may be reproduced without permission from the publisher.

FOUNDERS

• Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics

Address: 8, Akademika Baikova str., St. Petersburg, Russia, 195427, e-mail: journal@rniito.org. <https://journal.rniito.org>, Phone: +7 (812) 670-86-84

• Eco-Vector

Address: 3A Aptekarskiy lane, office 1N, Saint Petersburg, 191186, Russia, e-mail: info@eco-vector.com, WEB: <https://eco-vector.com>

Phone: +7(812)648-83-67

Editorial office address: 8, Akademika Baikova str., St. Petersburg, Russia, 195427.

Phone: +7 (812) 670-86-84; e-mail: journal@rniito.org. <https://journal.rniito.org>

The content is available under the Creative Commons – Attribution 4.0 International, CC-BY license. 

Printed in "Typography Lesnik", 197183, St. Petersburg, Sabirovskaya str., 37. Free price.

Editor: I.V. Kolesnikova

Layout: S.V. Gavrilova



ISSN 2311-2905 (print)
ISSN 2542-0933 (online)

НАУЧНО-ПРАКТИЧЕСКИЙ РЕЦЕНЗИРУЕМЫЙ ЖУРНАЛ

ТРАВМАТОЛОГИЯ И ОРТОПЕДИЯ РОССИИ

Учредители

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр
травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России
ООО «Эко-Вектор»

Издатель ООО «Эко-Вектор»

Том 27, № 4, 2021

Травматология и ортопедия России

Главный редактор

Тихилов Рашид Муртузалиевич – д-р мед наук, профессор
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Заместитель главного редактора

Шубняков Игорь Иванович – д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Ответственный секретарь редколлегии

Колесникова Ирина Владимировна (НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Ахтямов И.Ф. – д-р мед. наук, профессор
(Казанский ГМУ, Казань, Россия)

Баиндурашвили А.Г. – академик РАН, д-р мед. наук, профессор
(НМИЦ ДТО им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия)

Беленький И.Г. – д-р мед. наук
(СПбНИИ скорой помощи им. И.И. Джanelидзе, Санкт-Петербург, Россия)

Белов М.В. – канд. мед. наук (Клиническая больница скорой
медицинской помощи им. Н.В. Соловьева, Ярославль, Россия)

Божкова С.А. – д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Борзунов Д.Ю. – д-р мед. наук (Уральский ГМУ, Екатеринбург, Россия)

Губин А.В. – д-р мед. наук, профессор
(НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия)

Дулаев А.К. – д-р мед. наук, профессор
(СПбНИИ скорой помощи им. И.И. Джanelидзе, Санкт-Петербург, Россия)

Загра Л. – д-р медицины, профессор
(Ортопедический институт Галеацци, Милан, Италия)

Корнилов Н.Н. – д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Королев А.В. – д-р мед. наук, профессор (Европейская клиника
спортивной травматологии и ортопедии, Москва, Россия)

Корыткин А.А. – канд. мед. наук
(Новосибирский НИИТО им. Я.Л. Цивьяна, Новосибирск, Россия)

Кочиш А.Ю. – д-р мед. наук, профессор
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Кренн В. – д-р медицины, профессор (Центр гистологии,
цитологии и молекулярной диагностики, Трир, Германия)

Кульджанов Д. – д-р медицины, профессор (Сент-Луис, США)

Маланин Д.А. – д-р мед. наук, профессор
(Волгоградский ГМУ, Волгоград, Россия)

Мироманов А.М. – д-р мед. наук, профессор
(Читинская ГМА, Чита, Россия)

Митрофанов В.Н. – канд. мед. наук (Приволжский исследователь-
ский медицинский университет, Н. Новгород, Россия)

Мурылев В.Ю. – д-р мед. наук, профессор
(Первый МГМУ им. И.М. Сеченова, Москва, Россия)

Парвизи Дж. – д-р медицины, профессор
(Институт Ротмана, Филадельфия, США)

Перка К. – д-р медицины, профессор
(Центр скелетно-мышечной хирургии Университетской
клиники Шарите, Берлин, Германия)

Пташников Д.А. – д-р мед. наук, профессор
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Рябых С.О. – д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия)

Серета А.П. – д-р мед. наук
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Соломин Л.Н. – д-р мед. наук, профессор
(НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия)

Томсен М. – д-р медицины, профессор
(Клиника Миттельбаден, Баден-Баден, Германия)

Хоминец В.В. – д-р мед. наук, профессор
(Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова,
Санкт-Петербург, Россия)

Хубэ Р. – д-р медицины, профессор
(Центр эндопротезирования, Мюнхен, Германия)

Журнал включен в Перечень рецензируемых научных изданий, рекомендуемых ВАК РФ для опубликования основных научных результатов диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук, в базу данных Emerging Sources Citation Index (Web of Science), Российский индекс научного цитирования (РИНЦ), международные базы публикаций открытого доступа Directory of Open Access Journals и Google Scholar, крупнейшую в мире библиографическую базу данных WorldCat, в базы данных ВИНТИ.

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

Журнал «Травматология и ортопедия России» основан в 1993 г. Выходит ежеквартально.

Печатное периодическое издание «Травматология и ортопедия России» зарегистрировано Госкомитетом печати, телерадиовещания и массовых коммуникаций 12 апреля 1993 г. (Свидетельство № 0110540). Перерегистрировано Федеральной службой по надзору за соблюдением законодательства в сфере массовых коммуникаций и охране культурного наследия СМИ 10 декабря 2021 г. (Свидетельство о регистрации ПИ No ФС77-22768).

Воспроизведение или использование другим способом любой части издания без согласия редакции является незаконным и влечет ответственность, установленную действующим законодательством РФ.

Учредители

• ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена» Минздрава России
Адрес: 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8, тел.: +7 (812) 670-86-84; e-mail: journal@rniito.org

• ООО «Эко-Вектор»

Адрес: 191186, г. Санкт-Петербург, Аптекарский переулок, д. 3, литера А, помещение 1 Н. E-mail: info@eco-vector.com

Адрес редакции: 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, дом 8; тел.: +7 (812) 670-86-84; e-mail: journal@rniito.org

<https://journal.rniito.org>

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

ООО «Типография Лесник», 197183, Санкт-Петербург, ул. Сабировская, дом 37.

Цена свободная.

Редактор Колесникова И.В.

Технический редактор Гаврилова С.В.



CONTENTS

EDITORIAL	7	NEW TECHNIQUES IN TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS	
CLINICAL STUDIES		Ivanov P.A., Kasatskiy A.V., Zadneprovskiy N.N., Nevedrov A.V.	
Rasulov M.Sh., Kulyaba T.A., Kornilov N.N., Saraev A.V., Petukhov A.I., Bantser S.A., Petlenko I.S.		A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps.....	93
Features and Results of Knee Arthroplasty after Knee Fractures Fixation	9	<i>Editorial Comment on the Article by P.A. Ivanov et al. “A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps”</i>	99
Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Schmeljew A.V.		CASE REPORTS	
Mid-Term Results of Total Hip Arthroplasty for Femoral Neck Nonunions in Long-Term Hemodialysis Patients	21	Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O.	
Egiazaryan K.A., Maximov B.I., Askerov A.A., Vedernikov N.N., Matvienko M.I.		Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review	102
Functional and Radiographic Outcomes for Distal Radius Fractures Treated with Volar-Locked Plates and Percutaneous K-Wires: A Comparative Study	31	Kuznetsov V.V., Gudi S.M., Skuratova L.K., Pakhomov I.A.	
Semenisty A.A., Litvina E.A., Mironov A.N.		Total Talar Replacement with Ceramic Implant in Combination with Tibial Component of Ankle Endoprosthesis: A Case Report	111
Classification of Proximal Tibial Fractures and Algorithm of Intramedullary Nailing: Efficacy Evaluation	42	REVIEWS	
Mushkin M.A., Dulaev A.K., Alikov Z.Yu., Mushkin A.Yu.		Miromanov A.M., Gusev K.A.	
Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases	53	Osteogenesis Hormonal Regulation: Review	120
<i>Editorial Comment on the Article by Mushkin M.A. et al. “Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases”</i>	65	Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I.	
Malanin D.A., Sikilinda V.D., Gorbatenko A.I., Demeshchenko M.V., Suchilin I.A., Kondrashenko V.V., Kostyanaya N.O.		Genome-wide Studies of Knee Osteoarthritis: Review	131
Intraosseous Injection of Autologous Bone Marrow Aspirate Concentrate and Platelet-Rich Plasma for Treatment of Knee Osteoarthritis	69	FOR PRACTICAL PHYSICIANS	
THEORETICAL AND EXPERIMENTAL STUDIES		Pilipson Zh.Yu., Il'in D.O., Logvinov A.N., Frolov A.V., Vasiliev I.A., Bessonov D.A., Achkasov E.E., Korolev A.V.	
Varsegova T.N., Diuriagina O.V., Antonov N.I., Ryabykh S.O.		Scapula Dyskinesia	145
Histological and Morphometric Changes in the Femoral Nerve During Lateral Interbody Fusion of the Lumbar Spine: Experimental Study	82	LECTURES	
		Bogopolskiy O.E.	
		Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture	155
		COMMENTS	
		Belenkiy I.G.	
		Comment to the Article by O.A. Kaplunov et al. “Hypotrophic Clavicle Pseudoarthrosis Treatment: A Case Report”	169
		MEMORABLE DATES	
		Khominets V.V., Gladkov R.V.	
		95 th Anniversary of the First Russian Society of Orthopedic Surgeons	173
		OBITUARY	
		Nikolay G. Fomichev	180

СОДЕРЖАНИЕ

ОТ РЕДАКТОРА	7	НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ	
КЛИНИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ		Иванов П.А., Касацкий А.В., Заднепровский Н.Н., Неведров А.Н.	
Расулов М.Ш., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н., Сараев А.В., Петухов А.И., Банцер С.А., Петленко И.С.		Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек	93
Особенности и результаты эндопротезирования коленного сустава после остеосинтеза внутрисуставных переломов	9	<i>Редакционный комментарий к статье П.А. Иванова с соавторами «Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек».....</i>	99
Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., Шмелев А.В.		СЛУЧАИ ИЗ ПРАКТИКИ	
Среднесрочные результаты тотального эндопротезирования у пациентов с псевдоартрозом шейки бедренной кости, находящихся на хроническом гемодиализе	21	Наумов Д.Г., Вишневский А.А., Ткач С.Г., Аветисян А.О.	
Егиазарян К.А., Максимов Б.И., Аскеров А.А., Ведерников Н.Н., Матвиенко М.И.		Эхинококковое поражение шейно-грудного отдела позвоночника у беременной: клинический случай и обзор литературы	102
Лечение переломов дистального метаэпифиза лучевой кости с использованием малоинвазивного наkostного остеосинтеза и перкутанной спицевой фиксации: сравнительный анализ результатов	31	Кузнецов В.В., Гуди С.М., Скуратова Л.К., Пахомов И.А.	
Семенистый А.А., Литвина Е.А., Миронов А.Н.		Эндопротезирование таранной кости керамическим эндопротезом в сочетании с тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава: клинический случай ...	111
Классификация и алгоритм лечения переломов проксимального отдела большеберцовой кости методом интрамедуллярного остеосинтеза	42	ОБЗОРЫ	
Мушкин М.А., Дулаев А.К., Аликов З.Ю., Мушкин А.Ю.		Мироманов А.М., Гусев К.А.	
Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у пациентов с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника	53	Гормональная регуляция остеогенеза: обзор литературы	120
<i>Редакционный комментарий к статье М.А. Мушкина с соавторами «Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у больных с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника».....</i>	65	Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И.	
Маланин Д.А., Сикилинда В.Д., Горбатенко А.И., Демещенко М.В., Сучилин И.А., Кондрашенко В.В., Костяная Н.О.		Полногеномные исследования остеоартроза коленного сустава: обзор литературы.....	131
Внутрикостное введение аутологичных концентрата костного мозга и обогащенной тромбоцитами плазмы при лечении остеоартрита коленного сустава	69	ДЛЯ ПРАКТИЧЕСКИХ ВРАЧЕЙ	
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ		Пилипсон Ж.Ю., Ильин Д.О., Логвинов А.Н., Фролов А.В., Васильев И.А., Бессонов Д.А., Ачкасов Е.Е., Королев А.В.	
Варсегова Т.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И., Рябых С.О.		Дискинезия лопатки.....	145
Гистологические и морфометрические изменения бедренного нерва при моделировании бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника в эксперименте	82	ЛЕКЦИИ	
		Богопольский О.Е.	
		Инструментальная диагностика и предоперационное планирование артроскопии тазобедренного сустава при фемороацетабулярном импинджмент-синдроме: лекция.....	155
		КОММЕНТАРИИ	
		Беленький И.Г.	
		Комментарий к статье О.А. Каплунова с соавторами «Лечение гипотрофического псевдоартроза ключицы: клинический случай»	169
		ПАМЯТНЫЕ ДАТЫ	
		Хоминец В.В., Гладков Р.В.	
		95 лет первому в России научному обществу травматологов-ортопедов	173
		НЕКРОЛОГ	
		Николай Гаврилович Фомичев	180

Дорогие читатели!

Четвертый выпуск журнала «Травматология и ортопедия России» закрывает 2021 год — год юбилеев центров травматологии и ортопедии в нашей стране: Центру им. Р.Р. Вредена исполнилось 115 лет, Центру им. Н.Н. Приорова — 100 лет, институту им. А.Л. Цивьяна — 75 лет и Центру им. Г.А. Илизарова — 50 лет (филиал ЛНИИТО им. Р.Р. Вредена преобразован в Курганский научно-исследовательский институт экспериментальной и клинической ортопедии и травматологии приказом МЗ РСФСР № 300 от 8 декабря 1971 г.). Мы поздравляем всех наших коллег, желаем процветания и благодарим за долгое плодотворное сотрудничество!

В уходящем году все мы продолжали бороться с COVID-19, но успешная вакцинационная кампания позволила вернуться к проведению конференций в очном или частично очном формате: «Вреденовские чтения – 2021» прошли в штатном режиме, и все были рады видеть друг друга. Надеемся, что важные травматологические конференции грядущего 2022 года не попадут под какие-либо ограничения.

В декабре 2021 года в нашем журнале произошли важные изменения — его соучредителем стало научное издательство «Эко-Вектор». Это событие не спонтанное, необходимость этого шага давно назревала, поскольку выполнять постоянно рас-

тущие требования международных баз данных в одиночку становится все сложнее.

Как, вероятно, вы уже заметили, изменился дизайн сайта журнала, который соответствует современным международным требованиям. Также планируется перевод всех статей на английский язык, что, надеемся, увеличит аудиторию наших зарубежных читателей, сделает журнал привлекательнее для новых, в том числе иностранных авторов, привлечет ведущих специалистов в качестве рецензентов и повысит цитируемость журнала в зарубежных базах данных.

Однако вместе с преимуществами новой платформы появляются и новые обязательства для всех участников редакционного процесса. Мы обязаны соблюдать сроки опубликования каждого выпуска. А для этого необходимо, чтобы авторы строго соблюдали все правила оформления и загрузки статей на сайт, а рецензенты — сроки рецензирования.

Выпуски нашего журнала в уходящем году были наполнены прекрасными разнопрофильными статьями, комментариями и продуктивными обсуждениями, за что мы благодарим всех авторов и надеемся на дальнейшее плодотворное сотрудничество.

Дорогие коллеги, приближается новый 2022 год. Позвольте пожелать всем счастья, успехов, благ, здоровья вам и вашим близким!

*С уважением,
главный редактор журнала
«Травматология и ортопедия России»
профессор Р.М. Тихилов
член редколлегии журнала д-р мед. наук А.П. Середа*



Features and Results of Knee Arthroplasty after Knee Fractures Fixation

Magomed Sh. Rasulov¹, Taras A. Kulyaba¹, Nikolai N. Kornilov^{1,2}, Alexander V. Saraev¹, Alexey I. Petukhov¹, Sergey A. Bantser¹, Irina S. Petlenko¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

The purpose of the study – to assess the results and risk of complications of primary total knee arthroplasty in patients with a history of osteosynthesis of intra-articular fractures.

Methods: Our study integrates the retrospective and prospective analysis of the results of primary total knee arthroplasty (TKA) performed in 140 patients, in period from 2015 to 2019. The retrospective part of the study included the arthroplasty results of 100 patients, prospective – 40 patients. Each of the groups was divided into 2 subgroups: with previous osteosynthesis (OS) of intra-articular fractures before arthroplasty and without history of knee surgery before arthroplasty. To assess the results of TKA, adapted to Russian-language versions of the KSS, WOMAC and FJS-12 scales were used. The X-ray of the endoprosthesis components positioning was assessed using the KRESS scale.

Results: Statistically significant differences were found between retrospective groups with OS and without it in the duration of the surgery, in the volume of intraoperative blood loss, in the higher frequency for implantation of the endoprosthesis systems with an increased degree of coupling of the components. The rate of postoperative complications was higher in retrospective group OS. Mid-term functional results did not show statistically significant differences on the KSS and WOMAC scales, patient satisfaction rates on the FJS-12 scale were worse in retrospective group OS. Prospective group of patients with a history of OS for intraarticular fractures demonstrated statistically significant increase of the knee ROM from 89° to 108°, after the TKA. The function recovery dynamics according to the KSS, WOMAC and FJS-12 was slowed down at 3 and 6 months, and according to the WOMAC and FJS-12 scales, even after 12 months post-operation.

Conclusions: The previous trauma and knee intra-articular fractures fixation leads to an earlier development of post-traumatic osteoarthritis. Functional results in the retrospective and prospective groups do not have statistically significant differences. The number of postoperative complications is greater in the retrospective groups. OS in the history statistically significantly slows down the dynamics of function recovery in the early postoperative period.

Keywords: knee posttraumatic osteoarthritis, knee arthroplasty, knee intra-articular fractures, knee fracture fixation.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

 **Cite as:** Rasulov M.Sh., Kulyaba T.A., Kornilov N.N., Saraev A.V., Petukhov A.I., Bantser S.A., Petlenko I.S. [Features and Results of Knee Arthroplasty after Knee Fractures Fixation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):9-20. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1694>.

 **Magomed Sh. Rasulov;** e-mail: magomed93r@yandex.ru
Submitted: 27.10.2021. Accepted: 06.12.2021. Published Online: 15.12.2021.



Научная статья
УДК 616.728.3-001.513-089.84
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1694>

Особенности и результаты эндопротезирования коленного сустава после остеосинтеза внутрисуставных переломов

М.Ш. Расулов¹, Т.А. Куляба¹, Н.Н. Корнилов^{1,2}, А.В. Сараев¹, А.И. Петухов¹,
С.А. Банцер¹, И.С. Петленко¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Цель исследования — оценить результаты и риск развития осложнений первичного тотального эндопротезирования коленного сустава у пациентов с остеосинтезом внутрисуставных переломов в анамнезе. **Материал и методы.** Проведенное исследование интегрирует в себе ретроспективный и проспективный анализ результатов первичного тотального эндопротезирования коленного сустава (ТЭКС), выполненного у 140 пациентов в период с 2015 по 2019 г. Ретроспективная часть исследования включала результаты артропластики, выполненной у 100 пациентов, проспективная — у 40. Каждая из этих групп подразделялась на 2 подгруппы: с предшествующим металлоosteосинтезом (МОС) внутрисуставных переломов перед эндопротезированием и без оперативных вмешательств на коленном суставе до артропластики. Для оценки результатов ТЭКС использованы адаптированные русскоязычные версии шкал KSS, WOMAC и FJS-12, рентгенологическое положение компонентов эндопротеза оценивали по шкале KRESS. **Результаты.** Выявлены статистически значимые различия в следующих показателях между ретроспективными группами с наличием МОС в анамнезе и без него: длительность операции, объем интраоперационной кровопотери, необходимость в имплантации конструкций с повышенной степенью связанности компонентов эндопротеза. Частота послеоперационных осложнений была больше в группе МОС. Среднесрочные функциональные результаты по шкалам KSS и WOMAC не имели статистически значимых различий, показатели удовлетворенности пациентов по шкале FJS-12 были хуже в группе МОС. У пациентов проспективной подгруппы с наличием в анамнезе МОС по поводу внутрисуставных переломов выполнение ТЭКС позволило увеличить амплитуду движений в коленном суставе с 89° до 108°, то есть на 19°. Динамика восстановления функции по шкалам KSS, WOMAC и FJS-12 была замедленной на сроках 3 и 6 мес., а по шкалам WOMAC и FJS-12 также и через 12 мес. после операции. **Заключение.** Внутрисуставные переломы коленного сустава и их остеосинтез приводят к более раннему развитию посттравматического артроза. МОС в анамнезе статистически значимо замедляет динамику восстановления функции в раннем послеоперационном периоде. Среднесрочные функциональные результаты не имеют статистически значимых отличий между группами. Количество послеоперационных осложнений больше в группе пациентов с МОС в анамнезе.

Ключевые слова: посттравматический артроз коленного сустава, эндопротезирование коленного сустава, внутрисуставные переломы костей коленного сустава, металлоosteосинтез.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Расулов М.Ш., Куляба Т.А., Корнилов Н.Н., Сараев А.В., Петухов А.И., Банцер С.А., Петленко И.С. Особенности и результаты эндопротезирования коленного сустава после остеосинтеза внутрисуставных переломов. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(4):9-20. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1694>.

✉ Расулов Магомед Шамилович; e-mail: magomed93r@yandex.ru

Рукопись получена: 27.10.2021. Рукопись одобрена: 06.12.2021. Статья опубликована онлайн: 15.12.2021.

Background

Total knee arthroplasty (TKA) is one of the most effective and frequently used methods of the post-traumatic terminal stage of the knee joint osteoarthritis treatment. The constantly increasing number of primary arthroplasties increases the number of revision interventions, and currently the share of the latter is 6–8% of the total knee arthroplasties [1]. Fractures of the proximal tibia are 1.5–2.0%, distal femur — 4.0–6.0%, patella — 0.7–1.0% in the structure of fractures of all bones of the skeleton increase the incidence of knee osteoarthritis by an average of 7 times [2, 3, 4, 5]. According to the literature, 75% of patients with intra-articular knee fractures can be expected to develop post-traumatic osteoarthritis, and its terminal stage already develops 7 years after the injury [6, 7].

TKA for osteoarthritis after fractures is a highly effective surgical operation that reduces pain syndrome, significantly improves the functionality and quality of life of patients [8, 9, 10]. Indications for TKA after fractures occur with the development of severe post-traumatic osteoarthritis, usually accompanied by deformities of the articular surfaces, axial limb disorders, stability of the knee joint and its contractures [11]. An analysis of the literature on the effect of osteosynthesis of intra-articular fractures on the results of TKA demonstrates the contradictory views of researchers on the optimal volume of preoperative examination, the features of surgery and functional results [12, 13, 14, 15].

The aim of the study was to evaluate the results and risk of complications of primary TKA in patients with a history of osteosynthesis of intra-articular fractures.

Methods

Design

The conducted study integrates a retrospective and prospective analysis of the primary TKA results performed in 140 patients at the clinic of the Vreden Center of Traumatology and Orthopedics in the period from 2015 to 2019. The retrospective part of the study included the results of arthroplasty performed in 100 patients, the prospective part — in 40.

By age and sex parameters, the distribution of patients was as follows: the average age was 56.0 ± 7.3 years, there were 97 women (69.2%), 43 men (30.8%).

Patients of the retrospective group were stratified into two groups depending on the history of osteosynthesis of intra-articular fractures of the knee joint:

- 50 patients with osteosynthesis (OS) of intra-articular fractures before knee arthroplasty (group A);
- 50 patients without surgical interventions on the knee joint before arthroplasty (group B).

The analysis of the frequency of postoperative complications in the retrospective study groups revealed a statistically significant ($p = 0.008$) difference: in group A patients, 12% of postoperative complications were detected, in group B there were no complications. There is also a much greater need for constrained implants in patients with intra-articular fractures of hardware and the use of modular elements of the endoprosthesis to compensate bone defects and achieve stable fixation of the components of the endoprosthesis.

These factors were the basis for the development and introduction into clinical practice of an algorithm for pre- and intraoperative examination of patients and a scheme for antibiotic prophylaxis of infectious complications after TKA in patients with a history of surgical interventions for fractures of the bones forming the knee joint.

To assess the clinical effectiveness of the proposed algorithm and the scheme of antibiotic prophylaxis of infectious complications, two equally large prospective groups of patients were formed, stratified on the same basis:

- 20 patients with a history of OS intra-articular fractures before knee arthroplasty (group C);
- 20 patients without surgical interventions on the knee joint before arthroplasty (group D).

The criteria for inclusion in the study:

- patients of any gender and age with stage 3 knee osteoarthritis according to the classification of N.S. Kosinskaya;
- with a history of OS intra-articular fractures of the knee joint;
- without knee joint surgery.

Exclusion criteria:

- a history of surgical interventions on the contralateral limb;
- the presence of non-removed hardware and the use of extended surgical approach in the TKA;
- the presence of endoprostheses of the hip or ankle joint of the examined limb;

– the presence of concomitant nosology (rheumatoid and other specific arthritis, gonitis, etc.), affecting the frequency of postoperative complications and postoperative rehabilitation treatment.

Outcomes assessment

To study the results of TKA in patients of retrospective groups, a correspondence survey was conducted using questionnaires sent out, which are adapted Russian-language versions of the KSS, WOMAC and FJS-12 point scales [16] or examination of patients at the clinic of the Vreden Center assess the functional state of the knee joint. In patients of prospective groups, the dynamics of knee joint function restoration was evaluated in terms of 3, 6 and 12 months after TKA using the same point scales.

Statistical analysis

Statistical analysis of the data obtained was performed in the program STATISTICA for Windows (version 10) based on the results table generated in Microsoft Excel. Comparison of quantitative parameters (age, blood loss, type of im-

plant, etc.) in the groups was carried out using the Mann–Whitney criterion. The frequency of complications was analyzed using the criteria χ^2 , Fischer and χ^2 with the Yates correction for small groups. The criterion of signs was used to assess the dynamics. 95% CI for estimating complication rates was calculated based on the Fisher angular transformation. The criterion of the statistical significance of the differences was the value of $p < 0.05$.

Results

Treatment outcomes in retrospective groups

Table 1 shows the indicators and criteria for the difference between retrospective groups A and B.

According to the age indicator, the patients of the retrospective group A were 8 years younger than the patients of group B ($p = 0.002$). The average period from OS to TKA was 6.3 years. The revealed statistically significant difference in the surgery duration in group A ($p = 0.0012$) was due to a significantly higher frequency of using various methods of compensation for bone defects, as well as implantation of post-stabilized, varus-valgus-constrained and articulated structures requiring additional manip-

Table 1

Indicators and criteria of difference between retrospective groups A and B

Indicator	Group A M±SD, min-max, ME (Q1-Q3)	Group M±SD min-max ME (Q1-Q3)	<i>p</i>
Age, years	52±7,9 32–70 52 (48–60)	60±7,3 45–81 60 (57–65)	0,002
BMI	29±3,8 20–35 28 (27,8–32,2)	28±6 21–36 29 (31,1–33,2)	>0,05
Duration of the surgery, min.	107±36 60–240 100 (85–125)	78±10 60–110 80 (70–85)	0,0012
Intraoperative blood loss, ml	366 ±249 100–1500 300 (200–400)	205±90 50–400 200 (150–250)	0,000
Endoprosthesis constraint type	22 (44%) (CR) 17 (34%) (PS) 7 (14%) (VVC) 4 (8%) (RHK)	49 (98%) (CR) 1 (2%) (PS)	0,001
Complications	6 (12%)	0	0,008

ulations on bones and paraarticular soft tissues. In evaluation of intraoperative blood loss volume, a statistically significant difference was found in group A (366 ml) compared to group B (205 ml) ($p = 0.000$), which was due to both the longer duration of surgery and additional manipulations on bones and soft tissues necessary for the implantation of endoprosthesis components. In patients of the retrospective group A, constrained endoprostheses had to be implanted more often ($p = 0.001$) when performing TKA than in patients in group B (Table 2).

The functional results of TKA in patients of retrospective groups, evaluated on the KSS and WOMAC scales, as well as the assessment of sat-

isfaction with TKA on the FJS-12 scale with average follow-up periods are presented in Table 3.

Functional results on the KSS and WOMAC scales had no statistically and clinically significant differences. Nevertheless, in absolute numbers, the indicators in group A were somewhat worse in similar terms. The main reason for the decrease in functional results was stiffness in the operated knee joint.

When assessing satisfaction on the FJS-12 scale, a statistically significant difference ($p = 0.016$), in our opinion, was due to a younger age and, consequently, higher requirements for joint function in patients both before the previous fracture and osteosynthesis, and after the performed TKA.

Table 2

Endoprostheses of varying constraint degrees in retrospective groups of patients

Endoprosthesis constraint type	Number of implantations	
	Group A	Group B
PCL preserved (CR)	24 (48%)	49 (98%)
Posterior stabilised(PS)	17 (34%)	1 (2%)
Varus-valgus-constrained (VVC)	7 (14%)	0
Hinged (RHK)	2 (4%)	0
Total	50	50

Table 3

Functional results in patients of retrospective groups, points

Scale	Group A M±SD min-max ME (Q1-Q3)	Group B M±SD min-max ME (Q1-Q3)
KSS	83,9±7,8 64-92 84 (78-94)	86,6±6,0 70-96 87 (82-90)
WOMAC	19,6±8,2 0-50 19 (14-21)	18,4±8,5 0-44 19 (15-21)
FJS-12	72,3±6,5 48-86 71 (66-75)	85,0±5,4 60-96 86 (78-86)

In retrospective group A, 6 (12%) postoperative complications were identified: septic inflammation developed in 3 (6%) cases, combined contracture developed in 2 (4%), and delayed healing of the postoperative wound was noted in one case (2%). There were no complications in the retrospective group B.

These complications, as well as the need to use constrained endoprostheses in patients with intra-articular fractures much more often and to use modular elements to compensate bone defects and achieve stable fixation of the endoprosthesis components, were the basis for the development and introduction into clinical practice of an algorithm for pre- and intraoperative examination of patients (Fig. 1) and schemes of antibiotic prophylaxis of infectious complications after TKA in patients with a history of surgical interventions for fractures of the bones forming the knee joint (Table 4).

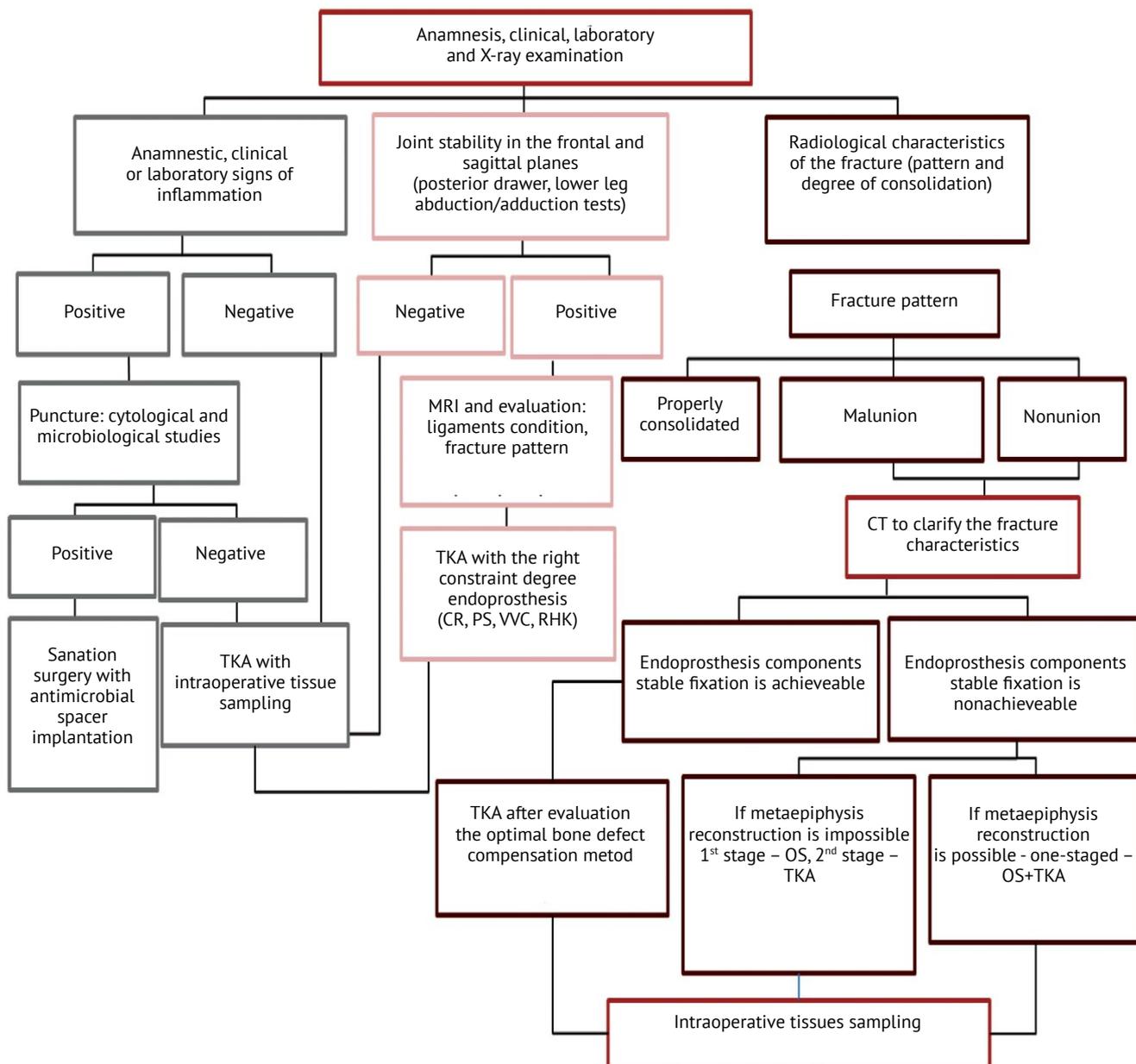


Fig. 1. Algorithm of pre- and intra-operative evaluation of patients with the fixation of knee intra-articular fractures in history

Table 4

**Scheme of antibiotic prophylaxis of postoperative complications after TKA
in patients with a history of surgical interventions on the knee joint**

The period after the surgery, days.	Therapeutic measures, ongoing studies and their results	Antibiotic prophylaxis / antibiotic therapy	Clinical and laboratory control
Early days	Surgery - sampling of tissue biopsies	Standard antibiotic prophylaxis approved at the clinic	Monitoring of local signs of inflammation, daily temperature, ESR, CRP, leukocytes and leukocyte formula on the 1st and 3rd-4th days
7-10	With positive results of microbiological examination - consultation of a clinical pharmacologist	Etiotropic antibiotic therapy depending on the detected microflora and its sensitivity	Monitoring at the outpatient stage
	In case of negative results of microbiological examination	Not carried out	Clinical and biochemical blood analysis 7 days after discharge
Outpatient stage	With positive results of microbiological examination	Etiotropic antibiotic therapy depending on the detected microflora and its sensitivity	Monitoring of local and laboratory indicators of inflammation (CRP before the start of the AB course, after the end of the AB course in 10-14 days) Control of ALT and creatinine in the middle of the course and after the course on days 10-14

Statistically significant ($p = 0.008$) difference in the frequency of postoperative complications in retrospective groups A and B allowed us to conclude that knee joint puncture is necessary in this category of patients if they have clinical or laboratory signs of inflammation in the anamnesis or during hospitalization to exclude their septic nature. In the presence of microorganisms in the punctate, the first stage is surgical sanitation with the antimicrobial spacer implantation, and after the relief of inflammation, confirmed by the data of repeated clinical and laboratory examination, TKA. In patients in the absence of clinical and laboratory signs of inflammation and negative results of microscopic and microbiological studies of the punctate, TKA is performed, during the surgery, five tissue biopsies are necessarily taken for their microbiological examination. To choose an endoprosthesis model during preoperative planning, standard clinical and X-ray examinations are not always sufficient to assess the ligaments condition and anatomical features of the articular surfaces of the femur and tibia. With positive tests of the "posterior drawer" or adduction/abduction of the lower leg, an MRI of the joint is necessary

and, based on the data obtained on the ligaments condition and the characteristics of the fracture, planning of the optimal constant degree of the endoprosthesis model proposed for implantation and the method of compensation for the existing bone defect.

In patients with properly consolidated fractures and preserved/nonpreserved ligaments, it is possible to plan TKA with endoprosthesis model that compensates the insufficiency of damaged ligaments (CR/PS/VVC/RHK) and with intraoperative tissue implant sampling. If the data of a standard X-ray examination is insufficient to determine the nature and degree of fracture consolidation, then CT is necessary to choose the optimal implant model, a method for bone mass deficiency compensating or additional manipulations during surgery. With an achievable stable fixation of the components of the endoprosthesis, TKA is planned after determining the method of compensation for the bone defect (bone grafting, metal blocks, bushings, cones, etc.). With an unattainable stable fixation, but with the possibility of reconstruction of the metaphysis, one-stage TKA and OS is planned. If it is impossible to

reconstruct the metaphysis and stable fixation, two-stage treatment is planned: the first stage is performed by OS, the second stage, at least 6 months later, is TKA.

The effectiveness of the proposed algorithm of pre- and intraoperative examination of patients and the scheme of antibiotic prophylaxis of infectious complications was evaluated in prospective groups of patients.

Treatment outcomes in prospective groups

Clinical and laboratory signs of active inflammation were absent in 18 patients of prospective group C (with a history of intra-articular fractures OS). Two patients had a slight increase in laboratory indicators of inflammation during hospitalization. In accordance with the current version of the protocol of preoperative examination, all patients in this group underwent a puncture of the knee joint. In 14 (70%) patients, laboratory (microscopic and microbiological) examination of the punctate did not reveal the presence of microorganisms or other laboratory signs of infectious inflammation, including in 2 patients with an increased number of leukocytes and CRP, which was the basis for performing TKA. In another 6 (30%) patients, it was not possible to obtain puncture material, and therefore an anesthetic solution was sent for examination, injected and then aspirated from the joint cavity.

MRI of the knee joint in accordance with the developed algorithm was performed in 11 (55%) patients of prospective group C. Its data influenced the results of preoperative planning in 8 (72.7%) patients: in 4 (50%) cases, the implantation of posterior stabilized construction was planned, in 2 (25%) — bone grafting as a way to compensate for the existing defect and implantation of posterior stabilized construction, in 2 (25%) cases, the use of metal modular block was included in the surgery plan as a way to compensate for the existing deep defect and implantation of varus/valgus-constrained and hinged models of the endoprosthesis. In 3 (27.3%) patients, MRI confirmed the correct consolidation of the femur or tibia fractures, the consistency of the ligaments and the possibility of implantation of a standard endoprosthesis with the preservation of PCL.

CT of the knee joint was performed in 14 (70%) patients of the prospective group C. The data obtained during the study influenced preoperative planning and surgical intervention in 9 (64.3%) patients: 4 (44.4%) patients were diagnosed

with non-union of the tibia metaepiphysis. In 3 (33.3%) cases, consolidation of the fracture with the impression of the lateral or medial condyle of the tibia and secondary failure of the collateral ligaments were observed. In 2 (22.2%) patients — consolidation of the fracture with the impression of one condyle of the tibia.

In all patients of prospective group C, 5 tissue samples were collected during surgery for microbiological examination. According to the results of microflora seeding, the presence of microorganisms in the joint was revealed in two (10%) patients (95% CI 1.1–26.5%). In both cases, in accordance with the scheme of antibiotic prophylaxis of infectious complications, the clinical pharmacologist prescribed etiotropic antibacterial therapy. The follow-up period of group C patients was 12 months, during which there was no infectious inflammation in the area of endoprosthesis.

Consequently, the previous OS requires intraoperative sampling of tissue biopsies even in the absence of clinical, anamnestic and laboratory signs of inflammation in the area of surgical intervention in patients. This tactic allows you to adjust antibiotic prophylaxis taking into account the sensitivity of microorganisms and prevent postoperative infectious complications. In the course of the study, there was no correlation between the results of microbiological examination of the punctate and tissue biopsies of the joint, which indicates that punctate seeding is an uninformative method of preoperative examination and it is advisable to perform it in patients with clinical or laboratory signs of inflammation during hospitalization or in anamnesis to choose the optimal treatment tactics.

The average range of motion in the knee joint before surgery in patients of group C was 89°, in group D — 104°. 12 months after the surgery, the range of motion in the knee joint in patients of group C was 108°, in group D — 110°, no statistically significant differences were found between the groups ($p > 0,05$). Nevertheless, TKA in patients with osteosynthesis of the distal femur or proximal tibia in the anamnesis, unlike patients without OS of intra-articular fractures of the knee joint, allowed to increase the amplitude of movements in the knee joint from 89° to 108°, that is, by 19° ($p = 0.000$).

TKA results after 3, 6 and 12 months. shown in Figure 2.

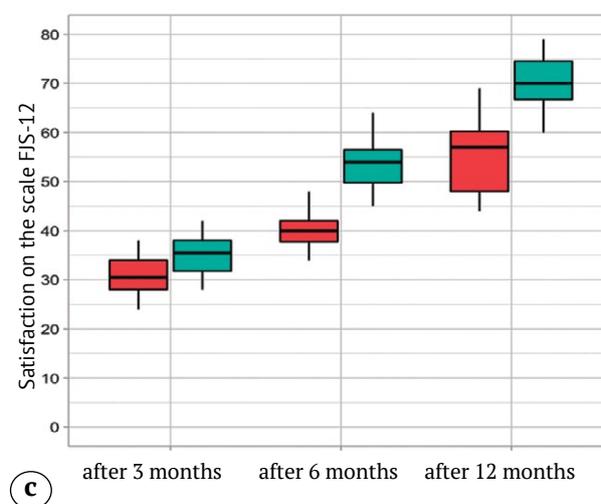
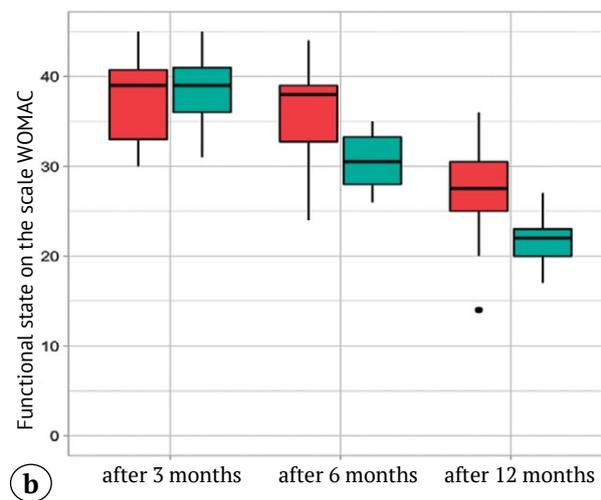
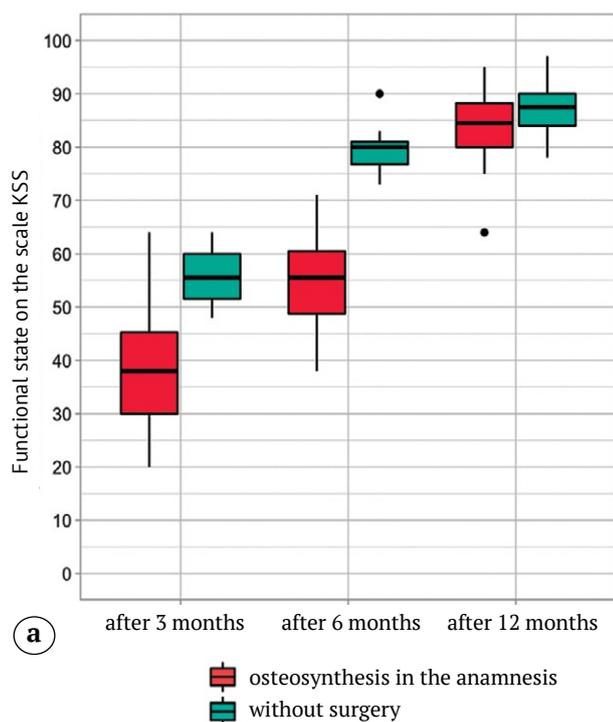


Fig. 2. Functional results of TKA in groups C and D:
 a – according to the KSS;
 b – according to the WOMAC;
 c – assessment of the patients satisfaction according to the FJS-12

Evaluation on the KSS and WOMAC scales showed that the presence of OS history slows down the dynamics of joint function recovery at 3 ($p = 0.001$; $p = 0.004$) and 6 months ($p = 0.001$; $p = 0.001$), and on the WOMAC scale - also 12 months after TKA ($p = 0.001$). The main reason for the worsening of functional results was stiffness in the operated joint. Statistically significant differences were also obtained at the terms of 3 ($p = 0.007$), 6 ($p = 0.001$) and 12 ($p = 0.001$) months on the FJS-12 scale: basically, the sensation of endoprosthesis bothered Group C patients for 12 months after surgery.

Discussion

In the literature, there are various, often opposing opinions about the influence of intra-articular fractures OS on the features of surgery, the frequency of complications and the functional results of primary TKA. According to a number of authors, in patients with OS of intra-articular fractures, rapid development and progression of arthrosis to the terminal stage requiring knee arthroplasty is

inevitable [2, 3, 4, 5]. Our study also showed that fracture and subsequent osteosynthesis accelerate the development of severe arthrosis, leading to the need for arthroplasty after an average of 6.3 years, and the average age of patients subjected to TKA is 8 years less in comparison with patients without a history of surgery. B.S. Kester et al., showed that the previous OS leads to an increase in the duration of TKA in on average for 26.7 minutes, creating technical problems during arthroplasty [14]. In our study, the duration of surgery in patients of retrospective group A was 29.0 minutes longer than in retrospective group B. The increase in the duration of arthroplasty is due to a significantly greater need to compensate for bone defects and the frequency of use of constrained endoprostheses, implantation of which provides additional manipulations on bones and paraarticular soft tissues.

Most authors indicate that osteosynthesis of intra-articular fractures in the anamnesis leads to a higher frequency of postoperative complications in primary TKA [12, 14, 15, 17, 18, 19, 20]. At the same time, the risk of intra- and postoperative complications after fractures of the proximal tibia is significantly higher in both situations - when performing arthroplasty after OS or according to primary indications in comparison with primary arthroplasty in idiopathic knee osteoarthritis [21, 22, 23, 24, 25]. In our study, with an average follow-up period of 38 months after TKA, a high incidence of complications in retrospective group A was also revealed (12% vs. 0%). Moreover, in 3 cases, the developed septic inflammation of the joint required repeated revision surgery. Two patients with combined contracture in the early postoperative period needed to intensify rehabilitation treatment. Another patient required a set of measures aimed at achieving healing of a postoperative skin wound due to the problems that had arisen. However, there are no convincing data in the literature concerning measures to prevent the development of complications after TKA in patients with a history of fractures. In our work, taking into account the statistically significant difference in the frequency of infectious complications in patients of retrospective group A, in accordance with the developed algorithm, all patients of prospective group C were intraoperatively taken tissue biopsies for microbiological examination, the endoprosthesis was implanted on cement containing an antibiotic. This measure made it possible to detect the growth of microorganisms in the joint cavity in 2 patients, to carry out preventive measures according to the developed scheme of antibiotic prophylaxis of infectious complications and to achieve an uncomplicated course of the postoperative period. These patients had no clinical and laboratory signs of inflammation, and there was no growth of microorganisms in the synovial fluid in preoperative seedings.

In the long-term period, according to some authors, osteosynthesis does not have a negative effect on the functional result of knee arthroplasty [13, 17]. The data of our study confirm this opinion. However, in the literature we have not found the study of function recovery dynamics in this cohort of patients in comparison with pa-

tients without a history of surgery. We evaluated the dynamics of knee joint function recovery and patient satisfaction with the results of TKA at the terms of 3, 6 and 12 months. and it was found that in patients underwent osteosynthesis of intra-articular fractures slows down the restoration of knee joint function at 3 and 6 months on the KSS scale, and on the WOMAC scale — also 12 months after surgery. Consequently, in this cohort of patients, it is necessary to intensify rehabilitation treatment in the early postoperative period, especially if by 4 weeks after TKA the range of motion of the knee joint is less than 90° or there is a deficit of complete extension of the knee joint. There were also differences on the FJS-12 scale at all periods after surgery. Consequently, patients with a history of osteosynthesis are less satisfied with the results of TKA due to continuing restrictions in everyday life, work and sports.

Conclusions

The previous trauma and the subsequent surgical treatment of intra-articular fractures of the knee joint lead to an earlier development of post-traumatic arthrosis of the 3rd stage and the need for TKA. Functional medium-term results of arthroplasty have no statistically significant differences, satisfaction with the results of TKA in this category of patients is less in the OS group, and the number of postoperative complications is greater. OS in the anamnesis statistically significantly slows down the dynamics and degree of recovery of knee joint function in the early postoperative period.

Informed consent

The patients gave their voluntary written informed consent to participate in the study and publish its results.

References

1. Zubritsky V.F., Kozlov Yu.A. [Infectious complications during large joint replacement]. *Vestnik Natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo Tsentra im. N.I. Pirogova* [Bulletin of Pirogov National Medical Surgical Center]. 2012;7(1):89-103.
2. Belen'kii I.G., Kochish A.Yu., Kislitsyn M.A. [Fractures of the tibial condyles: current treatment methods and surgical approaches (literature review)]. *Genij Ortopedii*. 2016;4:114-122. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2016-4-114-122.

3. Kochish A. Yu., Belen'kii I.G., Sergeev B.A., Maiorov B.A. [Anatomical and clinical rationale for minimally invasive placement of an additional medial plate for extramedullary osteosynthesis in patients with fractures of the distal femur]. *Genij Ortopedii*. 2020;26(3):306-312. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-306-312
4. Larsen P., Court-Brown C.M., Vedel J.O., Vistrup S., Elsoe R. Incidence and Epidemiology of Patellar Fractures. *Orthopedics*. 2016;39(6):e1154-e1158. doi: 10.3928/01477447-20160811-01.
5. Lunebourg A., Parratte S., Gay A., Ollivier M., Garcia-Parra K., Argenson J.N. Lower function, quality of life, and survival rate after total knee arthroplasty for posttraumatic arthritis than for primary arthritis. *Acta Orthop*. 2015;86(2):189-194. doi: 10.3109/17453674.2014.979723.
6. Schenker M.L., Mauck R.L., Ahn J., Mehta S. Pathogenesis and prevention of posttraumatic osteoarthritis after intra-articular fracture. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(1):20-28. doi: 10.5435/JAAOS-22-01-20.
7. Wang X.S., Zhou Y.X., Shao H.Y., Yang D.J., Huang Y., Duan F.F. Total Knee Arthroplasty in Patients with Prior Femoral and Tibial Fractures: Outcomes and Risk Factors for Surgical Site Complications and Reoperations. *Orthop Surg*. 2020;12(1):210-217. doi: 10.1111/os.12610.
8. Kornah B.A., Safwat H.M., Abdel-Hameed S.K., Abdel-Aal M., Abdelaziz M., Abuelesoud M.I. et al. Managing of post-traumatic knee arthritis by total knee arthroplasty: case series of 15 patients and literature review. *J Orthop Surg Res*. 2019;14(1):168. doi: 10.1186/s13018-019-1180-3.
9. Marczak D., Synder M., Sibiński M., Okoń T., Kowalczewski J. One-stage total knee arthroplasty with pre-existing fracture deformity: post-fracture total knee arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2014;29(11):2104-2108. doi: 10.1016/j.arth.2014.07.007.
10. Kulyaba, T.A., Kornilov N.N., Tikhilov R.M. (ed). [Guide to Primary Knee Arthroplasty]. Saint Petersburg; 2021. Ch. 9. p. 225-275. (In Russian).
11. Brockman B.S., Maupin J.J., Thompson S.F., Hollabaugh K.M., Thakral R. Complication Rates in Total Knee Arthroplasty Performed for Osteoarthritis and Post-Traumatic Arthritis: A Comparison Study. *J Arthroplasty*. 2020;35(2):371-374. doi: 10.1016/j.arth.2019.09.022.
12. Phruetthiphath O.A., Zampogna B., Vasta S., Tassanawipas B., Gao Y., Callaghan J.J. TKR after post-traumatic and primary knee osteoarthritis: a comparative study. *J Orthop Surg Res*. 2021;16(1):173. doi: 10.1186/s13018-021-02322-8.
13. Lizaaur-Utrilla A., Collados-Maestre I., Miralles-Muñoz F.A., Lopez-Prats F.A. Total Knee Arthroplasty for Osteoarthritis Secondary to Fracture of the Tibial Plateau. A Prospective Matched Cohort Study. *J Arthroplasty*. 2015;30(8):1328-1332. doi: 10.1016/j.arth.2015.02.032.
14. Kester B.S., Minhas S.V., Vigdorichik J.M., Schwarzkopf R. Total Knee Arthroplasty for Posttraumatic Osteoarthritis: Is it Time for a New Classification? *J Arthroplasty*. 2016;31(8):1649-1653.e1. doi: 10.1016/j.arth.2016.02.001.
15. Bala A., Penrose C.T., Seyler T.M., Mather R.C. 3rd, Wellman S.S., Bolognesi M.P. Outcomes after Total Knee Arthroplasty for post-traumatic arthritis. *Knee*. 2015;22(6):630-639. doi: 10.1016/j.knee.2015.10.004.
16. Irzhanski A.A., Kulyaba T.A., Kornilov N.N. [Validation and Cross-Cultural Adaptation of Rating Systems Womac, KSS and FJS-12 in Patients with Knee Disorders and Injuries]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(2):70-79. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-70-79.
17. Malyshev E.E., Pavlov D.V., Gorbatov R.O. [Total knee arthroplasty after proximal tibia fracture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2016;(1):65-73. (In Russian).
18. Best M.J., Amin R.M., Raad M., Kreulen R.T., Musharbash F., Valaik D. et al. Total Knee Arthroplasty after Anterior Cruciate Ligament Reconstruction. *J Knee Surg*. 2020;Nov 26. doi: 10.1055/s-0040-1721423.
19. Weiss N.G., Parvizi J., Trousdale R.T., Bryce R.D., Lewallen D.G. Total knee arthroplasty in patients with a prior fracture of the tibial plateau. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(2):218-221. doi: 10.2106/00004623-200302000-00006.
20. Scott C.E., Davidson E., MacDonald D.J., White T.O., Keating J.F. Total knee arthroplasty following tibial plateau fracture: a matched cohort study. *Bone Joint J*. 2015;97-B(4):532-538. doi: 10.1302/0301-620X.97B4.34789.
21. Saleh H., Yu S., Vigdorichik J., Schwarzkopf R. Total knee arthroplasty for treatment of post-traumatic arthritis: Systematic review. *World J Orthop*. 2016;7(9):584-591. doi: 10.5312/wjo.v7.i9.584.
22. Liu Y., Zhao X.D., Zou C. Lingering risk: A meta-analysis of outcomes following primary total knee arthroplasty for patients with post-traumatic arthritis. *Int J Surg*. 2020; 77:163-172. doi: 10.1016/j.ijssu.2020.03.053.
23. Brockman B.S., Maupin J.J., Thompson S.F., Hollabaugh K.M., Thakral R. Complication Rates in Total Knee Arthroplasty Performed for Osteoarthritis and Post-Traumatic Arthritis: A Comparison Study. *J Arthroplasty*. 2020;35(2):371-374. doi: 10.1016/j.arth.2019.09.022.
24. Houdek M.T., Watts C.D., Shannon S.F., Wagner E.R., Sems S.A., Sierra R.J. Posttraumatic Total Knee Arthroplasty Continues to Have Worse Outcome Than Total Knee Arthroplasty for Osteoarthritis. *J Arthroplasty*. 2016;31(1):118-123. doi: 10.1016/j.arth.2015.07.022.
25. Mehin R., O'Brien P., Broekhuysen H., Blachut P., Guy P. Endstage arthritis following tibia plateau fractures: average 10-year follow-up. *Can J Surg*. 2012;55(2):87-94. doi: 10.1503/cjs.003111.
26. Sereda A.P., Gritsyuk A.A., Zelenyak K.B., Serebryakov A.B. [Risk factors for infectious complications after knee replacement]. *Infektsii v khirurgii* [Infections in Surgery]. 2010;8(4):67-76. (In Russian).

AUTHORS' INFORMATION:

Magomed Sh. Rasulov — Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: magomed93r@yandex.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3392-1853>

Taras A. Kulyaba — Dr. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: taraskuliaba@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0003-3175-4756>

Nikolai N. Kornilov — Dr. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics; Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia
e-mail: drkornilov@hotmail.com
<http://orcid.org/0000-0001-6905-7900>

Alexander V. Saraev — Cand. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: saraefff@mail.ru
<http://orcid.org/0000-0002-6330>

Aleksey I. Petukhov — Cand. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: drpetukhov@mail.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-2403-6521>

Sergey A. Bantser — Cand. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: serg249_spb@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-7291-7032>

Irina S. Petlenko — Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia
e-mail: petlenko1995@yandex.ru;
<https://orcid.org/0000-0002-3600-3583>

Authors' contribution:

All authors have made an equivalent contribution to the preparation of the publication.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to be responsible for all aspects of the study in order to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the study.

Conflict of interest:

The authors declare that there is no conflict of interest.

Original Article

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1653>

Mid-Term Results of Total Hip Arthroplasty for Femoral Neck Nonunions in Long-Term Hemodialysis Patients

Alexander N. Tsed, Nikita E. Mushtin, Alexander K. Dulaev, Anton V. Schmeljew

Pavlov First Saint Petersburg State Medical University, Department of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Background: Performing primary arthroplasty in patient with renal osteodystrophy is associated with a number of difficulties due to low bone mineral density, which complicates the fixation of the endoprosthesis components, the presence of bone defects, and functional insufficiency of the gluteal muscles. **The aim of the study** — evaluation of the mid-term results of primary total hip arthroplasty using cemented femoral and acetabular implants in hemodialysis patients with nonunions of the femoral neck.

Methods: The authors conducted a study of 26 hemodialysis patients with pseudarthrosis of the femoral neck. The patients were divided into 3 groups: group I (12 patients) — classification type A of the femoral neck nonunion, group II (10 patients) — classification type B, group III (4 patients) — of type C who underwent total hip arthroplasty.

Results: The longest surgery duration was observed in patients of the III study group — 121.25±19.26 minutes. There were no statistically significant differences between the patients of the II and III study groups. The smallest rate of intraoperative blood loss was noted among patients of the 1st study group — 440.83±133.65 ml, the statistical significance of the differences was obtained both between the 1st and II, and between the I and III study groups, respectively. The smallest total number of complications after surgery was obtained in the 1st group — 4 (8.33%). Revisions were performed in 8 (30.7%) patients among all three groups. There was a significant improvement on the Oxford hip score after 12 months (mean 29.8) and 24 months (mean 33.1) in all groups compared with preoperative results (mean 12.5). Twelve months after surgery, the average value of the pain severity was reduced by 72.6% and amounted to 2.01. The risk of getting any orthopedic complication in cemented total hip arthroplasty of the classification type A of the pseudarthrosis is 2.5, with type B — 3.4, with type C — 5.7.

Conclusions: The classification of femoral neck nonunions in hemodialysis patients allows to determine the tactics of surgical treatment. Cemented dual mobility cups are effective in patients with any type of femoral neck nonunions.

Keywords: femoral neck nonunions, cemented total hip arthroplasty, chronic hemodialysis, renal osteodystrophy.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

 **Cite as:** Tsed A.N., Mushtin N.E., Dulaev A.K., Schmeljew A.V. [Mid-Term Results of Total Hip Arthroplasty for Femoral Neck Nonunions in Long-Term Hemodialysis Patients]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):21-30. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1653>.

 *Nikita E. Mushtin*; mushtin.nikita@yandex.ru
Submitted: 16.07.2021. Accepted: 25.10.2021. Published Online: 12.11.2021.



Среднесрочные результаты тотального эндопротезирования у пациентов с псевдоартрозом шейки бедренной кости, находящихся на хроническом гемодиализе

А.Н. Цед, Н.Е. Муштин, А.К. Дулаев, А.В. Шмелев

ФГБОУ ВО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова»
Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Выполнение первичной артропластики на фоне ренальной остеодистрофии сопряжено с рядом трудностей, обусловленных низкой минеральной плотностью костной ткани, что усложняет фиксацию компонентов эндопротеза, наличием костных дефектов, а также функциональной недостаточностью ягодичных мышц. **Цель исследования** — оценка среднесрочных результатов первичного эндопротезирования тазобедренного сустава с применением цементных бедренных и ацетабулярных компонентов у пациентов с ложными суставами шейки бедренной кости (ШБК), находящихся на гемодиализе. **Материал и методы.** Проведено исследование 26 пациентов гемодиализного профиля с ложными суставами ШБК. Пациенты были распределены на 3 группы: группа I (12 человек) — тип А псевдоартроза ШБК по классификации авторов, группа II (10 человек) — тип В, группа III (4 больных) — тип С, которым было выполнено тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава. **Результаты.** Наибольшая длительность операции отмечена у больных III группы исследования — $121,25 \pm 19,26$ мин. Между пациентами II и III групп статистически значимых отличий не обнаружено. Наименьший показатель интраоперационной кровопотери отмечен среди больных I группы исследования — $440,83 \pm 133,65$ мл, статистическая значимость отличий получена как между I и II, так и между I и III группами исследования. Наименьшее общее число осложнений после операции получено в I группе — 4 (8,33%). Ревизионные вмешательства были выполнены у 8 (30,7%) пациентов всех трех групп. Отмечено значимое улучшение функциональных показателей по шкале Oxford Hip Score через 12 мес. (среднее значение 29,8) и 24 мес. (среднее значение 33,1) во всех группах в сравнении с предоперационными результатами (среднее значение 12,5). Через 12 мес. после операции среднее значение выраженности боли было снижено на 72,6% и составляло 2,01. Риск развития любого ортопедического осложнения при тотальном цементном эндопротезировании у пациентов с ложным суставом ШБК типа А составляет 2,5; при типе В — 3,4; при типе С — 5,7. **Заключение.** Предложенная рабочая классификация псевдоартрозов ШБК у пациентов, находящихся на хроническом гемодиализе, позволяет определять тактику хирургического лечения. Цементные ацетабулярные компоненты двойной мобильности эффективны при первичном эндопротезировании тазобедренного сустава при всех типах псевдоартроза ШБК.

Ключевые слова: ложный сустав шейки бедренной кости, тотальное цементное эндопротезирование тазобедренного сустава, хронический гемодиализ, ренальная остеодистрофия.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Цед А.Н., Муштин Н.Е., Дулаев А.К., Шмелев А.В. Среднесрочные результаты тотального эндопротезирования у пациентов с псевдоартрозом шейки бедренной кости, находящихся на хроническом гемодиализе. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):21-30. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1653>.

Муштин Никита Евгеньевич; mushtin.nikita@yandex.ru

Рукопись получена: 16.07.2021. Рукопись одобрена: 25.10.2021. Статья опубликована онлайн: 12.11.2021.

Background

The annual increase in the frequency of intra-articular fractures of the proximal femur is a global problem of modern traumatology. The issues of high mortality remain relevant (14-40%) [1, 2, 3, 4], general somatic complications (bedsores, pneumonia, thrombosis, cardiovascular, etc.) (9-25%) [5, 6, 7] and orthopedic complications, among which the most common are non-unions of the femoral neck [8, 9]. In general population, the risks of various complications and an unsatisfactory outcome of treatment proximal femur fractures have a direct correlation with age. In the population of patients with end-stage chronic kidney disease (CKD) and in need of renal replacement therapy (RRT), the frequency of both general somatic and orthopedic complications is significantly higher and has no relation to age and gender [10, 11].

Against the background of violations of calcium-phosphorus metabolism and the processes of remodeling of bone tissue and its mineralization, the problem arises not only of restoring the integrity of the bone, but also the strength of fixation of various metal implants. In addition, when performing various types of osteosynthesis for a pathological fracture of the femoral neck in young patients undergoing chronic hemodialysis develop infectious complications, which significantly complicates further treatment [12]. The most common pathogens of infectious complications of surgical intervention site in patients receiving chronic hemodialysis are *Staphylococcus aureus* and *Streptococcus epidermis*, spreading hematogenously through the arteriovenous fistula [13]. In case of detection of a deep infection of the area of the hip joint after surgical treatment, hip arthroplasty is performed in two stages [14].

Total hip replacement is the method of choice for patients with terminal CKD, not only in cases of the development of femur neck non-union, but also with fresh intracapsular fractures of the proximal femur, regardless of age. However, performing primary arthroplasty against the background of renal osteodystrophy is associated with a number of difficulties due to low bone mineral density, which complicates the fixation of the endoprosthesis components, the presence of bone defects of both the acetabulum and the femur [15], as well as functional insufficiency of the gluteal muscles, which is reflected in the high frequency of the endoprosthesis dislocations [16].

The aim of the study was to evaluate the medium-term results of primary hip replacement with the use of cement femoral and acetabular components in patients with femoral neck non-union undergoing hemodialysis.

Methods

Design

A retrospective single-center randomized study of 26 patients with hemodialysis profile with femoral neck non-union treated at the Clinic of Traumatology and Orthopedics of the First St. Petersburg State Medical University named after Academician I.P. Pavlov" from 2017 to 2020

Criteria for inclusion in the study:

- femoral neck non-union (fracture at least 12 months);
- presence of stage 5 CKD (chronic hemodialysis for at least 3 years);
- cement acetabular and femoral components of hip endoprosthesis intended for primary arthroplasty;
- the presence of bone defects of the acetabulum and proximal femur, including those requiring bone grafting.

Exclusion criteria:

- follow-up period less than 12 months after surgery;
- absence of laboratory indicators of any degree of renal osteodystrophy (an increase in parathyroid hormone more than 300 pg/mg, a decrease in serum level of 1.25 OH-D3 less than 40 ng/ml, an increase in the bone fraction of alkaline phosphatase more than 100 IU/l);
- absence of histological confirmation of renal osteodystrophy (from a biopsy of the femoral head).

The study involved 15 (57.7%) women and 11 (42.3%) men, their average age was 59.2 years (min – 36, max – 80). The average follow-up period for patients was 27.3 months (95% CI: 23-31 months). The main characteristics of the clinical material are presented in Table 1.

Classification

To date, there is no generally accepted classification of femoral neck non-union, which would allow predicting the outcome of hip replacement depending on the radiological and functional changes of the hip joint. In this regard, we have proposed 3 classification types of femoral neck non-union for an objective assessment of the results of the performed operations (Fig. 1):

Type A – shortening of the lower limb (no more than 2 cm); absence of additional local signs of osteoporosis (the value of the Barnet – Nordin morphocortical index is more than 0.4 units); absence of functional insufficiency of the gluteal muscles (the patient's ability to perform active movements in the hip joint); absence of osteolysis of the femoral head.

Type B – shortening of the lower limb more than 2 cm; signs of local osteoporosis (Barnet-Nordin in-

dex < 0.4 units); functional insufficiency of the gluteal muscles (lack of active movements in the hip joint); osteolysis of the femoral head.

Type C is femoral neck non-union, complicated by the presence of a previously implanted hardware, which led to infection of the hip joint and/or the development of a defect of the acetabulum or proximal femur as a result of its migration.

To diagnose hip infection in a patient with previously implanted hardware, we recommend following the algorithm accepted at the Second Second International Consensus Meeting on Periprosthetic infection in 2018 [17]. In addition to laboratory parameters, it is necessary to perform a puncture of the replaced joint with a cytological examination of the fluid and seeding to determine the sensitivity spectrum of antibiotics. Surgical tactics in the diagnosis of deep PJI against the background of femoral neck non-

union in patients undergoing chronic hemodialysis involves two-stage treatment.

In accordance with our proposed classification of femoral neck non-union, patients were divided into 3 groups: group I – 12 (46.1%) patients – classification type A of femoral neck non-union, group II – 10 (38.4%) patients – type B, group III – 4 (15.5%) patients – type C. Hip replacement in all cases, it was performed by one surgical team using Harding's approach under spinal-epidural anesthesia.

Figure 2 shows the distribution of cement components of hip endoprosthesis in the studied groups of patients. Among the patients of groups I and III, the implanted components were distributed approximately equally. Group II patients were significantly more likely to have low-profile cement acetabular components and femoral components of the Müller type.

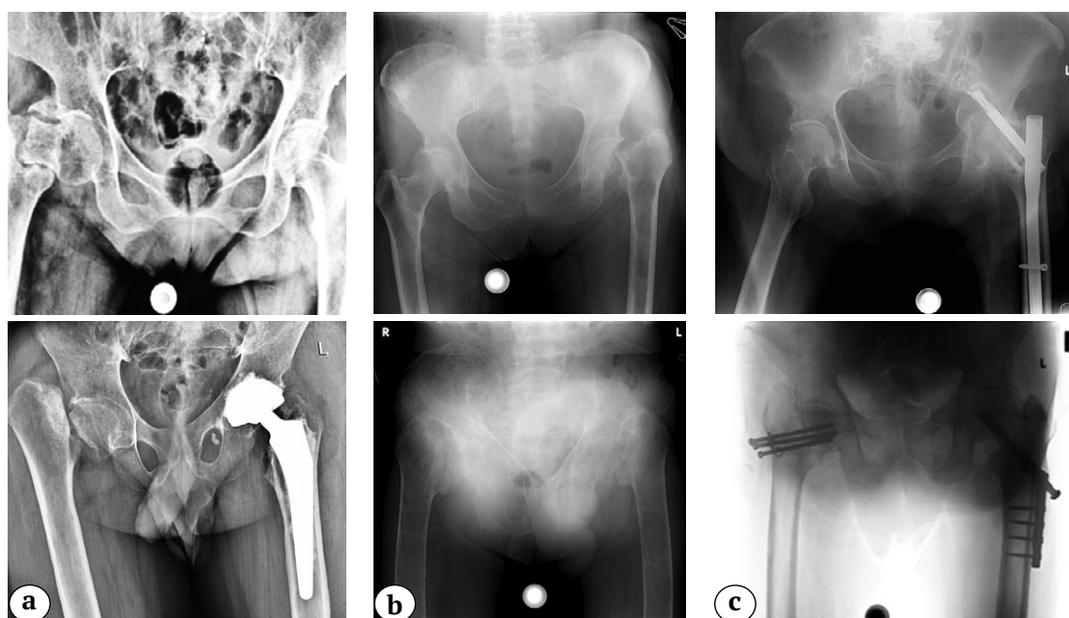


Fig. 1. Types of the femoral neck false joints according to the authors' classification: a – type A; b – type B; c – type C (explanation in the text)

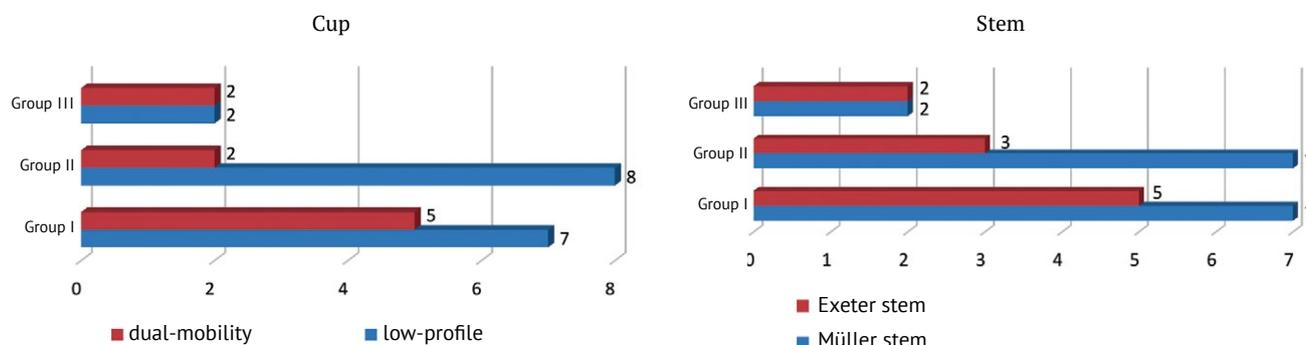


Fig. 2. Distribution of cemented components by groups

Outcome assessment

Functional results were evaluated on the 48-point Oxford Hip Score (OHS) scale 12 and 24 months after total cemented hip arthroplasty and compared with preoperative baseline data. The severity of pain was assessed on a 10-point visual analog scale (VAS) after 12 months.

Statistical analysis

The normality of the quantitative indicators distribution was carried out on the basis of the Shapiro-Wilk criterion. With an abnormal distribution, logarithm was performed. The significance of the differences in the quantitative indicators of the duration of surgery and the amount of blood loss was assessed using a single-factor analysis of variance using the ANOVA module. In identifying the statistical difference, an additional analysis was carried out by pairwise comparison of aggregates using the a posteriori Tukey criterion. During the statistical analysis of qualitative parameters in the structure of complications and the frequency of revision interventions, the exact Fisher criterion for small samples was used. Statistical processing of the obtained data was performed using the IBM SPSS v.20 program.

Results

The average age of the primary fracture was 13.5 (SD = 2.02) months. This value is identical to the timing of the primary complex hip replacement in these patients. The average follow-up period for patients of all study groups was 27.3 (SD = 3.64) months.

Table 2 shows the results of perioperative indicators and the overall frequency of complications and revision interventions in the study groups. The longest duration of total cemented arthroplasty was observed in group III patients (type C of femoral neck non-union) – 121.25±19.26 min. Such results are associated with the need for one-stage removal of metal structures previously implanted due to the femoral neck fracture. However, when comparing the duration of surgery between patients of groups II and III, no statistically significant differences were found. When assessing intraoperative blood loss, the lowest indicator was found in patients of group I of the study – 440.83± 133.65 ml, and the statistical significance of the differences was obtained both between groups I and II, and between groups I and III of the study. The lowest total number of complications after total cemented arthroplasty was obtained in group I (type A non-union) – 4 (8.33%).

In the structure of orthopedic complications, postoperative hematomas were most common (30.7% in all study groups), which, on the one hand, is associated with a violation of the hemostasis system in hemodialysis patients, and on the other hand, explains the high frequency of infectious complications (23.07% among all patients). Statistically, deep PJI was significantly more common among patients after hip arthroplasty for femoral neck non-union classification types B and C (Table 3). The same results were obtained for other orthopedic complications, such as periprosthetic fractures, dislocations, osteolysis around the cement mantle of the implants. The frequency of intraoperative bleeding in patients of all groups did

Table 1

Main characteristics of the clinical material

Parameter	Quantity	
	total	%
Gender:		
male	11	42,3
female.	15	57,7
Affected side:		
right lower extremity	12	46,1
left lower extremity	14	53,9
Acetabular component:		
cement standard (low profile)	17	65,4
cement double mobility	9	34,6
Femoral component:		
cement standard (Müller type)	16	61,5
cement standard (Exeter type)	10	38,5

Table 2

The main perioperative indicators and the overall frequency of complications

Parameter	Type A (n = 12)	Type B (n = 10)	Type C (n = 4)	p
Surgery duration, min.	99,58±14,11	109,5±13,56	121,25±19,26	pI-II = 0,15085 pI-III = 0,02394* pII-III = 0,64492
Intraoperative blood loss, ml	440,83±133,65	654,03±141,59	750±158,11	pI-II = 0,01400* pI-III = 0,00038* pII-III = 0,32305
Number of revisions, n	1 (8,33%)	5 (50,00%)	2 (50,00%)	
Complications, n	4 (33,32%)	8 (80,00%)	3 (75,00%)	pI-II = 0,043* pI-III = 0,26 pII-III = 1,01

* The value is statically significant.

Table 3

The structure of orthopedic complications in the groups

Complication type	Type A n (%)	Type B n (%)	Type C n (%)	Total n (%)
Bleeding	0 (0)	2 (20)	0 (0)	2 (7,69)
Periprosthetic fracture	0 (0)	3 (30)	2 (50)	5 (19,2)
Endoprosthesis dislocation	0 (0)	4 (40)	0 (0)	4 (15,3)
Osteolysis	1 (8,3)	3 (30)	0 (0)	4 (15,3)
Stress-shielding syndrome	1 (8,3)	3 (30)	1 (25)	5 (19,2)
Postoperative hematoma	1 (8,3)	6 (60)	1 (25)	8 (30,7)
Deep PJI	1 (8,3)	3 (30)	2 (50)	6 (23,07)

not exceed 10%, which is due to the use of an original blood-saving algorithm for patients on chronic hemodialysis, involving the sequential administration of erythropoietin, conjugated estrogens and desmopressin, as well as mandatory transfusion of two doses of erythrocyte mass to increase the hematocrit above 30 mmol/l [18].

In a detailed analysis of orthopedic complications in the study groups, we established the relative risk of complications with a ratio of chances (RC) depending on the type of femoral neck non-union. The risk of developing any orthopedic complication with total cement hip replacement of the classification type A of the non-union is 2.5 (CI 95%: 0.6797-9.6078; p = 0.1649), OR – 3.33 (CI 95%: 0.605-18.371; p = 0.1232); with type B – 3.4 (CI 95%: 1.0524-11.0321; p = 0.0408), OR – 5.33 (95% CI: 1.156-24.559; p = 0.0125); with type C – 5.7 (95% CI: 1.7365-19.0401; p = 0.0042), OR – 6.6 (95% CI: 0.895-49.676; p = 0.0118).

During the study period, revision interventions were performed in 8 (30.7%) patients of all three groups. At the same time, in group I, i.e. among patients with the most favorable clinical picture of femoral neck non-union, revision arthroplasty was performed only in one patient, and the largest number of revisions were performed in patients of group II.

Single-stage revision hip replacement was performed in only two patients (7.69%) (osteolysis of the femoral component of the endoprosthesis), and both had classification type B of femoral neck non-union. In 8 (30.7%) patients, revisions were performed in 2 stages due to the development of infection in the surgical intervention site. Moreover, these patients had intraoperative periprosthetic fractures (3 patients – 11.5%), as well as one recurrent dislocation of the endoprosthesis head (3.8%). Of the 8 patients, three (11.5%) had the classification type B of femoral neck non-union, 2 (7.6%) – type C, and only one (3.8%) patient who un-

derwent revision hip arthroplasty had the classification type A of femoral neck non-union. Thus, our assumption about an increase in the risks of complications during primary hip arthroplasty due to femoral neck non-union associated with the classification type of non-union is justified.

Functional results were evaluated on a 48-point OHS scale 12 and 24 months after total cemented arthroplasty and compared with preoperative baseline data. Patients showed statistically significant improvement in

functional parameters after 12 months (mean value of 29.8 SD = 3.3 points) and 24 months (mean value of 33.1 SD = 2.5 points) in all groups compared with preoperative results (mean value of 12.5 SD = 0.6 points) (Fig. 3).

Along with functional indicators, the results of assessing the severity of pain on a 10-point VAS scale were analyzed. The average score before surgery was 7.35 (SD = 0.1). 12 months after total cemented arthroplasty, the average pain score decreased by 72.6% and was 2.01 (SD = 0.74) points.

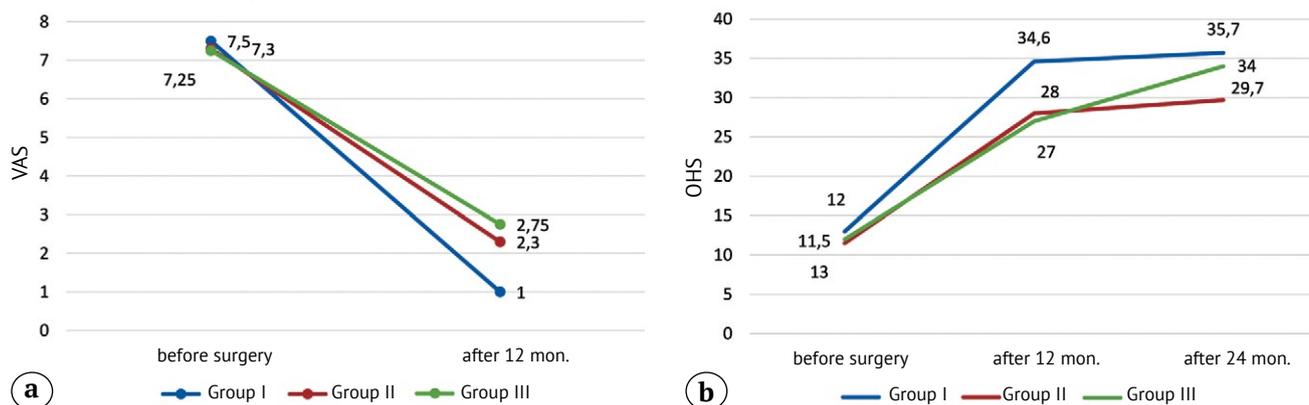


Fig. 3. Preoperative and postoperative results assessment in the study groups: a — pain severity according to VAS; b — functional results according to OHS

Discussion

The results obtained by us are quite difficult to interpret due to the small number of domestic and foreign publications on this narrowly focused topic. Nevertheless, if we talk about the occurrence of femoral neck non-union, then, according to G.P. Slobogean et al, this indicator is only 9.3% among young and middle-aged patients (up to 60 years old) [19], while among elderly and senile people (over 60 years old) this indicator increases 10 times and amounts to 92.6% [20]. In the presence of a patient with severe concomitant pathology, such as rheumatoid arthritis or end-stage CKD, which decreases the quality of bone tissue, the incidence of non-union is 28%, regardless of age [21].

The number of unsatisfactory outcomes after various variants of osteosynthesis of intraarticular fractures in patients undergoing chronic hemodialysis is 66.7%, which is significantly more than in patients with the usual population [22]. However, the main cause of the development of femoral neck non-union in patients with end-stage CKD is conservative treatment of intracapsular fractures of femoral neck [23].

In this regard, further treatment of the consequences of these fractures is a difficult task for orthopedic surgeons and requires not only expensive implants, including for the replacement of bone defects, but also special tools, equipment and the presence of bone bank.

It should be noted that the development of femoral neck non-union aggravates the manifestation of local osteoporosis as a result of a prolonged lack of weight-bearing of the lower limb according to Wolf's law. In the study of A.N. Reshetnikov et al, data of densitometry of 34 patients with a diagnosis of "femoral neck non-union" in the preoperative period are presented [24]. In 100% of patients, a decrease in bone mineral density was diagnosed. The authors also point to an increase in bone mineral density a year after total hip replacement, without specifying at the same time what type of implant was applied. In our study, the number of satisfactory outcomes after total hip cemented arthroplasty with non-union in patients with hemodialysis profile was 69.3% in all study groups, which is an acceptable result for this category of patients.

Double mobility cement cups have significant advantages over standard acetabular components in patients with the consequences of fractures. H. Favreau et al, published the results of the use of double mobility cement cups in arthroplasty in 40 patients with the consequences of fractures of the trochanter region with an average follow-up period of 54 months. The authors note the absence of dislocations of the endoprosthesis for the specified period of time [25]. In our study, the use of acetabular components of double mobility also did not lead to postoperative dislocations of the endoprosthesis, regardless of the classification type of femoral neck non-union, while the use of standard cement cups led to 15.3% of dislocations.

The frequency of revision interventions after total hip arthroplasty in patients undergoing renal replacement therapy varies from 5% to 40%, but these indicators are significantly higher compared to patients in the general population [26]. In our study, the total revision rate was 30.7%, while in 26.9% of cases revision arthroplasty was performed after obviously complex cases of primary arthroplasty (types B and C of non-union, implying pronounced retraction of the femur, osteolysis of the femoral head, low indicators of the morphocortical Barnett index – Nordina or the presence of metal implants that led to the formation of a bone defect). The main reason for revision hip replacement in the study was deep PJI (6 cases – 23.07%), which fully corresponds to the global data on infectious complications after total arthroplasty in patients with end-stage CKD [12].

Conclusions

The proposed working classification of femoral neck non-union in patients undergoing chronic hemodialysis allows determining the tactics of surgical treatment. Cement acetabular components of double mobility are effective in primary hip replacement in all types of femoral neck non-union.

Informed consent

The patients gave their voluntary written informed consent to participate in the study and publish its results.

References

1. Ershova O.B., Belova K.Yu., Degtyarev A.A., Ganert O.A., Romanova M.A., Sinitsina O.S. et al. [Analysis of mortality in patients with a fracture of the proximal femur]. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Bone Diseases]. 2015;18(3):3-8. (In Russian). doi: 10.14341/osteo201533-8.
2. Gladkova E.N., Khodyrev V.N., Lesnyak O.M. [Analysis of the state of medical care and outcomes in patients with a fracture of the proximal femur (population study data)]. *Osteoporoz i osteopatii* [Osteoporosis and Bone Diseases]. 2011;14(3):7-10. (In Russian). doi: 10.14341/osteo201137-10.
3. Raskina T.A., Averkieva Yu.V. [Sociomedical sequels and quality of life in patients of old age group with proximal femoral fractures]. *Sovremennaya revmatologiya* [Modern Rheumatology Journal]. 2014;8(3):51-55. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2014-3-51-55.
4. Klop C., Welsing P.M., Cooper C., Harvey N.C., Elders P.J., Bijlsma J.W. et al. Mortality in British hip fracture patients, 2000-2010: a population-based retrospective cohort study. *Bone*. 2014;66:171-177. doi: 10.1016/j.bone.2014.06.011.
5. Ezugbaia B.S., Sholin I.Yu., Avetisian V.A., Koriachkin V.A., Dzhopua M.A., Pleten M.P. et al. [Prediction of perioperative cardiac complications in patients with proximal femoral fracture]. *Innovatsionnaya meditsina Kubani* [Innovative Medicine of Kuban]. 2020;(3):6-11. (In Russian). doi: 10.35401/2500-0268-2020-19-3-6-11.
6. Devereaux P.J., Biccand B.M., Sigamani A., Xavier D., Chan M.T.V., Srinathan S.K. et al. Association of Postoperative High-Sensitivity Troponin Levels With Myocardial Injury and 30-Day Mortality Among Patients Undergoing Noncardiac Surgery. *JAMA*. 2017;317(16):1642-1651. doi: 10.1001/jama.2017.4360.
7. Vlisides P., Mashour G.A. Perioperative stroke. *Can J Anaesth*. 2016;63(2):193-204. doi: 10.1007/s12630-015-0494-9.
8. Markov D. A., Zvereva K.P., Belonogov V.N. [Total hip replacement in patients with false joint of the femoral neck]. *Politrazma* [Polytrauma]. 2019;(4):29-35. (In Russian).
9. Nikhil V., Singh M.P., Rehan U., Aditya N., Anuj J. Malunion in displaced intracapsular fracture of femoral neck: A rare case. *Chin J Traumatol*. 2015;18(5):307-310. doi: 10.1016/j.cjtee.2015.05.003.
10. Tsed A.N., Dulaev A.K., Mushtin N.E., Iliushchenko K.G., Shmelev A.V. [Mid-Term Outcomes of Primary Hip Replacement in Patients with End-Stage Chronic Renal Disease]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(2):44-54. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-44-54. (In Russian).
11. Murylev V.Yu., Tsygin N.A., Shutov E.V., Zhuchkov A.G., Rukin Ya.A. [Total Hip and Knee Arthroplasty in Patients with Chronic Kidney Disease (review)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and orthopedics of russia]. 2018;24(2):38-145. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-138-145.
12. Erkocak O., Yoo J., Restrepo C., Maltenfort M., Parvizi J. Incidence of Infection and Inhospital Mortality in Patients With Chronic Renal Failure After Total Joint Arthroplasty. *J Arthroplasty*. 2016;31(11):2437-2441. doi: 10.1016/j.arth.2016.04.031.

13. Mushkin M.A., Dulaev A.K., Tsed A.N. [Peculiarities of Spondylitis in the Patients Undergoing Program Hemodialysis (Case Report)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(1):173-180. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-173-180.
14. Hsieh P., Chang Y., Chen S., Shih C. Staged arthroplasty as salvage procedure for deep hip infection following intertrochanteric fracture. *Int Orthop*. 2006;30(4):228-232. doi: 10.1007/s00264-005-0059-6.
15. Kavalerskiy G.M., Murylyov V.Yu., Rubin G.G., Rukin Ya.A., Elizarov P.M., Muzychenko A.V. [Hip arthroplasty in patients with femoral neck pseudarthrosis]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2016;23(1):21-25. (In Russian). doi: 10.17816/vto201623121-25.
16. Fukunishi S., Fukui T., Nishio S., Imamura F., Yoh K., Yoshiya S. Results of total hip arthroplasty for dialysis arthropathy in long-term hemodialysis patients. *J Orthop Sci*. 2009;14(3):285-291. doi: 10.1007/s00776-009-1330-2.
17. *Proceedings of the Second International Consensus Meeting of Musculoskeletal Infection* / ed. R.M. Tikhilov, S.A. Bozhkova, I.I. Shubnyakov. SPb., 2019. 314 p.
18. Mushtin N.E., Tsed A.N., Dulaev A.K., Lednev A.A., Iljushenko K.G., Shmelev A.V. [Application of Desmopressin and conjugated estrogens to reduce the volume of blood loss during arthroplasty of the hip joint in patients with end stage renal disease]. *Uchenye zapiski Sankt-Peterburgskogo gosudarstvennogo meditsinskogo universiteta imeni akademika I.P. Pavlova* [The Scientific Notes of the Pavlov University]. 2019;26(3):57-63. (In Russian). doi: 10.24884/1607-4181-2019-26-3-57-63.
19. Slobogean G.P., Sprague S.A., Scott T., Bhandari M. Complications following young femoral neck fractures. *Injury*. 2015;46(3):484-491. doi: 10.1016/j.injury.2014.10.010.
20. Xu D., Bi F., Ma C., Wen Z., Cai X. A systematic review of undisplaced femoral neck fracture treatments for patients over 65 years of age, with a focus on union rates and avascular necrosis. *J Orthop Surg Res*. 2017;12(1):28. doi: 10.1186/s13018-017-0528-9.
21. Peterkin-McCalman R., Waller J., Le B., Oliver A., Manning E., Elam R. et al. Fractures in patients with rheumatoid arthritis and end-stage renal disease. *Arch Osteoporos*. 2020;15(1):146. doi: 10.1007/s11657-020-00815-3.
22. Yu Y.-H., Hsu Y.-H., Chou Y.-C., Tseng I.-C., Yeh W.-L., Wu C.-C. Higher Complication Rate Following Hip Fractures in Uremic Patients Undergoing Maintenance Hemodialysis: A Cohort Study. *Open Access Library Journal*. 2018;5:e3986. doi: 10.4236/oalib.1103986.
23. Babcock S., Kellam J.F. Hip Fracture Nonunions: Diagnosis, Treatment, and Special Considerations in Elderly Patients. *Adv Orthop*. 2018;2018:1912762. doi: 10.1155/2018/1912762.
24. Reshetnikov A.N., Gladilin G.P., Reshetnikov N.P., Levchenko K.K., Kireev S.N., Adamovich G.A. et al. [Changes of bone tissue mineral density in patients with femoral neck false joints before and after total hip replacement]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education]. 2015;(6):161. Available from: <https://science-education.ru/en/article/view?id=23414>. (In Russian).
25. Favreau H., Ehlinger M., Adam P., Bonnomet F. Total hip arthroplasty with exclusive use of dual-mobility cup after failure of internal fixation in trochanteric fracture. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2020;106(4):645-649. doi: 10.1016/j.otsr.2020.02.011.
26. Tornero E., Cofan F., Reategui D., Gracia-Toledo M., Campistol J.M., Riba J. et al. Outcomes of hip arthroplasty in patients with end-stage renal disease: a retrospective, controlled study. *Int J Adv Joint Reconstr*. 2015;1:11-18.

AUTHORS' INFORMATION:

Alexander N. Tsed — Dr. Sci. (Med.), Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

e-mail: travma1@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8392-5380>

Nikita E. Mushtin — Cand. Sci. (Med.), Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

e-mail: mushtin.nikita@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0002-7264-7861>

Alexander K. Dulaev — Dr. Sci. (Med.), Professor, Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

e-mail: akdulaev@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0003-4079-5541>

Anton V. Schmeljew — Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

e-mail: schmeljew@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-1181-6545>

Authors' contribution:

Tsed A.N. — research design, collection and processing of material, review of publications on the topic of the article and writing the text of the manuscript, stage-by-stage and final editing of the manuscript.

Mushtin N.E. — statistical processing of the received material, review of publications on the topic of the article, editing.

Dulaev A.K. — research concept, analysis of the results obtained.

Shmelev A.V. — review of publications on the topic of the article.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the work to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Conflict of interest

The authors declare that there is no conflict of interest.



Лечение переломов дистального метаэпифиза лучевой кости с использованием малоинвазивного накостного остеосинтеза и перкутанной спицевой фиксации: сравнительный анализ результатов

К.А. Егиазарян¹, Б.И. Максимов², А.А. Аскеров^{1,2}, Н.Н. Ведерников², М.И. Матвиенко²

¹ ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, г. Москва, Россия

² ГБУЗ «Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

Реферат

Цель исследования — сравнительная оценка рентгенологических и функциональных результатов малоинвазивного накостного остеосинтеза с применением пронатор-сберегающего доступа и перкутанной спицевой фиксации у пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЛК). **Материал и методы.** Проведен ретроспективный анализ результатов лечения 41 пациента с переломами ДМЛК (14 мужчин и 27 женщин), которым в период с 2016 по 2020 г. был выполнен малоинвазивный накостный остеосинтез блокируемыми пластинами с применением пронатор-сберегающего хирургического доступа (основная группа). Средний возраст больных составил 51 год (от 31 до 74 лет). В контрольную группу вошли 37 пациентов: 19 женщин и 18 мужчин; средний возраст — 61 год (от 29 до 76 лет), которым за этот же период времени был выполнен малоинвазивный перкутанный спицевой остеосинтез ДМЛК. Сравнительную оценку рентгенологических и функциональных результатов малоинвазивного остеосинтеза в обеих группах осуществляли в сроки от 1 до 6 мес. со дня оперативного лечения. **Результаты.** У всех пациентов в сроки до 6 нед. после операции была достигнута консолидация переломов, подтвержденная рентгенологически. Среди пациентов, прооперированных путем пронатор-сберегающего накостного остеосинтеза, осложнений не было, в группе пациентов, которым выполняли перкутанный спицевой остеосинтез, было получено 6 осложнений: в 4 случаях (11%) — воспаление в области выхода спиц и в 2 случаях (5,4%) — ятрогенное интраоперационное повреждение чувствительной ветви лучевого нерва. Были получены статистически значимые различия в рентгенологических результатах (ладонный наклон суставной фасетки лучевой кости, инклинация лучевой кости и высота лучевой кости) между двумя группами. Показатели в основной группе пациентов были лучше на всех этапах наблюдения ($p < 0,01$). Малоинвазивный накостный остеосинтез с применением пронатор-сберегающей техники также продемонстрировал значимо лучшие функциональные результаты (сила схвата кисти, объем движения в лучезапястном суставе, ротационные движения предплечья) по сравнению с контрольной группой на всех этапах оценки ($p < 0,001$). **Заключение.** Результаты исследования демонстрируют эффективность и относительную безопасность обеих методик малоинвазивного остеосинтеза ДМЛК. Однако накостный остеосинтез волярными блокируемыми пластинами с применением пронатор-сберегающей техники позволяет получать лучшие рентгенологические и функциональные результаты по сравнению с применением чрескожного остеосинтеза спицами.

Ключевые слова: малоинвазивный остеосинтез, спицевой остеосинтез, дистальный метаэпифиз лучевой кости, волярная пластина с угловой стабильностью, накостный остеосинтез, спица Киршнера.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Егиазарян К.А., Максимов Б.И., Аскеров А.А., Ведерников Н.Н., Матвиенко М.И. Лечение переломов дистального метаэпифиза лучевой кости с использованием малоинвазивного накостного остеосинтеза и перкутанной спицевой фиксации: сравнительный анализ результатов. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):31-41. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1696>.

Cite as: Egiazaryan K.A., Maximov B.I., Askerov A.A., Vedernikov N.N., Matvienko M.I. [Functional and Radiographic Outcomes for Distal Radius Fractures Treated with Volar-Locked Plates and Percutaneous K-Wires: A Comparative Study]. *Traumatalogiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):31-41. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1696>.

✉ Максимов Борис Игоревич / Boris I. Maximov; e-mail: dr.borismaximov@gmail.com

Рукопись получена: 29.10.2021. Рукопись одобрена: 26.11.2021. Статья опубликована онлайн: 07.12.2021. Submitted: 29.10.2021. Accepted: 26.11.2021. Published Online: 07.12.2021.

Functional and Radiographic Outcomes for Distal Radius Fractures Treated with Volar-Locked Plates and Percutaneous K-Wires: A Comparative Study

Karen A. Egiazaryan¹, Boris I. Maximov², Artur A. Askerov^{1,2}, Nikolai N. Vedernikov², Maksim I. Matvienko²

¹ Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia

² Moscow Bauman City Hospital No. 29, Moscow, Russia

Abstract

Purpose — to evaluate and to compare radiological and functional outcomes of the volar locking plate fixation using pronator-sparing approach and K-wire fixation of distal radius fractures. **Materials and Methods.** We retrospectively analyzed 41 patients with distal radius fractures (27 female and 14 male) treated in the period from 2016 to 2020 using minimally invasive osteosynthesis via pronator-sparing approach. The mean age was 51 years (31-74 years). The control group consists of 37 patients (19 female and 18 male, mean age — 61 years (29-76 years)), who underwent minimally invasive percutaneous K-wire fixation of distal radius fractures during the same period of time. Comparative analysis of radiographic and functional outcomes in both groups of minimally invasive osteosynthesis of distal radius fractures was carried out in the period from 1 to 6 months after the surgery. **Results.** Primary union of distal radius fractures was confirmed in X-rays in all patients within 6 weeks after the surgery. There were no complications in patients treated by pronator-sparing volar locking plate fixation, whereas in K-wire group we had 6 patients with complications: 4 cases (11%) — superficial infection around K-wires and 2 cases (5,4%) — intraoperative damage of sensitive branch of radial nerve. There were statistically significant differences in radiographic results (volar tilt, radial inclination, and radial height) between two groups: they all were better in patients treated by pronator-sparing volar locking plate fixation during the whole follow-up period ($p < 0,01$). Minimally invasive volar locking plate fixation via pronator-sparing approach also provided significantly better grip strength and range of wrist motion and forearm rotation in the early 6-month postoperative period, compared with percutaneous K-wire fixation ($p < 0,001$). **Conclusion.** Our study demonstrates that both techniques of minimally invasive osteosynthesis of distal radius fractures are effective and relatively safe methods of surgical treatment, but volar plating via pronator-sparing approach leads to a better reconstruction of the distal radius and better functional outcomes compared to percutaneous K-wiring.

Keywords: minimally invasive osteosynthesis, distal radius, plate fixation, volar locking plate, pronator-sparing approach, K-wiring.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Вопросы оптимизации оказания медицинской помощи пациентам с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЛК) по-прежнему не утратили своей актуальности и продолжают обсуждаться специалистами [1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Это обусловлено, во первых, тем, что переломы ДМЛК занимают большую нишу в общей структуре скелетной травмы, являясь самым частым переломом у человека [9], а во-вторых, — постоянно возрастающими требованиями пациентов как к самому процессу лечения, так и к его итоговым результатам. Консенсус в отношении вида медицинской помощи среди специалистов найден — в последние два десятилетия отмечается значительный рост частоты хирургического лечения переломов ДМЛК,

однако объем оперативного вмешательства и способы фиксации переломов продолжают обсуждаться [10, 11, 12, 13]. Не последнюю роль здесь играет современный общий тренд к малоинвазивным хирургическим вмешательствам в травматологии и соответствующее этому стремление хирургов к максимально бережному и «биологичному» остеосинтезу, в том числе и переломов ДМЛК [14, 15, 16, 17, 18].

Цель исследования — сравнительная оценка рентгенологических и функциональных результатов малоинвазивного на костном остеосинтеза с применением пронатор-сберегающего доступа и перкутанной спицевой фиксации у пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости.

Материал и методы

Дизайн исследования

Выполнено одноцентровое когортное нерандомизированное исследование. Проведен ретроспективный анализ результатов малоинвазивного хирургического лечения 78 пациентов за период с 2016 по 2020 г. по поводу закрытых переломов ДМЛК.

Среди прооперированных больных было 46 женщин и 32 мужчины. Большинство пострадавших составили лица трудоспособного возраста, средний возраст пациентов на момент травмы составил $55,8 \pm 13,6$ лет (от 19 до 65 лет). В 47 случаях имел место перелом ДМЛК правого предплечья, в 31 — левого.

Критерии включения в исследование:

- согласие пациента;
- острая изолированная травма;
- закрытый характер перелома;
- переломы типов I и III по классификации D.L. Fernandez с соавторами [19];
- удовлетворительные результаты первичной закрытой ручной репозиции;
- нестабильный характер перелома ДМЛК по M. LaFontaine [20].

Критерии исключения:

- переломы типа «волярный Barton» (тип II по D.L. Fernandez) как трудно поддающиеся адекватной закрытой ручной репозиции и требующие, как правило, открытого наkostного доступа с полноценной мобилизацией *m. pronator quadratus*;
- переломы типа «тыльный Barton» (тип II по D.L. Fernandez) как редко встречающиеся изолированные повреждения;
- открытый характер перелома;
- срок с момента перелома более 10 дней;
- сочетание перелома ДМЛК с переломом дистального отдела локтевой кости (за исключением перелома шиловидного отростка).

Всем пострадавшим был выполнен малоинвазивный остеосинтез ДМЛК. В зависимости от примененного способа стабилизации перелома пациенты были разделены на две группы, сопоставимые по всем критериям включения в исследование. Для классификации повреждения и выбора оптимальной тактики лечения переломов ДМЛК всем пациентам выполняли рентгенографию лучезапястного сустава в двух проекциях, а также компьютерную томографию.

В первую (основную) группу вошел 41 пациент: 14 мужчин и 27 женщин, их возраст варьировал от 31 до 74 лет (медиана 51). Пациентам этой группы был выполнен наkostный остеосинтез пластиной с угловой стабильностью и сохранением *m. pronator quadratus*. У 24 пациентов был диагностирован перелом типа I (30,8%), у 17 — типа III (21,8%).

Вторую (контрольную) группу составили 37 пациентов: 18 мужчин и 19 женщин, возраст больных варьировал от 29 до 76 лет (медиана 61). Стабилизацию переломов ДМЛК в этой группе выполняли посредством перкутанного остеосинтеза спицами по Капанджи. У 26 пациентов был диагностирован перелом типа I (33,3%), у 11 — типа III (14,1%).

Хирургическая техника в первой группе пациентов

Отличие примененного хирургического доступа от традиционного заключалось в том, что после выполнения продольного кожного разреза по ладонной поверхности предплечья в проекции сухожилия *m. flexor carpi radialis* и последующего выделения и ретракции подлежащих сухожилий *m. pronator quadratus* мобилизовали при помощи скальпеля и распатора без потери мест крепления к лучевой кости с сохранением его анатомической целостности. За счет мобилизации дистального края мышцы и ее ретракции в проксимальном направлении имеется возможность не только визуализации самого перелома, но и фиксации пластины к метаэпифизарной части лучевой кости. В проксимальном отделе пластину фиксировали посредством заведения винтов через расслоенные волокна квадратного пронатора предплечья, также без нарушения его анатомической непрерывности [2].

Все оперативные вмешательства в обеих группах проводили одной бригадой хирургов в условиях периферической блокады плечевого сплетения надключичным или подмышечным доступом под контролем ультразвуковой навигации.

Послеоперационное ведение пациентов

Послеоперационный протокол ведения пациентов в группах был идентичен: в течение 4 нед. применяли лонгетную гипсовую иммобилизацию, после чего проводили удаление спиц во второй группе пациентов и приступали к реабилитации. После выписки из стационара регулярные клинические осмотры проводили через 2, 4, 6, 12 и 24 недели.

Оценка результатов

Сравнительную оценку рентгенологических результатов и функциональных исходов в обеих группах осуществляли в сроки от 1 до 6 мес. со дня оперативного лечения. Оценка рентгенологических результатов проводили по следующим параметрам: отсутствие смещения отломков, формирующих суставную поверхность лучевой кости; восстановление высоты лучевой кости; восстановление инклинации лучевой кости; восстановление ладонной инклинации суставной поверхности лучевой кости.

Функциональные исходы лечения оценивали по следующим критериям: амплитуда движений в лучезапястном суставе (сгибание, разгибание); ротация предплечья (супинация, пронация); сила схвата кисти по шкале L. McPeak [21].

Статистический анализ

Статистическую обработку полученных количественных данных проводили с помощью пакета прикладных программ SPSS Statistics 26 (IBM, США). Для количественных непрерывных признаков (ненормальное распределение) результаты представлены в виде медианы, верхнего и нижнего квартилей (интерквартильный размах). Для оценки различий групп по количественным непрерывным признакам применяли U-критерий Манна–Уитни. Сравнение динамики внутри групп проводили с помощью критерия Фридмана. Сопоставимость групп по типу перелома установлена с помощью критерия χ^2 Пирсона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты

Ближайшие и отдаленные результаты малоинвазивного хирургического лечения переломов ДМЛК были изучены и оценены у всех пациентов первой ($n = 41$) и второй групп ($n = 37$). Сроки наблюдения в группах были следующие: первая (остеосинтез пластинами с сохранением *m. pronator quadratus*) — Me = 54 нед. (34; 68), вторая (перкутанный остеосинтез спицами) — Me = 38 нед. (27; 54).

Во всех случаях визуализировались рентгенологические признаки консолидации перелома. Среди пациентов первой группы осложнений не было. У 4 (11%) пациентов второй группы в послеоперационном периоде наблюдали воспаление в области выхода спиц, во всех случаях купированное перевязками и оральным приемом антибиотиков. В двух (5,4%) случаях, также в контрольной группе пациентов, из-за интраоперационного повреждения чувствительной ветви лучевого нерва в послеоперационном периоде отмечалось локальное онемение в области его иннервации. В обоих случаях чувствительность восстановилась в сроки от 3 до 6 мес. с момента выполнения остеосинтеза.

Нами были изучены и проанализированы основные рентгенологические параметры поврежденного сегмента лучевой кости как на предоперационном этапе, так и после операции (рис. 1, 2, 3).

Представленные группы были сопоставимы по всем дооперационным рентгенологическим параметрам: сопоставимость групп по типу перелома установлена с помощью критерия χ^2 Пирсона ($p = 0,281$), по ладонному наклону суставной фасетки лучевой кости ($p = 0,259$), по высоте лучевой кости ($p = 0,916$) и по инклинации лучевой кости ($p = 0,203$) с помощью U-критерия Манна–Уитни.

Сравнительные результаты оценки восстановления основных рентгеноанатомических параметров ДМЛК в обеих группах в динамике представлены в таблице 1.

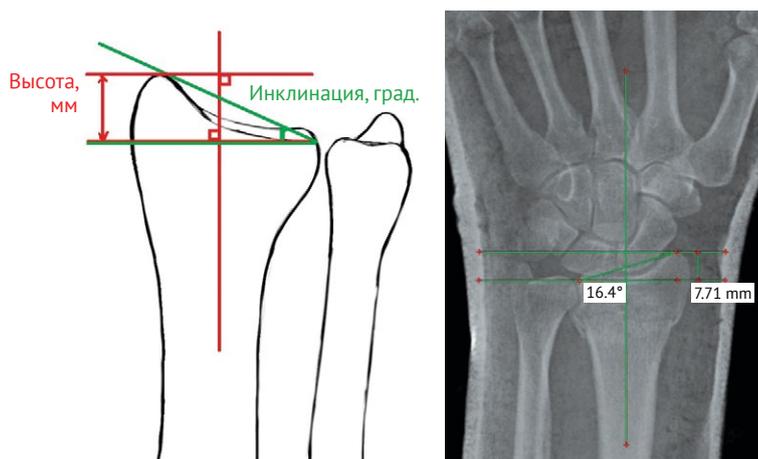


Рис. 1. Оценка высоты и инклинации лучевой кости на предоперационном этапе: уменьшение нормальных величин обоих параметров

Fig. 1. Assessment of the radial height and radial inclination at pre-operative period: it is noted the reduction of the normal value of both parameters

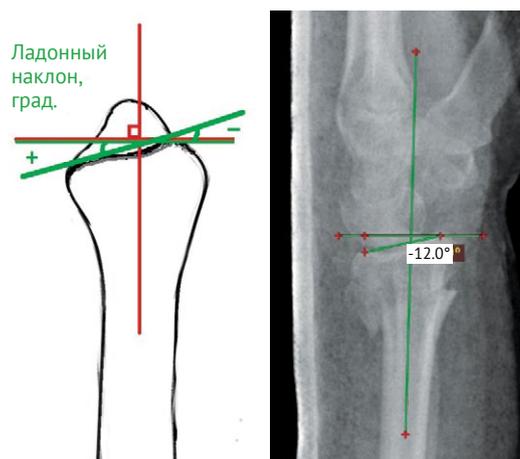


Рис. 2. Оценка ладонного наклона суставной фасетки лучевой кости на предоперационном этапе: отмечается отрицательный ладонный наклон

Fig. 2. Volar tilt assessment at pre-operative period: a negative volar tilt of distal radius

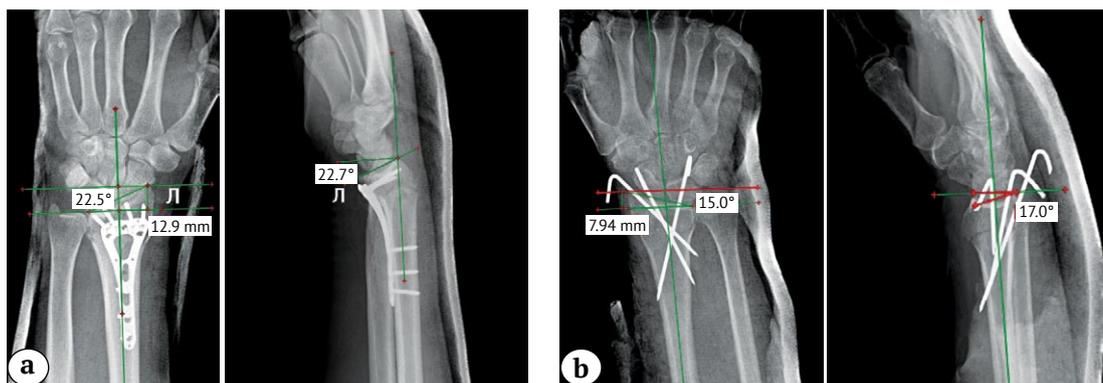


Рис. 3. Измерение и оценка основных рентгеноанатомических параметров лучезапястного сустава после выполнения малоинвазивного остеосинтеза:

a — после остеосинтеза пластиной; b — после перкутанного остеосинтеза спицами

Fig. 3. Measurement and assessment of the main radiographical parameters after minimally invasive osteosynthesis: a — after volar locking plate fixation; b — after percutaneous K-wiring

Таблица 1

Рентгеноанатомические параметры ДМЛК пациентов двух групп

Параметр	До операции			Результат					
				после операции			через 6 нед. после операции		
	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>
Ладонный наклон суставной фасетки лучевой кости, град.	0,0 -15,0; 6,0	-10,0 -13,4; 2,0	0,259	12,0 11,0; 13,0	10,7 11,0; 13,0	<0,01	12,0 11,0; 13,0	10,0 9,1; 11,0	<0,01
Высота лучевой кости, мм	7,20 5,6; 9,0	7,80 6,2; 7,9	0,916	12,00 11,8; 12,1	11,60 10,8; 12,0	<0,01	12,0 11,6; 12,1	11,1 10,1; 11,5	<0,01
Инклинация лучевой кости, град.	17,7 16,3; 19,5	17,3 15,2 19,0	0,203	23,0 22,6; 23,4	21,9 21,0; 22,8	<0,01	23,0 22,5; 23,2	21,0 20,2 22,4	<0,01

Приведены медианы и интерквартильный размах (Q1; Q3).

В дооперационном периоде статистически значимых различий в рентгенологических параметрах между группами выявлено не было, что согласуется с гипотезой о сопоставимости групп. Однако сразу после операции и через 6 нед. рентгенологические параметры в группах имели статистически значимую разницу ($p < 0,01$) — показатели у пациентов первой группы превышали все показатели во второй группе. Стоит заметить, что оценка рентгенологических результатов после 6-недельного срока не имела большого смысла, так как к этому времени у всех прооперированных пациентов были отчетливые признаки консолидации переломов и, соответственно, итоговый рентгенологический результат проведенного лечения.

В период послеоперационного восстановления функции лучезапястного сустава, предплечья и кисти по всем исследуемым параметрам выявлены статистически значимые различия как между группами, так и внутри групп на всех этапах оценки ($p < 0,001$). Сравнение различий между группами на каждом этапе проводили при помощи U-критерия Манна–Уитни. Показатели первой группы превышали показатели второй ($p < 0,001$). Для сравнения и оценки динамики внутри групп использовали критерий Фридмана. Рост показателей был статистически значимым ($p < 0,001$). Функциональные результаты лечения в сравниваемых группах пациентов представлены в таблице 2.

Таблица 2

Динамика восстановления функции лучезапястного сустава и кисти после малоинвазивного остеосинтеза у пациентов двух сравниваемых групп

Параметр	Срок наблюдения после операции								
	1 мес.			3 мес.			6 мес.		
	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>	Первая группа	Вторая группа	<i>p</i>
Сгибание, град.	67 65–70	45 44–49	<0,001	75 70–75	65 60–65	<0,001	90 82–90	74 69–78	<0,001
Разгибание, град.	65 62–72	40 34–45	<0,001	80 74–90	50 46–56	<0,001	85 78–90	69 65–73	<0,001
Супинация, град.	74 72–75	50 44–56	<0,001	79 76–81	70 65–80	<0,001	90 90–90	78 75–80	<0,001
Пронация, град.	70 70–75	60 55–60	<0,001	80 75–90	70 65–79	<0,001	90 80–90	80 75–85	<0,001
Сила схвата, % от контралатеральной кисти	76 75–79	55 54–60	<0,001	93 91–100	70 69–78	<0,001	97 94–00	79 78–90	<0,001

Приведены медианы и интерквартильный размах (Q1; Q3).

Обсуждение

Неуклонный рост числа пациентов с переломом ДМЛК в совокупности с увеличением доли так называемых «требовательных пациентов», стремящихся к максимально быстрому и полноценному возвращению к активной и самостоятельной жизни, обуславливает тренд к расширению показаний для хирургического лечения, наблюдаемый в настоящее время. Накостный остеосинтез пластинами с угловой стабильностью и перкутанный остеосинтез спицами по-прежнему являются наиболее часто используемыми способами фиксации переломов ДМЛК в клинической практике. При этом продолжают обсуждаться преимущества и недостатки, присущие каждому из этих методов фиксации [7, 22, 23, 24, 25, 26].

Рассматривая историю внутренней фиксации переломов ДМЛК, стоит заметить, что спицевой остеосинтез явился первой попыткой фиксации этих переломов. Спицы обеспечивали и репозицию, и удержание репонированных отломков кости для их последующей консолидации в корректном положении [27, 28, 29, 30, 31, 32]. Тем не менее спицевой остеосинтез не всегда мог обеспечить приемлемую жесткость фиксации, приводя в некоторых случаях к вторичному смещению, что послужило поводом к дальнейшим поискам более надежного способа удержания отломков [33].

Появление в арсенале травматологов наkostного остеосинтеза волярными пластинами с угловой стабильностью значительно расширило и пока-

зания к операции, и возможности хирургов, улучшив клинические и рентгенологические результаты лечения пациентов с переломами ДМЛК [34, 35, 36]. Несмотря на то что наkostный остеосинтез волярными пластинами с угловой стабильностью в настоящее время является самым часто применяемым методом внутренней фиксации переломов ДМЛК, он не лишен ряда потенциальных недостатков, в большинстве своем связанных с возможностью развития конфликта между сухожилиями сгибательной поверхности предплечья с устанавливаемым имплантатом [37, 38, 39]. Именно это побудило хирургов к дальнейшему поиску способов усовершенствования хирургической техники наkostного остеосинтеза пластинами. И он был найден в возможности сохранения *m. pronator quadratus* на этапе хирургического доступа: установка пластины под мышцей исключала контакт сухожилий сгибателей с металлоконструкцией [40, 41, 42, 43]. Еще одним фактором, способствующим расширению применения пронатосберегающего подхода в хирургическом лечении пациентов с переломами ДМЛК является невозможность в подавляющем большинстве случаев полноценной рефиксации *m. pronator quadratus* при его отсечении для визуализации перелома и прямой репозиции при использовании традиционной техники [2, 40, 41, 44]. Ряд авторов вообще ставят под сомнение необходимость реальной прямой репозиции таких переломов, большинство из которых прекрасно поддается закрытой

ручной репозиции и поэтому не требует отсечения *m. pronator quadratus* в процессе остеосинтеза [18, 42]. Немаловажно и то, что *m. pronator quadratus* играет важную роль в питании дистального отдела лучевой кости, является активным стабилизатором дистального лучелоктевого сустава, а также в значительной степени влияет на пронационную силу предплечья [16, 42, 45, 46, 47, 48, 49, 50].

Таким образом, сохранение *m. pronator quadratus* в процессе выполнения накостного остеосинтеза волярными пластинами практически полностью исключает какую-либо значимую агрессию со стороны хирурга и может рассматриваться как основополагающий фактор, позволяющий относить данное хирургическое вмешательство к малоинвазивному [16, 17, 18, 20, 21, 51, 52, 53]. Позволим себе напомнить, что философия малоинвазивного остеосинтеза заключается прежде всего в максимально деликатном отношении к мягким тканям в процессе операции, исключении скелетирования кости и минимизации дeваскуляризации костных отломков, в свою очередь, способствующих сохранению репарационного потенциала и благоприятно влияющих на процесс консолидации переломов [54, 55, 56]. В данном случае соблюдаются все три критерия.

К малоинвазивному остеосинтезу ДМЛК таким же образом полноправно и логично относится и перкутанный остеосинтез спицами, до сих пор не утративший своей актуальности [57].

В настоящее время в литературе представлены многочисленные исследования, посвященные сравнительному анализу эффективности применения накостного остеосинтеза волярными пластинами с угловой стабильностью и спицевого остеосинтеза [25, 58, 59, 60, 61, 62, 63, 64]. Однако отсутствуют сообщения о проведении сравнительного анализа результатов наиболее часто применяемых малоинвазивных методик остеосинтеза ДМЛК, таких как спицевой остеосинтез и накостный остеосинтез волярными пластинами с угловой стабильностью путем пронатор-сберегающего хирургического доступа, что побудило нас к проведению подобного рода исследования.

Стоит заметить, что при сравнении результатов малоинвазивного остеосинтеза ДМЛК в группах для повышения объективности оценки нами были исключены традиционные оценочные шкалы, поскольку зачастую при их использовании превалирует субъективная, часто эмоциональная составляющая. Таким образом, основной упор был сделан на изучение и оценку рентгенологических и функциональных результатов малоинвазивного хирургического лечения пациентов с переломами ДМЛК.

Рентгенологические результаты малоинвазивного остеосинтеза в группах оценивали, исходя из восстановления параметров нормальной рентге-

ноанатомии дистального отдела лучевой кости: ладонный наклон суставной фасетки лучевой кости, высота лучевой кости, а также инклинация лучевой кости. Полученные нами результаты свидетельствуют о более полноценном восстановлении анатомии ДМЛК в группе пациентов после накостного остеосинтеза по сравнению с пациентами, которым проводился перкутанный остеосинтез спицами ($p < 0,01$). Немаловажное значение здесь имели конструкционные особенности современных волярных пластин, абсолютно точно повторяющие контуры дистального отдела лучевой кости и благоприятствующие тем самым авторепозиции костных отломков. К тому же у части пациентов из второй группы в динамике произошло ухудшение достигнутых в момент остеосинтеза параметров нормальной рентгеноанатомии, что может быть объяснено недостаточной жесткостью фиксации перелома [29, 33] по сравнению с накостным остеосинтезом.

Отдельно хотелось бы прокомментировать нашу тактику послеоперационной иммобилизации у всех пациентов обеих групп, справедливо могущую вызвать недоумение, особенно применительно к группе пациентов, которым выполняли стабильно-функциональный накостный остеосинтез. Дело в том, что переломы ДМЛК со смещением отломков, как правило, сочетаются с повреждением элементов фиброзно-хрящевого треугольного комплекса (ладонными и тыльными лучелоктевыми связками), являющимися важными стабилизаторами дистального лучелоктевого сочленения. Отсутствие должного внимания к этим мягкотканым структурам и фокусировка только на фиксации перелома ДМЛК зачастую является причиной последующей лучелоктевой нестабильности, приводит к неудовлетворительным результатам лечения и может диктовать необходимость в дополнительных реконструктивных вмешательствах [65, 66]. В то же время последние данные литературы свидетельствуют от том, что применение иммобилизации после накостного остеосинтеза, не оказывая существенного влияния на функциональный исход лечения, способствует заживлению мягкотканых повреждений, сопутствующих перелому ДМЛК, минимизируя неудовлетворительные результаты хирургического лечения этих переломов [67]. Именно этим мы руководствуемся в своей практике, проводя лечение не перелома ДМЛК, а пациента с комплексным повреждением дистального отдела предплечья.

Динамическая оценка послеоперационного восстановления сгибательно-разгибательных движений в лучезапястном суставе, ротационных движений предплечья и силы схвата кисти в обеих группах пациентов продемонстрировала более быстрое и полноценное восстановление по всем исследуемым параметрам у пациентов, опери-

рованных волярными пластинами с угловой стабильностью и сохранением *m. pronator quadratus*. Это логично и ожидаемо, учитывая более полноценное восстановление костной анатомии и большую жесткость фиксации перелома, что открывает возможности более ранней и полноценной реабилитации. Также в этой группе пациентов нами не было получено ни одного послеоперационного осложнения, что сопоставимо с имеющимися данными литературы [16, 42].

Диагностированное у двух пациентов контрольной группы осложнение в виде онемения в области основания большого пальца было расценено нами как результат пренебрежения следованию хирургической техники спицевого остеосинтеза, повлекшее за собой интраоперационное повреждение чувствительной ветви лучевого нерва. Для минимизации рисков подобного рода осложнений в процессе выполнения спицевого остеосинтеза следует обязательно выполнять точечные надрезы кожи с последующей диссекцией подлежащих мягких тканей до кости при помощи деликатного зажима типа «москит» и всегда использовать направитель, защищающий мягкие ткани от наматывания их на спицу. Немаловажно и знание региональной анатомии основных нервных стволов и их ветвей. Анализируя полученные у 4 пациентов, прооперированных путем спицевой фиксации, осложнения в виде воспаления в местах выхода спиц, приходится констатировать неизбежность подобного рода осложнений в том или ином проценте случаев при применении перкутанного остеосинтеза. Этот тезис подтверждают и данные литературы [68, 69].

Заключение

Полученные результаты выглядят обнадеживающими и позволяют констатировать эффективность применения малоинвазивного остеосинтеза у пациентов с переломами дистального отдела лучевой кости. Малоинвазивный остеосинтез волярными пластинами с угловой стабильностью является более эффективным и безопасным методом внутренней фиксации большинства переломов ДМЛК по сравнению с перкутанным остеосинтезом спицами. Сравнительная оценка хирургического лечения пациентов обеих групп продемонстрировала более высокие результаты по восстановлению и сохранению нормальных рентгеноанатомических параметров ДМЛК, а также функциональной реабилитации у пациентов, которым выполняли малоинвазивный на костный остеосинтез.

Информированное согласие

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

Литература [References]

- Kashir A., O'Donnell T. A Brachioradialis Splitting Approach Sparing the Pronator Quadratus for Volar Plating of the Distal Radius. *Tech Hand Up Extrem Surg.* 2015;19(4):176-181. doi: 10.1097/BTH.000000000000104.
- Максимов Б.И., Пандунц А.А., Ведерников Н.Н. Возможности сохранения квадратного пронатора предплечья при хирургическом лечении переломов дистального отдела лучевой кости. *Вестник национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова.* 2018;13(4):49-52. doi: 10.25881/BPNMSC.2018.22.37.008. Maksimov B.I., Pandunc A.A., Vedernikov N.N. [Opportunities of preservation of the forearm pronator with the surgical treatment of fractures of the distal radius bone]. *Vestnik natsional'nogo mediko-khirurgicheskogo tsentra im. N.I. Pirogova* [Bulletin of Pirogov National Medical and Surgical Center]. 2018;13(4):49-52. (In Russian). doi: 10.25881/BPNMSC.2018.22.37.008.
- Rey P.B., Rochet S., Loisel F., Obert L. Technical note: How to spare the pronator quadratus during MIPO of distal radius fractures by using a mini-volar plate. *Chir Main.* 2014;33(2):95-99. doi: 10.1016/j.main.2013.12.006.
- Fan J., Chen K., Zhu H., Jiang B., Yuan F., Zhu X. et al. Effect of fixing distal radius fracture with volar locking palmar plates while preserving pronator quadratus. *Chin Med J (Engl).* 2014;127(16):2929-2935.
- Benjamin M.M., Swigler C.W. Evidence-based review of distal radius fractures. *Orthop Clin North Am.* 2018;49(2):211-222. doi: 10.1016/j.ocl.2017.12.001.
- Arora R., Lutz M., Hennerbichler A., Krappinger D., Espen D., Gabl M. Complications following internal fixation of unstable distal radius fracture with a palmar locking-plate. *J Orthop Trauma.* 2007;21(5):316-322. doi: 10.1097/BOT.0b013e318059b993.
- Chaudhry H., Kleinlugtenbelt Y.V., Mundi R., Ristevski B., Goslings J.C., Bhandari M. Are Volar Locking Plates Superior to Percutaneous K-wires for Distal Radius Fractures? A Meta-analysis. *Clin Orthop Relat Res.* 2015;473(9):3017-3027. doi: 10.1007/s11999-015-4347-1.
- Хоминет В.В., Ткаченко М.В., Иванов В.С., Жогина М.А., Лисин С.В., Мышкин И.А. Современные тенденции в диагностике и хирургическом лечении переломов дистального метаэпифиза лучевой кости (научный обзор). *Профилактическая и клиническая медицина.* 2020;2(75):34-44. Khominets V.V., Tkachenko M.V., Ivanov V.S., Zhogina M.A., Lisin S.V., Myshkin I.A. [Current tendencies in diagnostics and surgical treatment of distal radius fracture (review)]. *Profilakticheskaya i klinicheskaya meditsina* [Preventive and clinical medicine]. 2020;2(75):34-44. (In Russian).
- Chung K.C., Spilson S.V. The frequency and epidemiology of hand and forearm fractures in the United States. *J Hand Surg Am.* 2001;26(5):908-915. doi: 10.1053/jhsu.2001.26322.
- Smith D.W., Henry M.H. Volar fixed-angle plating of the distal radius. *J Am Acad Orthop Surg.* 2005;13(1):28-36. doi: 10.5435/00124635-200501000-00005.
- Bales J.G., Stern P.J. Treatment strategies of distal radius fractures. *Hand Clin.* 2012;28(2):177-184. doi: 10.1016/j.hcl.2012.02.003.
- Koval K., Haidukewych G.J., Service B., Zircibel B.J. Controversies in the management of distal radius fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(9):566-575. doi: 10.5435/JAAOS-22-09-566.
- Handoll H.H., Vaghela M.V., Madhok R. Percutaneous pinning for treating distal radial fractures in adults. *Cochrane Database Syst Rev.* 2007;(3):CD006080. doi: 10.1002/14651858.CD006080.pub2.

14. Dos Remedios C., Nebout J., Benlarbi H., Caremier E., Sam-Wing J.F., Beya R. [Pronator quadratus preservation for distal radius fractures with locking palmar plate osteosynthesis. Surgical technique]. *Chir Main*. 2009;28(4):224-229. (In French). doi: 10.1016/j.main.2009.04.007.
15. Itoh S., Yumoto M., Kanai M., Yoshida W., Yoshioka T. Significance of a Pronator Quadratus-Sparing Approach for Volar Locking Plate Fixation of Comminuted Intra-articular Fractures of the Distal Radius. *Hand (N Y)*. 2016;11(1):83-87. doi: 10.1177/1558944715617460.
16. Imatani J., Noda T., Morito Y., Sato T., Hashizume H., Inoue H. Minimally invasive plate osteosynthesis for comminuted fractures of the metaphysis of the radius. *J Hand Surg Br*. 2005;30(2):220-225. doi: 10.1016/j.jhsb.2004.12.009.
17. Takada N., Otsuka T., Yamada K., Suzuki H., Hasuo T., Kondo A. et al. Minimally invasive plate osteosynthesis for distal radius fractures with a palmar locking plate. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2012;38(6):627-632. doi: 10.1007/s00068-012-0204-z.
18. Geissler W.B., Fernandes D. Percutaneous and limited open reduction of intra-articular distal radial fractures. *Hand Surg*. 2000;5(2):85-92. doi: 10.1142/s0218810400000193.
19. Fernandez D.L., Jupiter J.B. Fractures of the distal radius. New York: Springer-Verlag; 1996. 339 p. doi: 10.1007/978-1-4684-0478-4.
20. LaFontaine M., Hardy D., Delince P. Stability assessment of distal radius fractures. *Injury*. 1989;(20):208-210. doi: 10.1016/0020-1383(89)90113-7.
21. McPeak L.A., Stiers W.M., Cope D.N. Disability evaluation following traumatic brain injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am*. 2001;12(3):587-601.
22. Семенкин О.М. Хирургическое лечение больных с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2010;(4):84-89. Semyonkin O.M. [Surgical treatment of patients with radial distal metaepiphysis fractures]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova* [N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics]. 2010;(4): 84-89. (In Russian).
23. Xu G.Y., Qiu Y., Mao H.J. A Network Meta-analysis of Outcomes of 7 Surgical Treatments for Distal Radius Fractures. *Am J Ther*. 2016;23(6):e1320-e1328. doi: 10.1097/MJT.0000000000000228.
24. Franceschi F., Franceschetti E., Paciotti M., Cancilleri F., Maffulli N., Denaro V. Volar locking plates versus K-wire/pin fixation for the treatment of distal radial fractures: a systematic review and quantitative synthesis. *Br Med Bull*. 2015;115(1):91-110. doi: 10.1093/bmb/ldv015.
25. Costa M.L., Achten J., Rangan A., Lamb S.E., Parsons N.R. Percutaneous fixation with Kirschner wires versus volar locking-plate fixation in adults with dorsally displaced fracture of distal radius: five-year follow-up of a randomized controlled trial. *Bone Joint J*. 2019;101-B(8):978-983. doi: 10.1302/0301-620X.101B8.BJJ-2018-1285.R1.
26. Youlden D.J., Sundaraj K., Smithers C. Volar locking plating versus percutaneous Kirschner wires for distal radius fractures in an adult population: a meta-analysis. *ANZ J Surg*. 2019;89(7-8):821-826. doi: 10.1111/ans.14903.
27. Rayhack J.M. The history and evolution of percutaneous pinning of displaced distal radius fractures. *Orthop Clin North Am*. 1993;24(2):287-300. doi: 10.1016/S0030-5898(21)00017-1.
28. Kapandji A. [Internal fixation by double intrafocal plate. Functional treatment of non articular fractures of the lower end of the radius (author's transl)]. *Ann Chir*. 1976;30(11-12):903-908. (In French).
29. Epinette J.A., Lehut J.M., Cavenaile M., Bouretz J.C., Decoulx J. Pouteau-Colles fracture: double-closed «basket-like» pinning according to Kapandji. Apropos of a homogeneous series of 70 cases. *Ann Chir Main*. 1982;1(1):71-83. (In English, French). doi: 10.1016/s0753-9053(82)80047-1.
30. Docquier J., Soete P., Twahirwa J., Flament A. [Kapandji's method of intrafocal nailing in Pouteau-Colles fractures]. *Acta Orthop Belg*. 1982;48(5):794-810. (In French).
31. Kerboul B., Le Saout J., Lefevre C., Miroux D., Fabre L., Le Noac'h J.F. et al. [Comparative study of 3 therapeutic methods for Pouteau Colles' fracture. Apropos of 97 cases]. *J Chir (Paris)*. 1986;123(6-7):428-434. (In French).
32. Nonnenmacher J., Kempf I. [Role of intrafocal pinning in the treatment of wrist fractures]. *Int Orthop*. 1988;12(2):155-162. (In French). doi: 10.1007/BF00266982.
33. Naidu S.H., Capo J.T., Moulton M., Ciccone W. 2nd, Radin A. Percutaneous pinning of distal radius fractures: a biomechanical study. *J Hand Surg Am*. 1997;22(2):252-257. doi: 10.1016/S0363-5023(97)80159-1.
34. Larson A.N., Rizzo M. Locking plate technology and its applications in upper extremity fracture care. *Hand Clin*. 2007;23(2):269-278, vii. doi: 10.1016/j.hcl.2007.02.004.
35. Ruch D.S., Weiland A.J., Wolfe S.W., Geissler W.B., Cohen M.S., Jupiter J.B. Current concepts in the treatment of distal radial fractures. *Instr Course Lect*. 2004;53:389-401.
36. Jupiter J.B., Marent-Huber M. Operative management of distal radial fractures with 2.4-millimeter locking plates. A multicenter prospective case series. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(1):55-65. doi: 10.2106/JBJS.G.01498.
37. Lee D.S., Weikert D.R. Complications of Distal Radius Fixation. *Orthop Clin North Am*. 2016;47(2):415-424. doi: 10.1016/j.ocl.2015.09.014.
38. White B.D., Nydick J.A., Karsky D., Williams B.D., Hess A.V., Stone J.D. Incidence and clinical outcomes of tendon rupture following distal radius fracture. *J Hand Surg Am*. 2012;37(10):2035-2040. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.06.041.
39. Soong M., Earp B.E., Bishop G., Leung A., Blazar P. Volar locking plate implant prominence and flexor tendon rupture. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(4):328-335. doi: 10.2106/JBJS.J.00193.
40. Sen M.K., Strauss N., Harvey E.J. Minimally invasive plate osteosynthesis of distal radius fractures using a pronator sparing approach. *Tech Hand Up Extrem Surg*. 2008;12(1):2-6. doi: 10.1097/BTH.0b013e3180cac281.
41. Heidari N., Clement H., Kosuge D., Grechenig W., Tesch N.P., Weinberg A.M. Is sparing the pronator quadratus muscle possible in volar plating of the distal radius? *J Hand Surg Eur Vol*. 2012;37(5):402-406. doi: 10.1177/1753193411424706.
42. Cannon T.A., Carlston C.V., Stevanovic M.V., Ghiassi A.D. Pronator-sparing technique for volar plating of distal radius fractures. *J Hand Surg Am*. 2014;39(12):2506-2511. doi: 10.1016/j.jhsa.2014.09.011.
43. Lee D.Y., Park Y.J., Park J.S. A Meta-analysis of Studies of Volar Locking Plate Fixation of Distal Radius Fractures: Conventional versus Minimally Invasive Plate Osteosynthesis. *Clin Orthop Surg*. 2019;11(2):208-219. doi: 10.4055/cios.2019.11.2.208.
44. Ahsan Z.S., Yao J. The importance of pronator quadratus repair in the treatment of distal radius fractures with volar plating. *Hand (N Y)*. 2012;7(3):276-280. doi: 10.1007/s11552-012-9420-6.

45. Gordon K.D., Dunning C.E., Johnson J.A., King G.J. Influence of the pronator quadratus and supinator muscle load on DRUJ stability. *J Hand Surg Am.* 2003;28(6):943-950. doi: 10.1016/s0363-5023(03)00487-8.
46. Dos Remedios C., Nebout J., Benlarbi H., Caremier E., Sam-Wing J.F., Beya R. [Pronator quadratus preservation for distal radius fractures with locking palmar plate osteosynthesis. Surgical technique]. *Chir Main.* 2009;28(4):224-229. (In French). doi: 10.1016/j.main.2009.04.007.
47. Armangil M., Bezirgan U., Başarrı K., Bilen G., Demirtaş M., Bilgin S.S. The pronator quadratus muscle after plating of distal radius fractures: is the muscle still working? *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(3):335-339. doi: 10.1007/s00590-013-1193-2.
48. Swigart C.R., Badon M.A., Bruegel V.L., Dodds S.D. Assessment of pronator quadratus repair integrity following volar plate fixation for distal radius fractures: a prospective clinical cohort study. *J Hand Surg Am.* 2012;37(9):1868-1873. doi: 10.1016/j.jhsa.2012.06.005.
49. Mulders M.A.M., Walenkamp M.M.J., Bos F.J.M.E., Schep N.W.L., Goslings J.C. Repair of the pronator quadratus after volar plate fixation in distal radius fractures: a systematic review. *Strategies Trauma Limb Reconstr.* 2017;12(3):181-188. doi: 10.1007/s11751-017-0288-4.
50. Hershman S.H., Immerman I., Bechtel C., Lekic N., Paksima N., Egol K.A. The effects of pronator quadratus repair on outcomes after volar plating of distal radius fractures. *J Orthop Trauma.* 2013;27(3):130-133. doi: 10.1097/BOT.0b013e3182539333.
51. Chen C.Y., Lin K.C., Yang S.W., Renn J.H., Tarng Y.W. Clinical results of using minimally invasive long plate osteosynthesis versus conventional approach for extensive comminuted metadiaphyseal fractures of the radius. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2015;135(3):361-367. doi: 10.1007/s00402-015-2162-5.
52. Максимов Б.И., Артемьев А.А. Малоинвазивный накостный остеосинтез дистального метаэпифиза лучевой кости: показания к применению и особенности методики. *Вопросы реконструктивной и пластической хирургии.* 2017;20(2):61-66. doi: 10.17223/1814147/60/07. Maximov B.I., Artemiev A.A. [Minimally invasive plate osteosynthesis of distal radius fractures: indications for use and features of the method]. *Voprosy rekonstruktivnoi i plasticheskoi khirurgii* [Issues of Reconstructive and Plastic Surgery]. 2017;20(2):61-66. (In Russian). doi: 10.17223/1814147/60/07
53. Wei X.M., Sun Z.Z., Rui Y.J., Song X.J. Minimally invasive plate osteosynthesis for distal radius fractures. *Indian J Orthop.* 2014;48(1):20-24. doi: 10.4103/0019-5413.125483.
54. Максимов Б.И. Минимально инвазивный накостный остеосинтез дистального метаэпифиза лучевой кости: есть ли преимущества перед стандартной техникой? *Травматология и ортопедия России.* 2020;26(1):76-84. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-76-84. Maximov B.I. [Minimally invasive plate osteosynthesis for distal radius fractures: are there any advantages against conventional technique?] *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(1):76-84. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-76-84.
55. Zenke Y., Sakai A., Oshige T., Moritani S., Fuse Y., Maehara T. et al. Clinical results of volar locking plate for distal radius fractures: conventional versus minimally invasive plate osteosynthesis. *J Orthop Trauma.* 2011;25(7):425-431. doi: 10.1097/BOT.0b013e3182008c83.
56. Lebailly F., Zemirline A., Facca S., Gouzou S., Liverneaux P. Distal radius fixation through a mini-invasive approach of 15 mm. PART 1: a series of 144 cases. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(6):877-890. doi: 10.1007/s00590-013-1363-2.
57. Егиазарян К.А., Максимов Б.И., Аскеров А.А., Ведерников Н.Н., Матвиенко М.И. Спицевой остеосинтез переломов дистального метаэпифиза лучевой кости. *Кафедра травматологии и ортопедии.* 2021;3(45):62-71. doi: 10.17238/issn2226-2016.2021.3.62-71. Egiazaryan K.A., Maximov B.I., Askerov A.A., Vedernikov N.N., Matvienko M.I. [K-wire osteosynthesis of distal radius fractures]. *Kafedra travmatologii i ortopedii* [The department of traumatology and orthopedics]. 2021;3(45):62-71. (In Russian). doi: 10.17238/issn2226-2016.2021.3.62-71.
58. Oshige T., Sakai A., Zenke Y., Moritani S., Nakamura T. A comparative study of clinical and radiological outcomes of dorsally angulated, unstable distal radius fractures in elderly patients: intrafocal pinning versus volar locking plating. *J Hand Surg Am.* 2007;32(9):1385-1392. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.07.005.
59. Voigt C., Lill H. [What advantages does volar plate fixation have over K-wire fixation for distal radius extension fractures in the elderly?]. *Unfallchirurg.* 2006;109(10):845-846, 848-854. (In German). doi: 10.1007/s00113-006-1163-9.
60. Zong S.L., Kan S.L., Su L.X., Wang B. Meta-analysis for dorsally displaced distal radius fracture fixation: volar locking plate versus percutaneous Kirschner wires. *J Orthop Surg Res.* 2015;10:108. doi: 10.1186/s13018-015-0252-2.
61. Knox J., Ambrose H., McCallister W., Trumble T. Percutaneous pins versus volar plates for unstable distal radius fractures: a biomechanic study using a cadaver model. *J Hand Surg Am.* 2007;32(6):813-817. doi: 10.1016/j.jhsa.2007.03.015
62. Costa M.L., Achten J., Parsons N.R., Rangan A., Griffin D., Tubeuf S. et al. Percutaneous fixation with Kirschner wires versus volar locking plate fixation in adults with dorsally displaced fracture of distal radius: randomised controlled trial. *BMJ.* 2014;349:g4807. doi: 10.1136/bmj.g4807.
63. Costa M.L., Achten J., Plant C., Parsons N.R., Rangan A., Tubeuf S. et al. UK DRAFFT: a randomised controlled trial of percutaneous fixation with Kirschner wires versus volar locking-plate fixation in the treatment of adult patients with a dorsally displaced fracture of the distal radius. *Health Technol Assess.* 2015;19(17):1-124, v-vi. doi: 10.3310/hta19170.
64. McFadyen I., Field J., McCann P., Ward J., Nicol S., Curwen C. Should unstable extra-articular distal radial fractures be treated with fixed-angle volar-locked plates or percutaneous Kirschner wires? A prospective randomised controlled trial. *Injury.* 2011;42(2):162-166. doi: 10.1016/j.injury.2010.07.236.
65. Poppler L.H., Moran S.L. Acute distal radioulnar joint instability: evaluation and treatment. *Hand Clin.* 2020;36(4):429-441. doi: 10.1016/j.hcl.2020.07.005.
66. Ross P.R., Chung K.C. Instability in the setting of distal radius fractures: diagnosis, evaluation and treatment. *Hand Clin.* 2020;36(4):417-427. doi: 10.1016/j.hcl.2020.06.002.
67. Im J., Kang S.J., Lee S.J. A comparative study between conservative and surgical treatments of triangular fibrocartilage complex injury of the wrist with distal radius fractures. *Clin Orthop Surg.* 2021;13(1):105-109. doi: 10.4055/cios20117.

68. Dzaja I., MacDermid J.C., Roth J., Grewal R. Functional outcomes and cost estimation for extra-articular and simple intra-articular distal radius fractures treated with open reduction and internal fixation versus closed reduction and percutaneous Kirschner wire fixation. *Can J Surg.* 2013;56(6):378-384. doi: 10.1503/cjs.22712.
69. Rupp M., Cambon-Binder A., Alt V., Feron J.M. Is percutaneous pinning an outdated technique for distal radius fractures? *Injury.* 2019;(50):30-35. doi: 10.1016/j.injury.2019.03.048.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Егиазарян Карен Альбертович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии, директор университетской клиники травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России, г. Москва, Россия
e-mail: egkar@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>

Максимов Борис Игоревич — канд. мед. наук, заведующий отделением травматологии и ортопедии, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э.Баумана Департамента здравоохранения г.Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: dr.borismaximov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6761-2309>

Аскеров Артур Абдулгусейнович — аспирант кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии, ФГАОУ ВО «Российский национальный исследовательский медицинский университет им. Н.И. Пирогова» Минздрава России; врач травматолог-ортопед ГБУЗ «Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: aaa-77177@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6761-2309>

Ведерников Николай Николаевич — врач травматолог-ортопед, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: v1917@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3945-0108>

Матвиенко Максим Игоревич — врач травматолог-ортопед, ГБУЗ «Городская клиническая больница № 29 им. Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: drtraum.matvienko@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1973-7873>

Заявленный вклад авторов

Егиазарян К.А. — концепция исследования, редактирование рукописи.

Максимов Б.И. — дизайн исследования, сбор и анализ данных, написание текста, графическое оформление.

Аскеров А.А. — сбор материала, анализ и интерпретация данных.

Ведерников Н.Н. — сбор материала, анализ данных.

Матвиенко М.И. — сбор материала.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS' INFORMATION:

Karen A. Egiazaryan — Dr. Sci. (Med.), Professor, Pirogov Russian National Research Medical University, Moscow, Russia
e-mail: egkar@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6680-9334>

Boris I. Maximov — Cand. Sci. (Med.), Moscow Bauman City Hospital No. 29, Moscow, Russia
e-mail: dr.borismaximov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6761-2309>

Artur A. Askerov — Pirogov Russian National Research Medical University; Moscow Bauman City Hospital No. 29, Moscow, Russia
e-mail: aaa-77177@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6761-2309>

Nikolai N. Vedernikov — Moscow Bauman City Hospital No. 29, Moscow, Russia
e-mail: v1917@list.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3945-0108>

Maksim I. Matvienko — Moscow Bauman City Hospital No. 29, Moscow, Russia
e-mail: drtraum.matvienko@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1973-7873>



Classification of Proximal Tibial Fractures and Algorithm of Intramedullary Nailing: Efficacy Evaluation

Anton A. Semenistyy¹, Elena A. Litvina^{2,3}, Andrey N. Mironov

¹ *Moscow City Clinical Hospital No. 13, Moscow, Russia*

² *Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia*

³ *Inozemtcev Moscow City Clinical Hospital, Moscow, Russia*

Background: Intramedullary nailing of proximal tibial fractures is challenging due to difficulties with fracture reduction and achievement of stable fixation. Preoperative planning based on proximal fragment length, fracture pattern and bone quality evaluation is a prerequisite for a successful operation. However, there is no classification that could adequately assess these factors and guide us towards the most effective methods of fracture reduction and fixation with intramedullary nail. **The purpose of this study** was to evaluate a classification of extra-articular proximal tibial fractures and algorithm for intramedullary nailing in clinical conditions.

Methods: We compared the treatment outcomes before (Group 1) and after (Group 2) the introduction of the new PFL-TN classification algorithm of intramedullary nailing of proximal tibial fractures. The group 1 included 43 patients from 18 to 71 years old (males – 28; females – 15; average age – 44.5±2.0 years). The group 2 included 42 patients from 18 to 72 years old (males – 30; females – 12; average age – 46.1±2.0 years). The data analysis was carried out after a minimum follow-up period of 12 months. The results were analyzed by the following criteria: reduction quality assessed with reduction quality scale, number of complications, quality of life with SF-36 questionnaire and leg function with LEFS scale.

Results: The introduction of the proposed algorithm allowed to reduce the number of late complications by more than 5 times, and the number of required additional surgical interventions by more than 4 times compared to with a control group. The introduction of the proposed algorithm made it possible to improve the functional outcomes 1 year after surgery from 83.58 to 93.29% ($p = 0.00002$) by the LEFS scale, and the patients' quality of life from the 77.50±1.88 to 86.71±2.03 points ($p = 0.00072$) and from the 81.25±1.88 to 86.84±2.26 points ($p = 0.00116$) by the physical and role functioning scales SF-36 questionnaire.

Conclusions: The proposed algorithm, based on the new classification, allows to optimize the surgical technique of intramedullary nailing of proximal tibial fractures.

Keywords: proximal tibial fractures, intramedullary nailing, treatment algorithm, classification, preoperative planning.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

 **Cite as:** Semenistyy A.A., Litvina E.A., Mironov A.N. [Classification of Proximal Tibial Fractures and Algorithm of Intramedullary Nailing: Efficacy Evaluation]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):42-52. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1699>.

 Anton A. Semenistyy; e-mail: an.semenistyy@gmail.com
Submitted: 10.11.2021. Accepted: 08.12.2021. Published Online: 14.12.2021.



Классификация и алгоритм лечения переломов проксимального отдела большеберцовой кости методом интрамедуллярного остеосинтеза

А.А. Семенистый¹, Е.А. Литвина^{2,3}, А.Н. Миронов¹

¹ ГБУЗ «Городская клиническая больница № 13 Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

² ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования» Минздрава России, г. Москва, Россия

³ ГБУЗ «Городская клиническая больница им. Ф.И. Иноземцева Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Лечение переломов проксимального отдела большеберцовой кости сопровождается большим количеством осложнений, обусловленных сложностями при выполнении репозиции и достижении стабильной фиксации перелома. На настоящий момент нет классификаций, позволяющих выбрать оптимальные способы репозиции при выполнении интрамедуллярного остеосинтеза. **Цель исследования** — оценить эффективность применения разработанных классификации и алгоритма выполнения интрамедуллярного остеосинтеза переломов проксимального отдела большеберцовой кости. **Материал и методы.** Выполнено сравнительное исследование результатов лечения пациентов до и после применения (группы 1 и 2 соответственно) в клинике классификации PFL-TN и алгоритма интрамедуллярного остеосинтеза переломов проксимального отдела большеберцовой кости. В группу 1 вошло 43 пациента: 28 мужчин и 15 женщин в возрасте от 18 до 71 года ($44,5 \pm 2,0$). В группу 2 вошло 42 пациента: 30 мужчин и 12 женщин в возрасте от 18 до 72 лет ($46,1 \pm 2,0$). Минимальный срок наблюдения — 12 мес. При анализе результатов лечения проводили оценку качества репозиции по принятой в учреждении шкале, оценку ранних и поздних осложнений, качества жизни пациентов по шкале SF-36 и функциональных результатов по шкале LEFS. **Результаты.** Разработанные классификация и алгоритм интрамедуллярного остеосинтеза позволяют оптимизировать подходы к выбору методов репозиции и достижения стабильной фиксации, что позволило сократить количество поздних осложнений более чем в 5 раз ($p = 0,00723$), число дополнительных оперативных вмешательств — более чем в 4 раза ($0,03070$) по сравнению пациентами группы 1. Использование алгоритма позволило улучшить функциональные результаты лечения через год после операции с 83,58 до 93,29% ($p = 0,00002$) по шкале LEFS, а также качество жизни пациентов с $77,50 \pm 1,88$ до $86,71 \pm 2,03$ баллов ($p = 0,00072$) и с $81,25 \pm 1,88$ до $86,84 \pm 2,26$ ($p = 0,00116$) по показателям физического и ролевого функционирования опросника SF-36. **Заключение.** Результаты исследования показали, что использование разработанных классификации и алгоритма помогает оптимизировать выполнение интрамедуллярного остеосинтеза внесуставных переломов проксимального отдела большеберцовой кости. Следование алгоритму позволяет снизить риск возникновения таких осложнений, как неудовлетворительная репозиция перелома, нестабильность фиксации, замедленная консолидация и несращение перелома, и в конечном итоге улучшить функциональные результаты.

Ключевые слова: переломы большеберцовой кости, интрамедуллярный остеосинтез, классификация переломов, предоперационное планирование.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

📖 Семенистый А.А., Литвина Е.А., Миронов А.Н. Классификация и алгоритм лечения переломов проксимального отдела большеберцовой кости методом интрамедуллярного остеосинтеза. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(4):42-52. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1699>.

✉ Семенистый Антон Алексеевич; e-mail: an.semenisty@gmail.com

Рукопись получена: 10.11.2021. Рукопись одобрена: 08.12.2021. Статья опубликована онлайн: 14.12.2021.

Background

Intramedullary nailing of proximal tibial fractures has several biological and biomechanical advantages compared to external osteosynthesis and does not induce the development of adjacent joint contractures and decreased quality of life, which is noted using the Ilizarov apparatus [1, 2, 3, 4, 5]. However, a significant limitation of this method includes the difficulty of achieving and maintaining the fragment reduction [6]. The literature revealed that the malunion rate reaches 84%; therefore, many authors do not recommend this method for the treatment of proximal tibial fractures [7, 8, 9].

The choice of the correct nail insertion point, the use of specialized nails with a more proximal Herzog bend, and the use of special surgical techniques which improve the quality of reduction, such as poller screws and wires, nailing in semi-extended knee joint, and fixator-assisted osteosynthesis, are powerful tools for intramedullary nailing of proximal tibial fracture [10, 11, 12, 13]. Locking the nail with at least three screws, using poller screws, screws with angular stability, and nails of larger diameter can increase the fixation stability [14, 15, 16, 17, 18].

Particular attention should be paid to preoperative planning, which adequately assesses the possibility of achieving stable proximal fragment fixation, depending on the fracture type [19]. The length of the proximal fragment is a key factor in determining the indications for intramedullary nailing and the choice of the optimal nail design. However, none of the existing classifications objectively assess this factor and, accordingly, determine the approach of treatment based on the fracture type [11, 20, 21].

This study aimed to evaluate the efficacy of the clinical application of the classification and algorithm developed by the authors for performing intramedullary nailing of extra-articular fractures of the proximal tibia.

Methods

The retrospective-prospective comparative cohort study was performed.

Proximal Fragment Length Classification for Tibial Nailing (PFL-TN)

In the current study we used the Proximal Fragment Length Classification for Tibial Nailing (PFL-TN), developed in our medical institution for preoperative planning of intramedullary nailing. The classification takes into account all types of extra-articular proximal tibial fractures, which are divided into four types.

Type I include all fractures of the proximal third tibia diaphysis which can be fixed with any tibial nail having three holes for proximal locking. Fracture reduction

in this group can be challenging, especially when the knee joint is flexed, thus special surgical techniques described in this study are required. In these fractures the fixation stability with intramedullary nail is comparable to diaphyseal fractures. Type II is represented by fractures of the proximal third tibia above the site of the metaphyseal bone narrowing. The length of the proximal fragment for fractures of this type is sufficient to lock the nail with four screws, thus nails with four holes for proximal locking should be preferred. The use of poller screws in both distal and proximal fragments improves the fixation stability.

Type III fractures are similar to type II fractures; however, they are distinguished by the technical impossibility of locking with four screws. The preference should be done for specialized nails with three holes for proximal locking at the shortest possible distance from the nail top. The use of several poller screws in both the proximal and distal fragments is of great importance in type III fractures.

Type IV fractures have an extremely short proximal fragment; therefore, performing proximal nail locking with three screws is technically impossible. Thus, we do not recommend intramedullary nailing for such fractures. In type IV segmental fractures, the combined use of plate fixation and intramedullary nailing provides good clinical results [22].

Each type of fracture is divided into subtypes, namely, "A" which implies simple fractures, "B" for wedge-shaped, and "C" for comminuted fractures. In segmental fractures, after the capital letter (A, B, C), an additional uppercase letter "s" is written when coding the type of fracture (Fig. 1).

Type	A	B	C	s
IV				
III				
II				
I				

Fig. 1. PFL-TN Classification: I–IV – types; A–C – subtypes; s – segmental fracture

Intramedullary nailing algorithm

For intramedullary nailing, an algorithm was used to choose the most appropriate intramedullary fixator and its diameter, as well as proximal locking options depending on the type of fracture according to PFL-TN and bone quality (Fig. 2).

Osteoporosis is an indication for using specialized screws with angular stability [17]. In the current study we did not perform DEXA scan to detect osteoporosis. Intramedullary nailing was performed, considering the proximal locking recommendations for patients with osteoporosis in the patients with: low-energy injury, radiological signs of osteoporosis, and poor bone tissue quality.

The developed algorithm implies the use of the most effective techniques to achieve excellent reduction in intramedullary nailing of proximal tibial fractures, such as nailing in semi-extended knee position, fixator-assisted nailing (FAN), and the use of poller wires.

The infrapatellar approach was preferred in group 1, whereas semi-extended knee joint approaches (parapatellar and suprapatellar) in group 2 (Table 1).

When performing the infrapatellar approach in group 2, FAN was used in all cases.

FAN was not used in group 1. In group 2 we used the FAN according to the described technique by the authors in 32 (68.7%) patients [23].

In group 2 Poller wires were used in all cases on the side of deformity in the sagittal and frontal planes. In cases where the poller wires were bent after the nail insertion, we considered them to be stressed. Removal of stressed poller wires in fractures of types II and III, even after locking the nail, leads to fracture displacement; therefore, this factor was considered when determining the indications for poller screw insertion.

When choosing the method of proximal nail locking, the algorithm presented in Figure 3 was used.

A comparative analysis of treatment results of patients before (retrospective group) and after (prospective group) the introduction of the intramedullary nailing algorithm was performed in the study. Patients were enrolled into the retrospective (group 1) and prospective (group 2) groups according to the inclusion, non-inclusion, and exclusion criteria (Table 2).

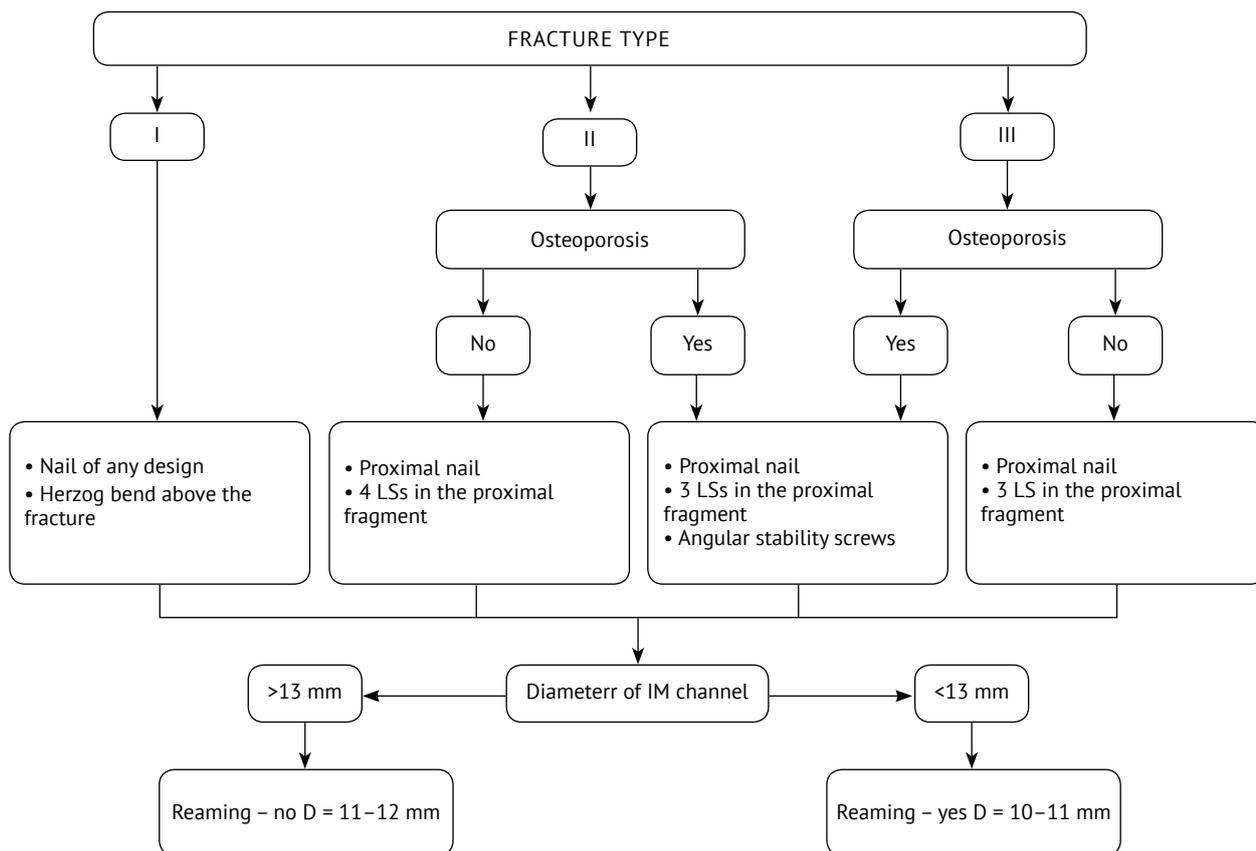


Fig. 2. The algorithm for choosing the intramedullary nail depending on PFL-TN fracture type

Table 1

Surgical approaches in groups 1 and 2

Approach	Group 1	Group 2
Infrapatellar	26	8
Suprapatellar	15	29
Parapatellar	2	5

Table 2

Criteria for inclusion, non-inclusion, and exclusion

Inclusion criteria	Non-inclusion criteria	Exclusion criteria
<ul style="list-style-type: none"> • Patients with extra-articular fractures of the proximal tibia (41-A2, 41-A3, and 42 according to the AO classification) • Proximal fragment length from 35 to 120 mm • Age from 18 to 74 years • The patient signed informed consent to participate in the study • The period from the moment of injury to surgery is <4 weeks. 	<ul style="list-style-type: none"> • Soft tissue defect in the site of the proposed surgical approach or the fracture area • Type III C open fractures according to the Gustilo–Anderson classification • Dermatological diseases that increase the risk of infectious complications in the site of the planned surgical approach • Defect of the tibia, leading to shortening of the limb by >2 cm • Severe dysfunction of the injured limb before the injury • Pathological nature of the fracture • Infectious lesions of soft tissues in the site of the planned surgical approach • Chronic or acute osteomyelitis of the bones of the injured limb • Mental diseases that significantly impair the patient’s compliance • Severe chronic diseases, which are a contraindication to anesthesia and surgery • Pregnancy and lactation • Fracture fixation by intramedullary nailing in the first 4 weeks after injury was not performed. 	<ul style="list-style-type: none"> • Refusal to participate in the study at any stage • Death during inpatient treatment • A sudden onset of severe illness or re-injury, which prevents the current treatment result evaluations

In total, the retrospective group included 43 patients aged 18–71 years (mean age 44.5±2.0 years), wherein 28 were males and 15 were females.

The prospective group included 42 patients aged 18–72 years (mean age 46.1±2.1 years), wherein 30 were males and 12 were females.

Table 3 presents the distribution of patients in groups 1 and 2 by fracture type (PFL-TN).

The groups 1 and 2 were comparable in terms of demographics, injury mechanism, soft tissue condition, concomitant injuries, and diseases. The treatment results of patients in these groups can be compared with each other. After the end of the minimum follow-up period (12 months after surgery), a comparative analysis of treatment results of patients in both groups was performed.

Evaluation of results

Reduction was assessed based on a comparison of postoperative radiographs with radiographs of the contralateral limb in frontal and lateral views according to the deformity assessment method described by D. Paley et al. [24]. The transverse displacement was measured using a calibrated electronic X-ray ruler. The rotational displacement was clinically assessed in comparison with the contralateral limb in the “patella up” position of the lower limbs. In the presence of clinical signs of rotational displacement, computed tomography of the damaged and contralateral tibia was performed throughout. The repduction score scale that we developed was used to assess the reduction quality (Table 4). According to this scale, for each type of displacement, 1 point

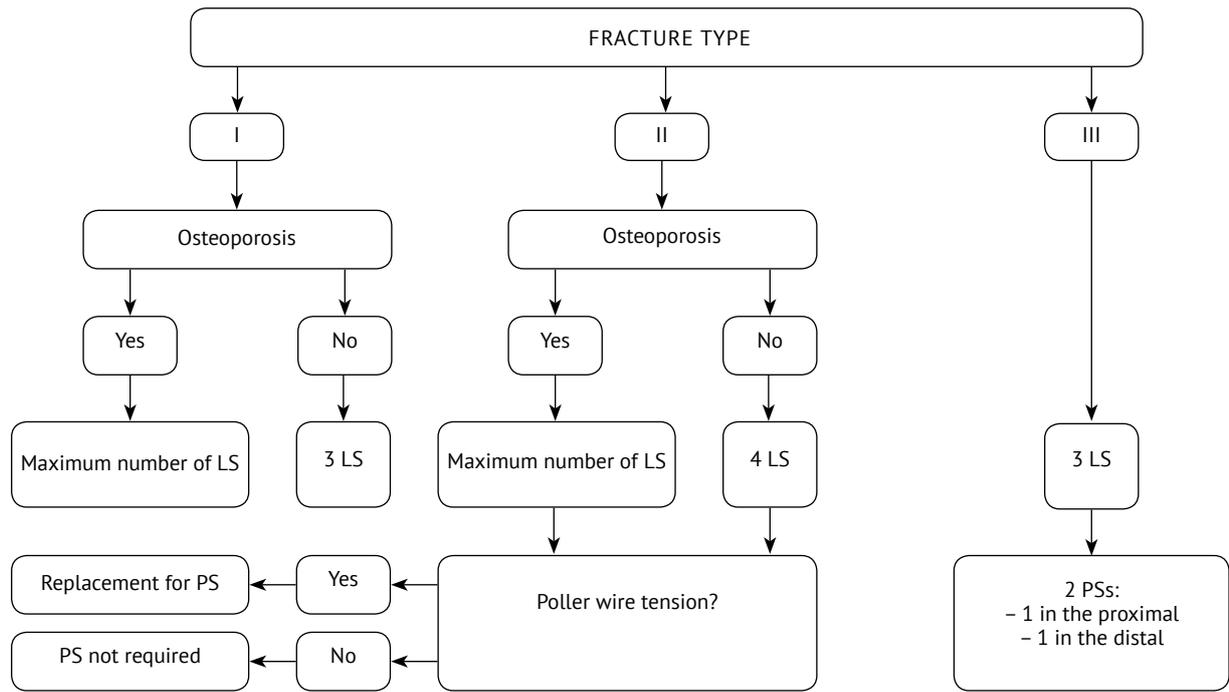


Fig. 3. The algorithm for choosing the method of proximal nail locking depending on PFL-TN fracture type

Table 3

Distribution of patients in groups 1 and 2 by fracture type (PFL-TN)

Type	Subtype						Total
	A	As	B	Bs	C	Cs	
Group 1							
I (90–120 mm)	1	3	6	1	1	–	12
II (45–90 mm)	6	2	10	2	–	4	24
III (35–45 mm)	2	–	2	1	1	1	7
IV (<35 mm)	–	–	–	–	–	–	–
Total	9	5	18	4	2	5	43
Group 2							
I (90–120 mm)	2	–	8	1	–	–	11
II (45–90 mm)	6	1	7	1	1	3	19
III (35–45 mm)	1	1	2	1	5	2	12
IV (<35 mm)	–	–	–	–	–	–	–
Total	9	2	17	3	6	5	42

was added in case of excellent reduction, 5 points in case of good reduction, and 20 points in case of unacceptable reduction. The minimum number of points (6 points) indicates an excellent result. If 25 or more points are scored, then such a reduction is considered unacceptable.

The analysis of early results assessed the duration of surgery, hospitalization duration, and incidence of early complications. The analysis of midterm results assessed the incidence of complications, functional results with the Lower Extremity Functional Scale (LEFS) scale, and quality of life with the scales of physical and role functioning, as well as the intensity of pain syndrome of the SF-36 questionnaire.

Statistical analysis

Fisher's exact test, Mann-Whitney's U-test, Student's t-test, and Pearson's chi-squared test (χ^2) were used to evaluate the clinical study results to compare independent samples. One-way analysis of variance followed by post hoc analysis (Tukey's test) was used to compare two or more continuous variables. The dif-

ference between the groups was considered statistically significant at $p < 0.05$.

Results

Reduction quality

Before the introduction into practice of the developed algorithm for intramedullary nailing of extra-articular proximal tibial fractures (group 1), an acceptable reduction was not achieved in 30.23% of cases (13 patients), good reduction was achieved in 53.5% of cases (23 patients), and excellent only in 16.28% of cases (7 patients). After the introduction of the algorithm (group 2), there were no cases with unacceptable reduction, whereas excellent reduction was achieved in 71.43% of cases (30 patients), i.e., 4.4 times more often than in group 1 (Fig. 4).

A reduction score scale was used to assess the statistically significant difference between the compared groups. The difference in reduction quality between groups 1 and 2 was statistically significant for all fracture types (Table 5).

Table 4

Scoring scale for assessment of the reduction quality

Displacement type		Reduction quality assessment		
		Excellent (1 point)	Good (5 points)	Unacceptable (20 points)
Angular, deg.	Sagittal plane	0–2	3–5	>5
	Frontal plane	0–2	3–5	>5
Rotational, deg.		0–5	6–15	>15
Transverse, mm	Sagittal plane	0–5	5–10	>10
	Frontal plane	0–5	5–10	>10
Shortening, mm		0–5	5–10	>10

Table 5

The difference in reduction quality between groups 1 and 2, points

Type of fracture	Group 1	Group 2	p
I	19.25	7.45	0.01051
II	16.92	7.26	0.00083
III	22.00	7.00	0.00177
Average	18.33	7.24	<0.00001

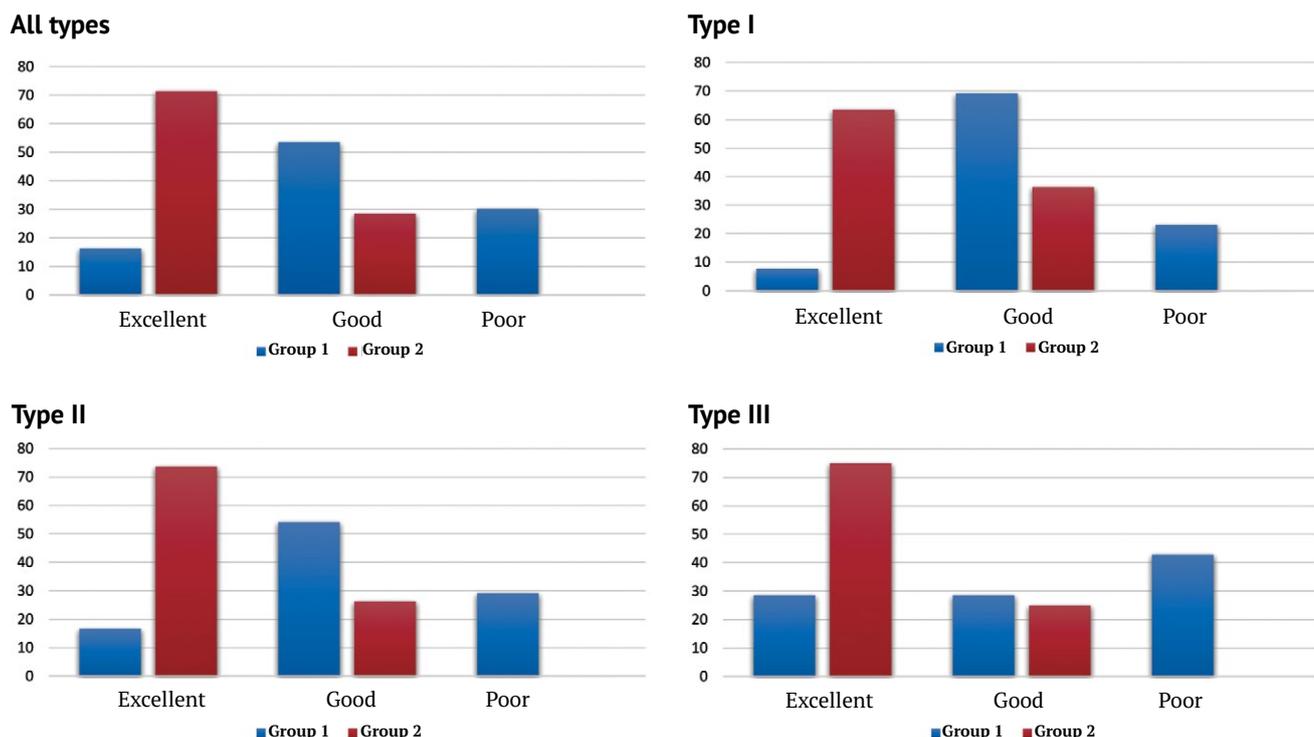


Fig. 4. Comparison of reduction quality between groups 1 and 2 in different fracture types

Short-term results

The analysis showed that the application of the proposed algorithm reduced the duration of surgery from 93.5 ± 4.1 min to 83.0 ± 2.8 min ($p = 0.01868$). In group 1, the hospitalization duration was 13.8 ± 1.0 days compared to 12.6 ± 1.0 days in group 2, which was not statistically significant ($p = 0.14695$).

In group 1, 8 (18.60%) patients have surgery-associated complications, including superficial infection in three cases, fixation instability in four cases, and one of case unacceptable reduction considered by surgeon as an indication for revision surgery.

In group 2 (4.76%), two surgery-associated complications were observed. In both cases, the development of superficial infection was noted in patients with type IIIB open fractures according to the Gustilo–Anderson classification. No complications were associated with the technique of intramedullary nailing.

The total number of surgery-associated complications decreased in the early postoperative period from 18.60% to 4.76% ($p = 0.04766$). The total number of complications associated with the technique of intramedullary nailing decreased from 11.63% to 0.00%.

Midterm results

One year after the surgery, the union of the fracture without complications was achieved in 24 patients

(66.67%) in group 1 with 36 patients available for examination. In group 2, union without complications was registered in 35 patients out of 39 (89.75%). The average fracture healing was 16.22 ± 2.05 weeks in group 1 and 13.76 ± 1.25 weeks in group 2. The difference between the groups in terms of fracture union was statistically significant ($p = 0.019$).

Table 6 compares groups 1 and 2 in terms of treatment outcomes and late complications. If one patient had more than one complication, only the first of them was considered. The introduction of the proposed treatment algorithm reduce the total number of complications from 50.0% to 10.3% ($p = 0.00723$), and the number of additional surgeries from 0.42 to 0.10 per patient ($p = 0.03070$).

The quality of life assessment using the SF-36 questionnaire revealed that the physical functioning in group 1 a year after the injury amounted to 77.50 ± 1.88 points, whereas 86.71 ± 2.03 points in group 2, which was statistically significant ($p = 0.00072$). The role functioning in group 1 at 1 year after the injury were 81.25 ± 1.88 points, whereas 86.84 ± 2.26 in group 2, with the statistically significant difference between the groups ($p = 0.00116$). Pain intensity in group 1 was 85.06 ± 2.05 points, whereas 86.05 ± 2.22 in group 2, with the statistically insignificant difference between the groups ($p = 0.37323$). The anterior knee pain was observed in 26 (72.22%) patients in group 1 and 19 (50%) patients in group 2 one year after the injury.

Table 6

Comparison of groups 1 and 2 in terms of the incidence of late complications and the need for additional surgical interventions

Treatment outcome	Group 1	Group 2	p
Union without complications	18 (50%)	35 (89.7%)	
Malunion	6 (16.7%)	0	–
Delayed union in the correct position	3 (8.3%)	2 (5.1%)	–
Delayed union in the incorrect position	1 (2.8%)	1 (2.6%)	–
Aseptic nonunion	2 (5.6%)	0	–
Fixation instability	4 (11.1%)	0	–
Deep infection	2 (5.6%)	1 (2.6%)	–
Total	18	4	0.00723
Additional surgeries	15	4	0.03070

The functional status of the limb was assessed using the LEFS scale. In group 1, the average limb function was $83.58 \pm 1.87\%$, whereas $93.29 \pm 1.23\%$ in group 2, and the difference between the groups was statistically significant ($p = 0.00002$).

Discussion

Intramedullary nailing of proximal tibial fractures has significant advantages over other treatment methods from both biological and biomechanical points of view [10, 19]. Performing intramedullary nailing for such fractures requires the use of special surgical techniques to achieve and maintain desirable reduction, ignoring which leads to poor results [7, 21].

The literature provides descriptions of many surgical techniques that improve reduction quality in intramedullary nailing; however, there is no systematic approach to make a choice of the best method based on the type of fracture [1, 9, 11, 20, 25]. There are almost no publications that compare the efficiency and technical difficulties with different methods of fracture reduction. Particular attention should be paid to the lack of clinical classification of such fractures, considering both the fracture morphology and the proximal fragment length, which are crucial in choosing a surgical treatment method, the used intramedullary fixator design, and methods for achieving and maintaining fracture reduction [18, 26, 27].

The proposed PFL-TN determines the indications for intramedullary nailing of the tibia allows to choose the most appropriate nail design, and the most optimal combination of poller and locking screws, depend-

ing on the proximal fragment length and the fracture type. This classification is considered clinical and improves the treatment results of patients with proximal tibial fractures of, which was proven in a prospective clinical study.

The most effective methods for achieving reduction in intramedullary nailing are the use of poller wires, nailing with a semi-extended knee position, and FAN [1, 9, 23, 25]. The developed algorithm involves the use of a combination of the described techniques, which allow to achieve an excellent reduction in most patients.

Conclusions

The study results revealed that the developed classification and algorithm help optimize the technique of intramedullary nailing of extra-articular proximal tibial fractures. Following the algorithm reduces the risk of complications, such as poor fracture reduction, fixation instability, delayed union, and fracture nonunion, and ultimately improves the functional treatment results of patients with extra-articular fractures of the proximal tibia.

References

- Chelnokov A.N., Bekreyev D.A. [Intramedullary osteosynthesis for fractures of the upper tibial third – a technique based on transosseous osteosynthesis]. *Genij Ortopedii*. 2011;(2):102-106. (In Russian).
- Bolhofner B.R. Indirect reduction and composite fixation of extraarticular proximal tibial fractures. *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(315):75-83.

3. Kandemir U., Herfat S., Herzog M., Viscogliosi P., Pekmezci M. Fatigue Failure in Extra-Articular Proximal Tibia Fractures: Locking Intramedullary Nail Versus Double Locking Plates-A Biomechanical Study. *J Orthop Trauma*. 2017;31(2):e49-e54. doi: 10.1097/BOT.0000000000000729.
4. Kim K.C., Lee J.K., Hwang D.S., Yang J.Y., Kim Y.M. Provisional unicortical plating with reamed intramedullary nailing in segmental tibial fractures involving the high proximal metaphysis. *Orthopedics*. 2007;30(3):189-192. doi: 10.3928/01477447-20070301-10.
5. Ries M.D., Meinhard B.P. Medial external fixation with lateral plate internal fixation in metaphyseal tibia fractures. A report of eight cases associated with severe soft-tissue injury. *Clin Orthop Relat Res*. 1990;(256):215-223.
6. Cherepov D.V., Kovalev S.I., Babalyan V.A., Davydov A.V., Khokhlov A.B., Goroshko S.A. et al. [Locking intramedullary osteosynthesis for extra-articular metaphyseal distal and proximal tibial fractures]. *Travma [Trauma]*. 2012;13(1):135-137 (In Russian).
7. Freedman E.L., Johnson E.E. Radiographic analysis of tibial fracture malalignment following intramedullary nailing. *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(315):25-33.
8. Kulkarni S.G., Varshneya A., Kulkarni S., Kulkarni G.S., Kulkarni M.G., Kulkarni V.S. et al. Intramedullary nailing supplemented with Poller screws for proximal tibial fractures. *J Orthop Surg (Hong Kong)*. 2012;20(3):307-311. doi: 10.1177/230949901202000308.
9. Lang G.J., Cohen B.E., Bosse M.J., Kellam J.F. Proximal third tibial shaft fractures. Should they be nailed? *Clin Orthop Relat Res*. 1995;(315):64-74.
10. Byun S.E., Maher M.H., Mauffrey C., Parry J.A. The standard sagittal starting point and entry angle for tibia intramedullary nails results in malreduction of proximal tibial fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2020;30(6):1057-1060. doi: 10.1007/s00590-020-02669-4.
11. Hak D.J. Intramedullary nailing of proximal third tibial fractures: techniques to improve reduction. *Orthopedics*. 2011;34(7):532-535. doi: 10.3928/01477447-20110526-19.
12. Henley M.B., Meier M., Tencer A.F. Influences of some design parameters on the biomechanics of the unreamed tibial intramedullary nail. *J Orthop Trauma*. 1993;7(4):311-319. doi: 10.1097/00005131-199308000-00003.
13. Katsoulis E., Court-Brown C., Giannoudis P.V. Incidence and aetiology of anterior knee pain after intramedullary nailing of the femur and tibia. *J Bone Joint Surg Br*. 2006;88(5):576-580. doi: 10.1302/0301-620X.88B5.16875.
14. Marchenko A.S., Fomin N.F., Grigoryan F.S. [Choice of a Method for Blocked Intramedullary Osteosynthesis in Tibial Fractures in the Context of Topographic-Anatomical Research]. *Zhurnal anatomii i gistopatologii [Journal of Anatomy and Histopathology]*. 2021;10(1):41-48. (In Russian). doi: 10.18499/2225-7357-2021-10-1-41-48.
15. Finkemeier C.G., Schmidt A.H., Kyle R.F., Templeman D.C., Varecka T.F. A prospective, randomized study of intramedullary nails inserted with and without reaming for the treatment of open and closed fractures of the tibial shaft. *J Orthop Trauma*. 2000;14(3):187-193. doi: 10.1097/00005131-200003000-00007.
16. Hansen M., Blum J., Mehler D., Hessmann M.H., Rommens P.M. Double or triple interlocking when nailing proximal tibial fractures? A biomechanical investigation. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2009;129(12):1715-1719. doi: 10.1007/s00402-009-0954-1.
17. Hontzsch D., Blauth M., Attal R. Angle-stable fixation of intramedullary nails using the Angular Stable Locking System(R) (ASLS). *Oper Orthop Traumatol*. 2011;23(5):387-396. doi: 10.1007/s00064-011-0048-4.
18. Zhao K., Lv H., Zhang C., Wang Z., Hou Z., Chen W. et al. Application of the multiplanar fracture redactor in the treatment of tibial shaft fractures with intramedullary nails. *Sci Rep*. 2021;11(1):8428. doi: 10.1038/s41598-021-87913-5.
19. Chelnokov AN, Vinogradskiy AE, Bekreev DA. [Modern intramedullary osteosynthesis – problems and solutions]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii [Traumatology and Orthopedics of Russia]*. 2006;(2):296-297. (In Russian).
20. Rommens P.M., Hessmann M.H. *Intramedullary nailing: a comprehensive guide*. London: Springer-Verlag; 2015. p. 331-344. doi: 10.1007/978-1-4471-6612-2.
21. Krettek C., Miclau T., Schandelmaier P., Stephan C., Möhlmann U., Tscherner H. The mechanical effect of blocking screws («Poller screws») in stabilizing tibia fractures with short proximal or distal fragments after insertion of small-diameter intramedullary nails. *J Orthop Trauma*. 1999;13(8):550-553. doi: 10.1097/00005131-199911000-00006.
22. Malyshev E.E., Pavlov D.V. [Combination of intramedullary and plate osteosynthesis in segmental proximal and diaphyseal tibial fractures]. *Genij Ortopedii*. 2010;(2):102-106. (In Russian).
23. Semenistyy A.A., Litvina E.A., Fedotova A.G., Gwam C., Mironov A.N. Fixator-assisted nailing of tibial fractures: New surgical technique and presentation of first 30 cases. *Injury*. 2019;50(2):515-520. doi: 10.1016/j.injury.2018.11.015.
24. Paley D. *Principles of deformity correction*. Berlin Heidelberg: Springer-Verlag; 2002. p. 31-60.
25. Semenistyy A.A., Litvina E.A., Fedotova A.G., Mironov A.N. [Peculiarities of intramedullary nailing in treatment of extraarticular proximal tibial fractures]. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova [Bulletin of traumatology and orthopedics them. N.N. Priorov]*. 2018;(1):57-65. (In Russian). doi: 10.17816/vto201825157-65
26. Müller M.E., Nazarian S., Koch P., Schatzker J. *The Comprehensive Classification of Fractures of Long Bones*. Berlin Heidelberg New York: Springer-Verlag; 1994. 202 p. doi: 10.1007/978-3-642-61261-9.
27. Schatzker J., McBroom R., Bruce D. The tibial plateau fracture. The Toronto experience, 1968–1975. *Clin Orthop Relat Res*. 1979;(138):94-104.

AUTHORS' INFORMATION:

Anton A. Semenistyy – Moscow City Clinical Hospital No. 13, Moscow, Russia

e-mail: an.semenistyy@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-5412-6202>

Elena A. Litvina – Dr. Sci. (Med.), Professor, Russian Medical Academy of Continuous Professional Education, Moscow, Russia; Inozemtcev Moscow City Clinical Hospital, Moscow, Russia

e-mail: alenaliv@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8540-0676>

Andrey N. Mironov – Moscow City Clinical Hospital No. 13, Moscow, Russia

e-mail: dr.mironov.andrey@gmail.com

<https://orcid.org/0000-0002-2002-5091>

Authors' contribution:

All authors made an equivalent contribution to the publication preparation.

All authors read and approved the final version of the article manuscript. All authors agree to be responsible for all aspects of the work to ensure proper consideration and resolution of all possible related issues to the correctness and significance of any part of the work.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.



Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases

Mikhail A. Mushkin¹, Aleksandr K. Dulaev¹, Znaur Yu. Alikov², Aleksandr Yu. Mushkin^{1,3}

¹ Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia

² Dzhanelidze St. Petersburg Scientific Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia

³ St. Petersburg State Research Institute of Phthysiolpulmonology, St. Petersburg, Russia

Purpose – to assess the relationship between duration of pathological symptoms developed due to tumor or infectious destruction of the spine, and the medium-term outcomes of urgent surgeries.

Methods: 84 patients with tumor (group 1, n = 43) and infectious (group 2, n = 41) lesions of the spine underwent decompression and stabilization procedures according to urgent indications in the period from 2016 to 2018. Neurological status (Frankel scale), pain intensity (VAS) and functional independence of patients (Karnofsky scale) were assessed before surgery, 3 months and 1 year after. Statistical relationship between outcomes and duration of the prehospital and hospital delay has been studied.

Results: 23 patients in each group had neurological deficit (53.5% and 56.1%), while the average duration of the prehospital period in those patients in both groups (Me) was 14.0 days. 11 out of 84 patients (13.1%), were hospitalized in the first 72 hours from the onset of vertebral syndrome; 6 (7.1%) of them had neurological disorders. An inverse correlation of high strength between the duration of neurological deterioration and the possibility of their improvement by 3 months after surgery was revealed in both groups ($r_{s1} = -0.793$ and $r_{s2} = -0.828$; $p < 0.001$) and there was no relationship between outcomes and the duration of the hospital period (surgery urgency) ($r_{s1} = -0.257$; $p = 0.283$ and $r_{s2} = -0.218$; $p = 0.330$). The possibility of neurological improvement after surgery ceases to be statistically significant after 14 days from the onset of pathological symptoms ($p_1 = 0.083$, $p_2 = 0.157$ for both groups, respectively), while the likelihood of a decrease in pain syndrome and functional dependence on others remains independent of the duration of the prehospital period.

Conclusions: In case of tumor or infectious spine lesions, urgent decompression and stabilization procedures reduce pain and improve the functional independence regardless of the duration of the prehospital period, while extension of prehospital period of more than 2 weeks is crucial for a reliable prognosis of neurological status improvement.

Keywords: destructive lesions of the spine, spondylitis, spondylodiscitis, metastatic spinal cord compression, decompression and stabilization surgeries.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Cite as: Mushkin M.A., Dulaev A.K., Alikov Z.Yu., Mushkin A.Yu. [Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):53-64. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1698>.

✉ Mikhail A. Mushkin; e-mail: mikhail_mushkin@mail.ru

Submitted: 05.11.2021. Accepted: 08.12.2021. Published Online: 13.12.2021.



Научная статья
УДК [616.711-006+616.711-022]-089
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1698>

Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у пациентов с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника

М.А. Мушкин¹, А.К. Дулаев¹, З.Ю. Аликов^{1,2}, А.Ю. Мушкин^{1,3}

¹ ГБОУ ВПО «Первый Санкт-Петербургский государственный медицинский университет им. акад. И.П. Павлова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия

³ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Цель исследования — оценить связь между длительностью вертеброгенной симптоматики, развившейся на фоне опухолевой или инфекционной деструкции позвоночника, и среднесрочными и отдаленными исходами операций, проведенных по неотложным показаниям. **Материал и методы.** 84 пациентам с опухолевым (группа 1, $n = 43$) и инфекционным (группа 2, $n = 41$) поражением позвонков по неотложным показаниям выполнены декомпрессивно-стабилизирующие операции. Неврологический статус (шкала Frankel), интенсивность болевого синдрома (визуально-аналоговая шкала, ВАШ) и функциональная независимость пациентов (шкала Карновского) оценены перед операцией, спустя 3 мес. и 1 год. Изучена статистическая связь исходов лечения с длительностью догоспитальной и госпитальной пауз.

Результаты. Неврологические нарушения на момент операции имели 23 пациента в каждой группе (53,5% и 56,1%); средняя длительность догоспитального периода у них (Me) составила 14,0 сут. Лишь 11 из 84 пациентов (13,1%) госпитализированы в первые 72 ч. после возникновения вертебрального синдрома, в т.ч. 6 (7,1%) с неврологическими расстройствами. Выявлена обратная корреляционная зависимость высокой силы между длительностью неврологических нарушений и возможностью их улучшения к 3 мес. после операции в обеих группах ($r_{s1} = -0,793$ и $r_{s2} = -0,828$; $p < 0,001$), а также отсутствие связи таких исходов с длительностью госпитального периода (экстренностью проведения операции) ($r_{s1} = -0,257$; $p = 0,283$ и $r_{s2} = -0,218$; $p = 0,330$). При госпитализации в сроки более 14 сут. от возникновения симптоматики возможность неврологического улучшения после операции перестает быть статистически значимой для обеих групп ($p_1 = 0,083$, $p_2 = 0,157$ соответственно), в то время как вероятность уменьшения болевого синдрома и функциональной зависимости от окружающих сохраняется независимо от длительности догоспитального периода. **Заключение.** При опухолевой и инфекционной деструкции позвонков неотложные декомпрессивно-стабилизирующие операции приводят к значительному уменьшению болевого синдрома и улучшению функциональной независимости пациентов в сроки 3 и 12 мес. после операции независимо от длительности догоспитального периода. Длительность догоспитального периода более 2 нед. является критической для прогнозирования улучшения неврологических расстройств после таких вмешательств.

Ключевые слова: деструктивные поражения позвоночника, спондилит, спондилодисцит, метастатическая компрессия спинного мозга, декомпрессивно-стабилизирующие операции.

Источник финансирования: Исследование выполнено в рамках государственного задания Минздрава России, номер регистрации в ЕГИСУ НИОКТР: АААА-А20-120021890131-4.

Мушкин М.А., Дулаев А.К., Аликов З.Ю., Мушкин А.Ю. Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у пациентов с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):53-64. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1698>.

Мушкин Михаил Александрович; e-mail: mikhail_mushkin@mail.ru

Рукопись получена: 05.11.2021. Рукопись одобрена: 08.12.2021. Статья опубликована онлайн: 13.12.2021.

Background

In 2019, the incidence rate of malignant neoplasms in Russia was 436.0 per 100,000 population [1]. Metastatic spinal lesions are registered in >20% of these patients and 5%–10% of cases are accompanied by metastatic spinal cord compression syndrome (MSCC) and neurological disorders [2, 3]. An acute vertebral syndrome is quite often the first manifestation of a tumor lesion, as >40% of patients in primary hospitalization in the spinal departments do not have an oncological history [4, 5]. As an interdisciplinary problem that requires a comprehensive oncological and neurosurgical, as well as traumatological and orthopedic approach, the adoption of decisions on approach is often delayed for a long time, increasing the risk of an unfavorable treatment outcome of this pathology in general [6].

The incidence of acute infectious lesions of the spine (spondylitis/spondylodiscitis) is 1.0–2.5 cases per 100,000 population, of which 5.8%–14.6% are complicated by sepsis and 1.2%–8.0% of cases lead to lethal outcomes [7, 8, 9]. The incidence of neurological disorders, in this case, ranges from 27.0% to 46.2% [10, 11]

Some patients with spinal tumor or infectious lesions in the presence of a high risk of a significant deterioration in the general condition and quality of life require emergency care. These conditions include the following [12, 13, 14, 15, 16]:

- the occurrence and/or increase in neurological symptoms due to compression myelo-, caudo-, or radiculopathy (spinal compression syndrome);
- instability of the spine, accompanied by an intense pain syndrome and the risk of compression of the spinal structures (instability syndrome).

The development of emergencies in vertebrology often implies the absence of a confirmed etiological diagnosis in a patient; therefore, emergency care mainly targets spinal cord decompression and spinal stabilization, i.e., medical care is provided not according to the etiological but according to the syndromic principle.

The surgery performed within the first 72 h after the onset of acute, primarily neurological disorders, is believed to provide the best outcomes for spinal metastatic lesions treatment [17]. However, in a real situation, patients are extremely rarely hospitalized within the indicated periods, which are due to both their low awareness of the need for early examination by a vertebrologist with minimal complaints and insufficient alertness of doctors at the initial pathologic manifestations. Concurrently, the duration of clinical complaints preceding hospitalization in specialized departments (the so-called prehospital pause) can af-

fect not only the well-being and quality of life of patients but also the treatment outcomes. Assuming a certain relationship between these parameters is logical: however, this has not been previously studied.

This study aimed to evaluate the relationship between the duration of vertebrogenic symptoms that developed in the presence of a spinal tumor or infectious destruction and the medium- and long-term surgical outcomes performed for urgent indications.

Methods

Study design

Figure 1 presents a block diagram of the selection of patients for the study. The primary sample was retrospectively formed based on a two-center cohort of patients aged 18 years and older with acute pathology of the thoracic and lumbar spine, who received emergency treatment in the departments of traumatology and orthopedics, neurosurgery of I.I. Dzhanelidze Research Institute of Emergency Medicine and the Pavlov State Medical University of Saint Petersburg (total base 841 patients). Both hospitals work 24/7 according to a unified system for providing emergency care to patients with spinal pathology in St. Petersburg. The period for collecting material was related to the direct work of the main authors of the publication (authors 1, 3) in these institutions during the period specified.

When forming the analyzed sample, 649 patients were excluded from the general database based on the nature of the disease, 91 patients due to the nature of the surgical intervention (non-decompressive-stabilizing surgeries), and 17 patients due to unsuitable medical documentation or archive of X-ray data for analysis. Thus, the final analyzed sample was retrospectively formed, including 84 patients who, in presence of tumor (group 1, $n = 43$) or infectious (group 2, $n = 41$) lesions of the vertebrae, underwent decompressive-stabilizing surgeries for emergency indications.

The study subject was the assessment of the dynamics of the parameters that are most reproducible in the condition analysis of patients with spinal pathology in need of urgent surgical treatment. Neurological status was assessed using the Frankel scale (types A-E), included in the AIS/ASIA standard for the study of patients with spinal cord injury/lesion [17, 18, 19]. The pain syndrome severity was assessed subjectively using a visual analog scale from 0 to 10 points. The functional independence of patients was assessed using the Karnofsky scale from 10 to 100 points, where 100 points means complete independence in the absence of any functional restrictions for self-service and movement [20].

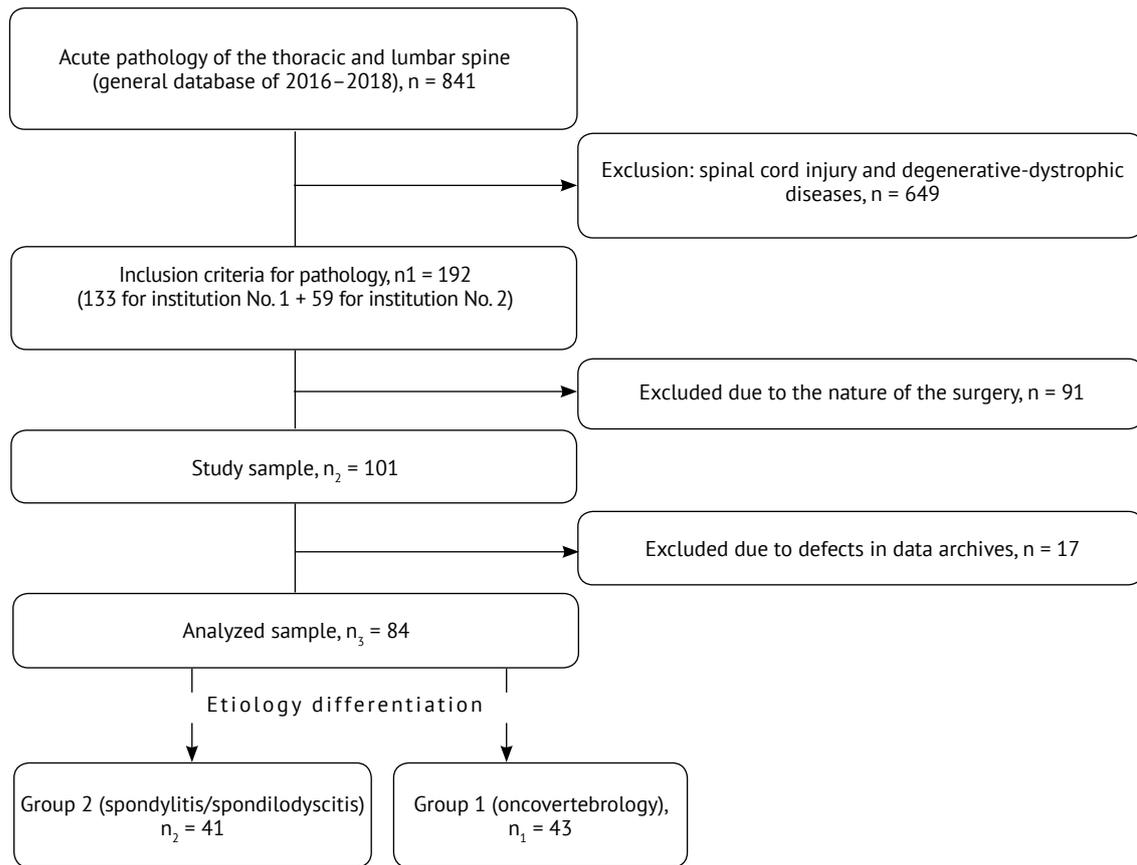


Fig. 1. Patient selection flowchart

These parameters were entered into the medical documentation during hospitalization and clinical control at 3 and 12 months after emergency surgery. The most convenient time for evaluating the so-called medium-term results of treatment is at 3 months postoperatively, since such period of predicted survival is considered as a criterion for the possibility of performing “major” spinal surgeries for tumor lesions [21], and L. Lenke et al. believe that a stable level of somatic nutritional recovery of the patient is formed after any of spinal reconstructions in this period [22].

The statistical relationship of treatment outcomes with the prehospital pause duration was studied, i.e., with the timing of the development of the condition that led to the hospitalization of the patient; the term “pause” seems to us more convenient than the concept of “delay” adopted in the English literature [23].

Statistical analysis

The statistical processing of the material was performed in the International Business Machines Statistical Package for the Social Sciences (IBM SPSS) Statistics 22 program. The nature of the distribution of quantitative parameters in groups was assessed using the nonparametric Kolmogorov–Smirnov test. The significant changes in the indicator within the

groups were tested using the Wilcoxon test and that of intergroup differences was tested using the Mann–Whitney U-test with an abnormal distribution or the t-test (after assessment of the Levene test for homogeneity of variances [$p > 0.05$]) and in the case of normal quantitative data distribution (age of patients). The correlation between the parameters and the duration of the prehospital and hospital pauses primarily changes in the neurological status of patients who had such disorders during admission was studied. The influence of factors on treatment outcomes in each group was assessed using a two-sided Spearman correlation analysis r_s with correlation strength determination (<0.3 indicated as weak, 0.3–0.7 meant medium, and 0.7 and more indicated strong) and its orientation due to the abnormal distribution of the analyzed parameters.

The analyzed factors using the Spearman correlation include 1) the number of days from the moment of manifestation of urgent vertebral syndrome to the hospitalization or the moment of hospitalization to surgery and 2) change in the neurological status over time.

The types of the Frankel scale were assigned numerical values (points) (A was 1, B was 2, C was 3, D was 4, and E was 5) in statistical analysis, and changes in the indicator were assessed at 3 and 12

months after the surgery, both in comparison with the baseline and among themselves. A multiple regression model was used to test the results (dependent variable was Frankel dynamics; and the independent variable was days from the moment of hospitalization to surgery, days from the moment of deterioration to hospitalization) using the logarithmic transformation function of independent variables SPSS (Ln). Given the two independent analyzed variables, the backward stepwise method was chosen. The data of the standard β -coefficient of the regression model with the construction of scatterplots is presented to determine the strength and type of relationship. Changes were considered statistically significant at $p < 0.05$.

The mean values of the parameters in the groups were calculated using the descriptive statistics method (the results are presented for normal distribution as $M \pm \sigma$ [where M is the mean value, σ is the standard deviation], as well as Me [Q25; Q75] (Me is the median, the first and third quartiles)) for non-normal distribution of data. Thus, within the retrospective two-center cohort study, the methodologies of factorial (PPO) and comparative analysis were used.

Detailing the options for surgical interventions is not the subject of analysis, and their clarification is not given in this work. We consider it fundamental that patients with MSCC syndrome complicated by neurological disorders underwent decompressive-stabilizing interventions stabilizing or reconstructive-stabilizing surgeries in case of instability without neurological disorders; radical sanitizing, if possible, including decompressive and stabilizing surgeries in infectious processes.

Results

The distribution of patients by gender, age, and nature of urgent vertebrogenic syndrome, which caused emergency hospitalization, is presented in Table 1.

From 3 to 12 months, 8 patients died after the surgery due to disease progression or other causes, including 7 patients from group 1 (during hospitalization 6 of them had neurological disorders of varying severity, namely Frankel A–D) and 1 patient from group 2 who had baseline paraplegia, type Frankel A.

In group 1, during the emergency hospitalization, only 22 (51%) patients had a known oncological history (Fig. 2).

Table 1

Distribution of patients by gender, age, and nature of urgent vertebrogenic syndrome

Etiology	Mean age ($M \pm \sigma$)	Gender, n (%)	Major clinical symptom	
			Neurological disorders	Pain syndrome
Tumor lesion	58.91±12.63	male – 25 (58%); female – 18 (42%)	23 (53%)	20 (47%)
Nonspecific spondylitis/ spondylodiscitis	58.05±15.45	25 (61%); 16 (39%)	23 (56%)	18 (44%)
p-value	0.781*	0.792**	0.811**	
Total			46 (55%)	38 (45%)

* – t-test; ** – Mann–Whitney U-test.

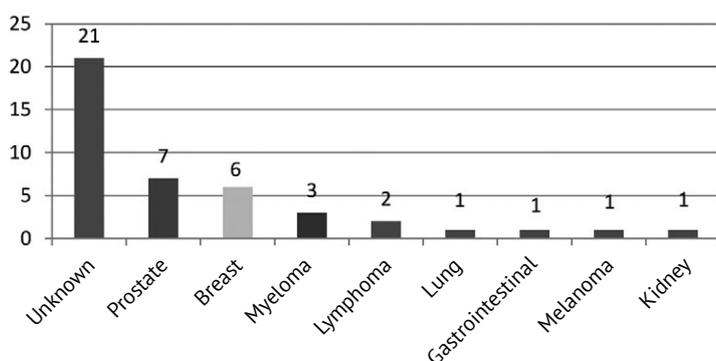


Fig. 2. Distribution of patients with metastatic vertebral fractures by types of primary tumors (localization) at the time of emergency admission

Our data analysis drew attention to the real situation with early hospitalization of patients with urgent vertebral pathology, which is extremely far from ideal. Initially, the chronometric ranking of the prehospital stage was performed considering the criterion recommended for urgent care at 72 h from the onset/increase of neurological deficit [15] (Table 2).

During hospitalization, 23 out of 43 patients in group 1 had neurological disorders of varying severity, while only 10 of them were hospitalized in emergency spinal surgery centers at week 1 after the onset of vertebral syndrome and only 6 in the first 72 h. During hospitalization, of the 41 patients with infectious spondylitis, 23 also had neurological disorders, of which 11 were hospitalized in the first 7 days and 5 in the first 72 h.

Therefore, in the first 3 days, only 11 (13.1%) of 84 patients in both groups were hospitalized. Only 6 (7.1%) of them had neurological disorders (types A-D according to Frankel), and recommendations for early decompressive surgery aimed at achieving regression of severe neurological disorders (lower paraplegia) could potentially be used in 3 (3.6%) patients [15].

The main chronometric indicators of patients in both groups, differentiated according to the presence or absence of neurological disorders in the patient, are presented in Table 3.

Comparison of indicators of neurological disorder severity, pain syndrome severity, and functional dependence on others are presented in Tables 4 and 5.

The results of neurological status changes are presented only 3 months after the surgery due to the absence of significant differences after 3 and 12 months,

which was statistically confirmed with $p = 0.317$ for group 1 and $p = 0.083$ for group 2.

Thus, significant positive neurological status changes were noted in patients with metastatic lesions both in severe plegia (type B according to Frankel) and mild paresis (type D), whereas in infectious spondylitis group only in patients with mild paresis. Concurrently, significant positive changes were noted by the end of the follow-up in both the pain syndrome severity and the Karnofsky score in both nosological groups.

The correlation analysis revealed a strong inverse relationship between the duration of neurological disorders before hospitalization and a possible improved neurological status after surgery in both groups ($r_s = -0.828$ and $r_s = -0.822$; $p < 0.001$), which was quite expected. Unexpectedly, no relationship was found between such outcomes and hospital period duration before the surgery, i.e., with surgical urgency ($r_s = -0.082$; $p = 0.711$ and $r_s = -0.223$; $p = 0.306$). The data were confirmed by the regression analysis results (Table 6, Figs. 3, 4).

The duration of the prehospital period was ranked by 7-day intervals for statistical analysis due to the small number of hospitalized patients within the first 72 h after the onset of symptoms. The distribution of patients is presented in Table 7.

The subsequent analysis revealed that for both clinical groups with a hospitalization period of >14 days from the appearance of complaints, the possibility of improving the neurological deficit ceases to be statistically significant ($p = 0.083$ for tumor lesions and $p = 0.157$ for infectious ones), while the probability of their improvement remains for any prehospital period duration for pain syndrome and the Karnofsky scale (Table 8).

Table 2

The distribution of patients with spinal tumor and infectious lesions, according to the nature of neurological disorders, hospitalized within the first 72 h after the onset of complaints

Severity of neurological disorders according to Frankel	Group 1	Group 2
A	–	–
B	3	–
C	1	–
D	–	2
E	2	3
Total	6	5

Table 3

Main chronometric indicators of the prehospital stage

Chronometric indicator	Values of the indicator, days		p-value, Mann-Whitney test
	Me (Q25; Q75)	(min; max)	
For patients with neurological deficit			
from the moment of deterioration to hospitalization group 1 (n = 23) group 2 (n = 23)	14.0 (6.0; 19.0) 14.0 (7.0; 24.0)	(2; 26) (3; 71)	0.230
from hospitalization to surgery group 1 (n = 23) group 2 (n = 23)	2.0 (1.0; 3.0) 2.0 (1.0; 3.0)	(0; 9) (1; 4)	0.422
from the moment of deterioration to the surgery group 1 (n = 23) group 2 (n = 23)	16.0 (8.0; 23.0) 17.0 (10.75; 26.25)	(3; 29) (5; 75)	0.642
For patients without neurological impairment			
from the moment of deterioration to hospitalization group 1 (n = 20) group 2 (n = 18)	22.5 (14.25; 40.0) 14.5 (6.25; 30.0)	(2; 80) (3; 45)	0.048
from hospitalization to surgery group 1 (n = 20) group 2 (n = 18)	3.0 (2.0; 7.5) 5.0 (3.75; 6.0)	(1; 14) (1; 14)	0.126
from the moment of deterioration to the surgery group 1 (n = 20) group 2 (n = 18)	33.5 (16.0; 45.75) 20.0 (13.50; 33.25)	(6; 84) (5; 50)	0.077

Table 4

The distribution of patients according to the nature of neurological disorders

Severity of neurological disorders according to Frankel	Group 1 (n = 43)			Group 2 (n = 41)		
	Admission	After 3 months	p	Admission	After 3 months	p
A	1	1		1	1	
B	6	1	0.034	3	2	0.317
C	4	1	0.063	3	1	0.083
D	12	10	0.005	16	8	0.001
E	20	30	1.0	18	29	1.0

Table 5

The distribution of patients according to the pain syndrome severity and functional dependence on others with the Wilcoxon test significant assessment

Assessed criterion of quality of life	Group 1 (n = 43)				Group 2 (n = 41)			
	Admission (t1)	3 months (t2)	12 months (n = 36) (t3)	p (t1,2) p (t2,3)	Admission (t1)	3 months (t2)	12 months (n = 40) (t3)	p (t1,2) p (t2,3)
Pain intensity (Mean ± SD)	7.56±1.24	2.37±1.12	1.67±1.28	<0.001 0.002	6.80±1.36	2.20±0.98	1.88±1.06	<0.001 0.005
Karnofsky score (Mean ± SD)	56.74±17.83	80.23±14.56	83.61±13.12	<0.001 0.346	54.15±13.41	76.10±16.41	79.00±15.15	<0.001 0.046

Table 6

Assessment of linear regression scores

Model	Independent variables	Standardized β coefficients (groups 1; 2)	Significance (groups 1; 2)
1	Days from deterioration to hospitalization (Ln) Days from hospitalization to surgery (Ln)	-0.803; -0.723 0.223; -0.107	<0.001; <0.001 0.149; 0.484
2	Days from deterioration to hospitalization (Ln)	-0.749; -0.741	<0.001; <0.001

Dependent variable: Frankel dynamics.

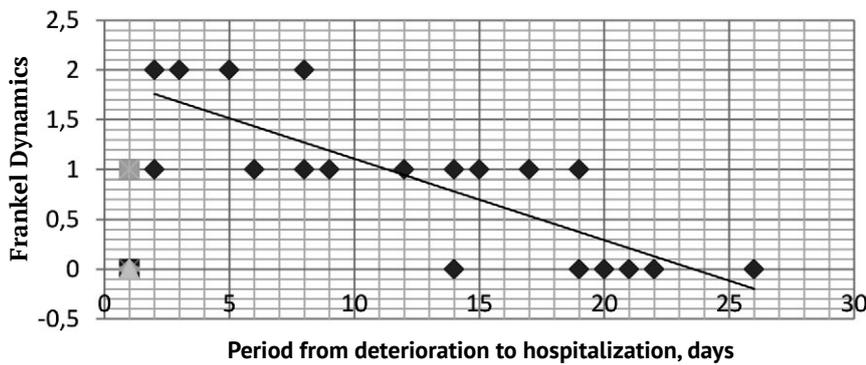


Fig. 3. Scatter plot for the analyzed factors of group 1

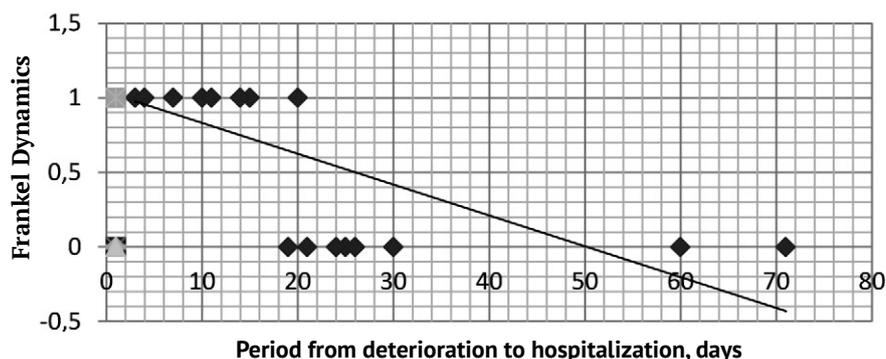


Fig. 4. Scatter plot for the analyzed factors of group 2

Table 7

The distribution of patients of groups 1 and 2 over the 7-day intervals

Duration of the prehospital period	Group 1		Group 2	
	n	%	n	%
≤7 days	10	24	11	26
>7, но ≤ 14 days	9	20	11	29
> 14 days	24	56	19	45
Total	43	100	41	100

Table 8

Changes in neurological state, pain syndrome severity, and functional dependence on others depending on the duration of prehospital complaints

Prehospital duration of vertebral syndrome	Wilcoxon test value (months 3/12)					
	Group 1			Group 2		
	Frankel	VAS	Karnofsky scale	Frankel	VAS	Karnofsky scale
≤7 days	0.014/0.083*	0.005/0.027	0.005/0.026	0.014/0.020	0.003/0.003	0.003/0.003
7–14 days	0.011/0.011	0.008/0.007	0.007/0.011	0.008/0.011	0.003/0.003	0.003/0.003
>14 days	0.083/0.083	<0.001/<0.001	<0.001/<0.001	0.157/0.083	<0.001/<0.001	<0.001/<0.001

* The Wilcoxon test value was $p = 0.083$ in group 1 for patients hospitalized in week 1 from the onset of vertebral syndrome, probably associated with the death of 4 out of 10 patients who had positive ranks when assessed after 3 months.

Discussion

In the context of planned surgical care for patients with spinal destructive lesions, verification of the tumor or infectious etiology of the process is of fundamental importance, and the doctor has a certain amount of time for diagnostic procedures and the choice of etiologically justified treatment. Contrarily, under urgent conditions, verification is usually simultaneously performed with the elimination of spinal

cord compression syndromes and spinal instability, which, in the case of a retrospectively established tumor process, becomes the subject of discussion about the priority of one or another component of the neurological, oncological, or mechanical strategy in the choice of approach [24].

In the medical literature, the issues of postoperative regression of neurological complications in the presence of a vertebral tumor and infectious lesions

are usually analyzed depending on the hospital pause duration, i.e., from the patient's admission to the hospital. Moreover, if most authors promptly recommend assisting such patients [5, 8, 12, 15] then the results of such assistance are assessed extremely ambiguously. Both the benefit of early surgical treatment [25] and the lack of fundamental advantages of early (relative to the time of hospitalization) spinal cord surgical decompression have been indicated [26, 27]. The characteristic of the prehospital pause duration in such patients is not discussed i.e., initially, an ideal clinical situation is considered, which involves patient hospitalization when the first signs of vertebral pathology appear, primarily neurological disorders, which is extremely far from reality according to our study.

Problems of adequate routing of such patients exist not only in Russia but researchers from the Netherlands and Canada are now paying attention to this [23]. Patients from risk groups, primarily oncological (primary and secondary immunodeficiency can also be included) with complaints of spinal pathology characteristics are monitored for days and sometimes weeks by neurologists, traumatologists, and oncologists against the increasing symptoms. Our data revealed that under conditions of such a metropolis as St. Petersburg, almost half of patients are admitted to spinal centers later than 2 weeks after the onset of vertebral, including neurological symptoms, and only 13.6% of patients are admitted within the first 3 days. This disables the statistical confirmation or refutes the thesis about the early decompression efficiency in the analyzed category of patients. However, if the duration of neurological disorders is >14 days, the possibility of their regression after surgery becomes statistically insignificant (i.e., unpredictable). This does not exclude the possibility of regression of disorders during surgeries performed at a later date but considers 2 weeks as an additional critical criterion for an objective treatment outcomes prognosis of this pathology.

The shorter duration of the prehospital pause that we noted in group 2 without neurological disorders may be associated with greater pain intensity in presence of a local inflammatory process (the task of testing this hypothesis was not set in this study).

Regardless of the prehospital period duration, emergency treatment significantly reduces pain and improves the functional independence of patients, while the positive dynamics of these indicators are noted throughout the year after surgery. An important and unexpected study result was not the confirmation of a strong inverse correlation between the duration of neurological disorders and the possibility of their regression after surgery, but the absence of such relationship with the hospital preoperative duration, i.e., with surgical urgency.

Conclusions

The analysis of the influence of specialized medical care timing on such criteria as functional dependence revealed that the severity of pain syndrome and the possibility of regression of neurological disorders is important not only for an objective prognosis of treatment outcomes of patients with spinal tumor and infectious pathology but also for optimizing the system to provide them with specialized care. Firstly, informing the patients from risk groups (a cohort of oncological dispensaries, patients with immunodeficiency conditions) about the possibility of a secondary spinal lesion in them and the possibility/necessity of early contact with specialized spinal clinics is necessary. Reducing the hospitalization time of patients in such hospitals requires the development of regional recommendations on routing, primarily for neurologists and trauma orthopaedists.

In our opinion, information and organizational solutions can provide a more significant medical and social effect for such patients than the improved certain urgent surgical interventions. Timely referral of patients to specialized clinics before the development of an emergency condition will provide a sufficient reserve of time for a comprehensive diagnostics of spinal destructive lesions (including before the onset of severe neurological disorders that have the least potential for recovery) and the choice of not only syndromic but also etiologically justified treatment.

References

1. Kaprin A.D., Starinskiy V.V., Shakhzadova A.O. [*Malignant neoplasms in Russia in 2019 (morbidity and mortality)*]. Moscow; 2020. 252 p.
2. Hatrick N.C., Lucas J.D., Timothy A.R., Smith M.A. The surgical treatment of metastatic disease of the spine. *Radiother Oncol.* 2000;56(3):335-339. doi: 10.1016/s0167-8140(00)00199-7.
3. Bailar J.C. 3rd, Gornik H.L. Cancer undefeated. *N Engl J Med.* 1997;336(22):1569-1574. doi: 10.1056/NEJM199705293362206.
4. Dulaev A.K., Alikov, Z.Ju., Goranchuk D.V., Dulaeva N.M., Mushkin, M.A., Dulaev D.V. et al. [Urgent specialized treatment of patients with tumor lesions of the spine]. *Kafedra travmatologii i ortopedii* [Department of Traumatology and Orthopedics]. 2016;(Special issue):93. (In Russian).
5. Wänman J., Grabowski P., Nyström H., Gustafsson P., Bergh A., Widmark A. et al. Metastatic spinal cord compression as the first sign of malignancy. *Acta Orthop.* 2017;88(4):457-462. doi: 10.1080/17453674.2017.1319179.

6. Ptashnikov D.A., Magomedov Sh.Sh., Tatarintsev A.P., Rominskiy S.P. [Analysis of classifications and algorithms of surgical treatment for spinal tumors, modern approach in planning]. *Voprosy onkologii* [Problems in Oncology]. 2018;64(2):185-189. (In Russian). doi: 10.37469/0507-3758-2018-64-2-185-189.
7. Tihodeev S.A., Vishnevskiy A.A. [*Nonspecific osteomyelitis of the spine*]. Moscow: SPbMAPO; 2004. 175 p. (In Russian).
8. Mushkin A.Yu., Vishnevsky A.A., Peretsmanas E.O., Bazarov A.Yu., Basankin I.V. [Infectious lesions of the spine: draft national clinical guidelines]. *Hirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2019;16(4):63-76. (In Russian). doi: 10.14531/ss2019.4.63-76.
9. Turunc T., Demiroglu Y.Z., Uncu H., Colakoglu S., Arslan H. A comparative analysis of tuberculous, brucellar and pyogenic spontaneous spondylodiscitis patients. *J Infect.* 2007;55(2):158-163. doi: 10.1016/j.jinf.2007.04.002.
10. Butler J.S., Shelly M.J., Timlin M., Powderly W.G., O'Byrne J.M. Nontuberculous pyogenic spinal infection in adults: a 12-year experience from a tertiary referral center. *Spine.* 2006;31(23):2695-2700. doi: 10.1097/01.brs.0000244662.78725.37.
11. Feki A. Akrouf R., Masmoudi K., Sellami I., Ezzeddine M., Mnejja M.A. et al. Infectious spondylodiscitis: A twenty-year experience from a single tertiary referral center. *Egyptian Rheumatologist.* 2019;41(3):231-235. doi: 10.1016/j.ejr.2018.07.006. Available from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1110116418301005#!>.
12. Marco R.A.W., Brindise J., Dong D. MOSS: A patient-centered approach. In: *Metastatic Spine Disease: A Guide to Diagnosis and Management*. Springer; 2018. p. 1-20. doi: 10.1007/978-3-319-76252-4_1.
13. Vialle L.R., Rajasekaran S., Kanna R.M., Barbagallo G. AOSpine: Masters Series, Vol. 10: *Spinal Infections*, Thieme; 2018. doi: 10.1055/b-006-149770. Available from: https://medone.thieme.com/ebooks/2316184#/ebook_2316184_SL86888313.
14. Yarikov A.V., Fraerman A.P., Perlmutter O.A., Denisov A.A., Masevnin S.V., Smirnov I.I. et al. [Nonspecific Pyoinflammatory Lesions of the Spine: Spondylodiscitis, Epiduritis]. *Zhurnal im. N.V. Sklifosovskogo. Neotlozhnaya meditsinskaya pomoshch'* [Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care]. 2019;8(2):175-185. (In Russian). doi: 10.23934/2223-9022-2019-8-2-175-185.
15. Dulaev A. K., Manukovskii V.A., Kutianov D.I., Brizhan' S.L., Dulaeva N.M., Bulakhtin Iu.Iu. et al. [Diagnosis and treatment tactics of specialized medical care provided for patients with spinal disorders at an emergency unit of spinal surgery] *Genij Ortopedii.* 2017;23(4):429-438. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2017-23-4-429-438.
16. Mushkin A.Ju., Vishnevskij A.A. [Clinical recommendations for the diagnosis of infectious spondylitis (draft for discussion)]. *Meditsinskii al'yans* [Medical Alliance]. 2018;(3):65-74. (In Russian).
17. Frankel H.L., Hancock D.O., Hyslop G., Melzak J., Michaelis L.S., Ungar G.H. et al. The value of postural reduction in the initial management of closed injuries of the spine with paraplegia and tetraplegia. *Paraplegia.* 1969;7(3):179-192. doi: 10.1038/sc.1969.30.
18. Kirshblum S.C., Burns S.P., Biering-Sorensen F., Donovan W., Graves D.E., Jha A. et al. International standards for neurological classification of spinal cord injury (revised 2011). *J Spinal Cord Med.* 2011;34(6):535-546. doi: 10.1179/204577211X13207446293695.
19. Kirshblum S., Waring W. 3rd. Updates for the International Standards for Neurological Classification of Spinal Cord Injury. *Phys Med Rehabil Clin N Am.* 2014;25(3):505-517. vii. doi: 10.1016/j.pmr.2014.04.001.
20. Karnofsky D.A. The clinical evaluation of chemotherapeutic agents in cancer. In: *Evaluation of Chemotherapeutic Agents*. New York: Columbia University Press; 1949. pp.191-205.
21. National Collaborating Centre for Cancer (UK). *Metastatic Spinal Cord Compression: Diagnosis and Management of Patients at Risk of or with Metastatic Spinal Cord Compression*. Cardiff (UK): National Collaborating Centre for Cancer (UK); 2008.
22. Lenke L.G., Bridwell K.H., Blanke K., Baldus C. Prospective analysis of nutritional status normalization after spinal reconstructive surgery. *Spine (Phila Pa 1976).* 1995;20(12):1359-1367.
23. van Tol F.R., Versteeg A.L., Verkooijen H.M., Öner F.C., Verlaan J.J. Time to Surgical Treatment for Metastatic Spinal Disease: Identification of Delay Intervals. *Global Spine J.* 2021;2192568221994787. doi: 10.1177/2192568221994787.
24. Laufer I., Rubin D.G., Lis E., Cox B.W., Stubblefield M.D., Yamada Y. et al. The NOMS framework: approach to the treatment of spinal metastatic tumors. *Oncologist.* 2013;18(6):744. doi: 10.1634/theoncologist.2012-0293.
25. Fan Y., Zhou X., Wang H., Jiang P., Cai S., Zhang J. et al. The timing of surgical intervention in the treatment of complete motor paralysis in patients with spinal metastasis. *Eur Spine J.* 2016;25(12):4060-4066. doi: 10.1007/s00586-016-4406-7.
26. Quraishi N.A., Rajagopal T.S., Manoharan S.R., Elsayed S., Edwards K.L., Boszczyk B.M. Effect of timing of surgery on neurological outcome and survival in metastatic spinal cord compression. *Eur Spine J.* 2013;22(6):1383-1388. doi: 10.1007/s00586-012-2635-y.
27. Pipola V., Terzi S., Tedesco G., Bandiera S., Brødano G.B., Ghermandi R. et al. Metastatic epidural spinal cord compression: does timing of surgery influence the chance of neurological recovery? An observational case-control study. *Support Care Cancer.* 2018;26(9):3181-3186. doi: 10.1007/s00520-018-4176-3.

AUTHORS' INFORMATION:

Mikhail A. Mushkin — Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
e-mail: mikhail_mushkin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8520-9425>

Aleksandr K. Dulaev — Dr. Sci. (Med.), Professor, Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
e-mail: akdulaev@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4079-5541>

Znaur Yu. Alikov — Dzhanlidze St. Petersburg Scientific Research Institute of Emergency Medicine, St. Petersburg, Russia
e-mail: znauritto@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6698-7707>

Aleksandr Yu. Mushkin — Dr. Sci. (Med.), Professor, St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology; Pavlov First St. Petersburg State Medical University, St. Petersburg, Russia
e-mail: aymushkin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1342-3278>

Authors' contribution:

Mushkin M.A. — collected and processed the material, performed an analysis of the literature, interpreted the results obtained and wrote the text.

Dulaev A.K. — performed coordination of participants in the study, interpreted and analyzed the data obtained.

Alikov Z.Yu. — collected and processed the material, reviewed the literature.

Mushkin A.Yu. — developed the concept and design of the article, reviewed the literature, wrote and edited the text.

All authors read and approved the final version of the manuscript. All authors agree to be responsible for all aspects of the work to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and significance of any part of the work.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.

Комментарий

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1715>

Редакционный комментарий к статье М.А. Мушкина с соавторами «Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у больных с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника»

Д.А. Пташников^{1,2}¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия² ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

В редакционном комментарии анализируется современное состояние проблемы оказания медицинской помощи пациентам с ургентным состоянием, вызванным патологическими переломами позвонков и компрессией спинного мозга на фоне деструктивных изменений. Редкая встречаемость патологии и недостаток объективных данных обуславливают отсутствие консенсуса об организации помощи этой категории пациентов. Исследование М.А. Мушкина с соавторами помогает понять, как влияет догоспитальная пауза на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у пациентов с опухолевым и инфекционным поражениями позвоночника, а также определить, какое время есть в распоряжении хирурга. Автор комментария считает, что необходимо тесное сотрудничество травматологов-ортопедов, нейрохирургов, онкологов для решения этой проблемы. Даже несмотря на отсутствие онколога в штате скоромощных стационаров, телемедицина позволяет своевременно получать организационно-методическую поддержку для корректного принятия решения по каждому пациенту. Не менее важно взаимодействие между клиницистами, лучевыми диагностами и патоморфологами. Важным аспектом является преемственность в оказании помощи пациентам. Выполненная в неотложном порядке операция по декомпрессии спинного мозга является лишь этапом комплексного лечения. Таким пациентам должна быть организована точная маршрутизация в зависимости от диагноза и ближайшего исхода лечения.

Ключевые слова: деструктивные поражения позвоночника, спондилит, спондилодисцит, метастатическая компрессия спинного мозга, декомпрессивно-стабилизирующие операции.

Comment

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1715>

Editorial Comment on the Article by Mushkin M.A. et al. “Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases”

Dmitry A. Ptashnikov^{1,2}¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russia

Пташников Д.А. Редакционный комментарий к статье М.А. Мушкина с соавторами «Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у больных с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника». *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):65-68. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1715>.

Ptashnikov D.A. [Editorial Comment on the Article by Mushkin M.A. et al. “Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases”]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):65-68. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1715>.

Пташников Дмитрий Александрович / Dmitry A. Ptashnikov; e-mail: drptashnikov@yandex.ru

Рукопись получена: 14.12.2021. Статья опубликована: 17.12.2021.
Submitted: 02.12.2021. Published: 17.12.2021.

© Пташников Д.А., 2021
© Ptashnikov D.A., 2021

The editorial comment evaluates the current state of issue of medical care at urgent states caused by pathological vertebral fractures and spinal cord compression in patients with spine destructive diseases. The rare occurrence of pathology and the deficiency of objective data determine the lack of consensus on the medical care for this category of patients. The article by M.A. Mushkin et al helps to understand how the prehospital pause affects the outcomes of emergency decompression and stabilization procedures in patients with tumor and infectious diseases of the spine, as well as to determine how much time the surgeon has at his disposal. The author of the comment believes that close cooperation of orthopedic surgeons, neurosurgeons, oncologists is necessary to solve this problem. Even despite the absence of oncologists in the staff of emergency hospitals, telemedicine allows to receive methodological support in a timely manner for making a correct decision for each patient. Interaction between clinicians, radiologists and pathologists is equally important. An important aspect is continuity in patient care. An urgently performed spinal cord decompression is only a stage of the complex treatment. Such patients should be provided with accurate routing depending on the diagnosis and the treatment early outcome.

Keywords: spondylitis, spondylodiscitis, metastatic spinal cord compression, decompression and stabilization surgeries.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Современное состояние проблемы

Ургентные состояния в вертебрологии на протяжении многих десятилетий вызывают устойчивый интерес у специалистов. И если в отношении пациентов с травмами позвоночника и спинного мозга на сегодняшний день достигнут определенный консенсус — созданы общепризнанные классификации, позволяющие определять тактику лечения и прогнозировать его исходы, известны оптимальные сроки оперативного лечения, то ургентные состояния, вызванные патологическими переломами позвонков и компрессией спинного мозга на фоне деструктивных изменений, остаются нерешенной проблемой современности.

Деструктивные процессы имеют различную этиологию: первичные и метастатические опухоли, гнойные, туберкулезные и паразитарные поражения, метаболические процессы. Это приводит к патологическим переломам на фоне нормальной физиологической нагрузки, компрессионно-ишемическим изменениям в нервных структурах и неврологическим расстройствам. При этом механизмы их развития отличаются от таковых при травме, что позволяет более оптимистично смотреть на сроки оказания помощи. Но редкая встречаемость патологии не позволяет получить достаточно объективных данных, что обуславливает отсутствие консенсуса по проблеме помощи этой категории пациентов.

Большинство хирургов при столкновении с неотложным состоянием на фоне деструктивного процесса в позвоночнике, вызванного опухолевым или инфекционным поражением, выбирают синдромальный подход, обосновывая его профилактикой развития жизнеугрожающих состояний и негативных последствий для здоровья пациента. Более того, современные знания о сроках оказания помощи пациентам при развитии неврологического дефицита можно выразить словами: «Чем раньше, тем лучше». Здесь сказываются несколько факторов: смежная область травмы позвоночника, где функциональный результат при неполном повреждении спинного мозга зависит от сроков

оказания медицинской помощи [1]; влияние неврологического дефицита на качество жизни пациента, которое по своим показателям становится отрицательным (быть прикованным к постели с болями — хуже, чем смерть) [2]. Все это оказывает психологическое давление на специалиста, который принимает решение о тактике лечения.

Складывается тревожная ситуация. В арсенале спинальных хирургов содержатся алгоритмы и классификации для первичных и вторичных опухолей позвоночника [3, 4, 5], инфекционных спондилитов [6], патологических переломов на фоне остеопороза [7] и прочие специфические гайдлайны. Но у нас нет адекватных инструментов для комплексной оценки деструктивного процесса как синдрома. Здесь мы сталкиваемся с тем, что любая система поддержки принятия решений имеет две крайности: недостаточная точность или недостаточное обобщение.

Более осторожная стратегия может привести к потере ценного времени. Сроки морфологической верификации и маршрутизации больного могут варьировать, составляя в среднем 21 день [8]. А при наличии сопутствующей соматической патологии, требующей коррекции, сроки оказания помощи могут растягиваться до 47 суток [9]. В итоге мы получаем пациента с понятным диагнозом, согласованной тактикой лечения и подготовленного к операции, но с возможными плохими перспективами для восстановления функции спинного мозга.

Что нам дает эта публикация

Представленное исследование М.А. Мушкина с соавторами [10] помогает понять то, что хотят знать многие из специалистов, активно занимающихся хирургией опухолей позвоночника и гнойных спондилитов. Как влияет догоспитальная пауза на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у больных с опухолевым или инфекционным поражением позвоночника? Какое время есть в нашем распоряжении?

Лишь 13% пациентов с показаниями к неотложной операции госпитализировались в рекомендо-

ванные 72 ч. И авторы определили временной порог в 14 суток, который являлся критическим для возможности восстановления неврологической функции. Наши собственные результаты лечения пациентов с метастатическими опухолями позвоночника свидетельствуют, что временной промежуток может быть шире и достигать 66 дней. Это исследование сигнализирует о наличии серьезных организационных проблем отечественной медицины. Полученные авторами результаты следует рассматривать не с позиции дозволенного ожидания, а как побуждение к переменам.

Комплексная патология, проявляющаяся неудовлетворительными результатами лабораторных и инструментальных методов исследования, с одной стороны, быстро развивающиеся технологии общей онкологии, нейрохирургии и ортопедии, с другой стороны, а также ограниченные исследования в области лечения больных с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника — все это исключает простые и универсальные решения. В этой ситуации созрела необходимость тесного сотрудничества травматологов-ортопедов, нейрохирургов, онкологов в мультидисциплинарных командах, продвижения исследовательских инициатив, а также оглашения собственных полученных результатов. Такое тесное взаимодействие определенно возможно сегодня. Даже несмотря на частое отсутствие онколога в стационарах скорой помощи, современные технологии телемедицины позволяют своевременно получать организационно-методическую и лечебную поддержку в принятии решения по конкретному пациенту.

Пути решения проблемы

Лучшей проверкой качества системы здравоохранения является критерий: помогает ли она тем людям, которым она намеревается помочь, или нет. Компонентами такой системы являются фундаментальная структура (как организована помощь?), сам процесс (что на самом деле делается?) и результат (какой будет исход?).

Программы специализированной медицинской помощи в настоящее время наиболее сконцентрированы в медицинских центрах с существующим представительством узких специальностей. В зависимости от популяции пациентов это могут быть онкология; нейрохирургия; радиология; травматология и ортопедия; общая, сосудистая, пластическая хирургия; весь спектр терапевтических специальностей и медицинская реабилитация. В более крупных центрах может оказаться полезным наличие нескольких независимых мультидисциплинарных команд.

Улучшение процессов в системе оказания медицинской помощи часто обеспечивает положительную отдачу. Важны механизмы взаимодействия

между клиницистами, лучевыми диагностами и патоморфологами. Снижение сроков морфологической верификации является приоритетной задачей. При отлаженных процессах и соответствующем оборудовании точный диагноз может быть получен в срок до 72 ч. [11].

Немаловажным аспектом является преимущество в оказании помощи пациентам после перенесенных неврологических расстройств и при незавершенном радикальном лечении. Выполненная в неотложном порядке операция по декомпрессии спинного мозга является лишь этапом комплексного лечения пациента. Такие пациенты не должны выписываться с рекомендацией «под наблюдение онколога (травматолога, нейрохирурга) по месту жительства», т.е. в никуда. Им должна быть организована точная маршрутизация в зависимости от диагноза и ближайшего исхода лечения. И дальнейшие этапы лучевой и лекарственной терапии должны укладываться в рамки возможностей реабилитации больного.

Хотя улучшение результатов лечения пациентов является конечной целью всех наших усилий, часто это — самый сложный показатель для измерения. Индивидуальные факторы пациентов и персонализированный подход сильно искажают традиционные критерии оценки результатов в небольших выборках. Следует оценивать такие исходы, как частота хирургических осложнений и показатели качества жизни пациентов после различных вмешательств. По возможности эти данные следует объединять, чтобы внедрять принцип принятия решений, основанный на фактических данных, а не на личных убеждениях и предпочтениях.

По понятным причинам требуется время для достижения даже части предложенного. Но такие усилия в конечном итоге улучшат как непосредственные результаты лечения у наших пациентов, так и дадут более точное понимание дальнейшего пути развития медицины в данной области.

Литература [References]

1. El Teclé N.E., Dahdaleh N.S., Hitchon P.W. Timing of Surgery in Spinal Cord Injury. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(16):E995-E1004. doi: 10.1097/BRS.0000000000001517.
2. Prieto L., Sacristán J.A. Problems and solutions in calculating quality-adjusted life years (QALYs). *Health Qual Life Outcomes*. 2003;1:80. doi: 10.1186/1477-7525-1-80.
3. Barzilai O., Laufer I., Yamada Y., Higginson D.S., Schmitt A.M., Lis E. et al. Integrating Evidence-Based Medicine for Treatment of Spinal Metastases Into a Decision Framework: Neurologic, Oncologic, Mechanical Stability, and Systemic Disease. *J Clin Oncol*. 2017;35(21):2419-2427. doi: 10.1200/JCO.2017.72.7362.
4. Spratt D.E., Beeler W.H., de Moraes F.Y., Rhines L.D., Gemmete J.J., Chaudhary N. et al. An integrated

- multidisciplinary algorithm for the management of spinal metastases: an International Spine Oncology Consortium report. *Lancet Oncol.* 2017;18(12):e720-e730. doi: 10.1016/S1470-2045(17)30612-5.
5. Charest-Morin R., Fisher C.G., Sahgal A., Boriani S., Gokaslan Z.L., Lazary A. et al. Primary Bone Tumor of the Spine-An Evolving Field: What a General Spine Surgeon Should Know. *Global Spine J.* 2019;9(1 Suppl):108S-116S. doi: 10.1177/2192568219828727.
 6. Pola E., Autore G., Formica V.M., Pambianco V., Colangelo D., Cauda R. et al. New classification for the treatment of pyogenic spondylodiscitis: validation study on a population of 250 patients with a follow-up of 2 years. *Eur Spine J.* 2017;26(Suppl 4):479-488. doi: 10.1007/s00586-017-5043-5.
 7. Rajasekaran S., Kanna R.M., Schnake K.J., Vaccaro A.R., Schroeder G.D., Sadiqi S. et al. Osteoporotic Thoracolumbar Fractures-How Are They Different?-Classification and Treatment Algorithm. *J Orthop Trauma.* 2017;31 Suppl 4:S49-S56. doi: 10.1097/BOT.0000000000000949.
 8. van Tol F.R., Versteeg A.L., Verkooijen H.M., Öner F.C., Verlaan J.J. Time to Surgical Treatment for Metastatic Spinal Disease: Identification of Delay Intervals. *Global Spine J.* 2021;2192568221994787. doi: 10.1177/2192568221994787.
 9. Масевнин С.В., Пташников Д.А., Левченко Е.В., Заборовский Н.С., Купарадзе И. Соматическая патология как фактор риска задержки оперативного лечения у пациентов с метастатическим поражением позвоночника. *Вопросы онкологии.* 2021;67(3):416-420. doi: 10.37469/0507-3758-2021-67-3-416-420.
 - Masevnin S.V., Ptashnikov D.A., Levchenko E.V., Zaborovskii N.S., Kuparadze I. [Somatic pathology as a risk factor for delayed surgical treatment in patients with spinal metastases]. *Voprosy Oncologii* [Problems in Oncology]. 2021;67(3):416-420. doi: 10.37469/0507-3758-2021-67-3-416-420. (In Russian).
 10. Мушкин М.А., Дулаев А.К., Аликов З.Ю., Мушкин А.Ю. Влияние догоспитальной паузы на исходы неотложных декомпрессивно-стабилизирующих операций у больных с опухолевым и инфекционным поражением позвоночника. *Травматология и ортопедия России.* 2021;27(4):53-64. (Принята в печать). doi:10.21823/2311-2905-1698.
 - Mushkin M.A., Dulaev A.K., Alikov Z.Yu., Mushkin A.Yu. [Effect of Prehospital Pause on the Outcomes of Emergency Decompression and Stabilization Procedures in Patients with Tumor and Infectious Spine Diseases]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):53-64. (Online First). doi: 10.21823/2311-2905-1698. (In Russian).
 11. Bollen L., Dijkstra S.P.D., Bartels R.H.M.A., de Graeff A., Poelma D.L.H., Brouwer T. et al. Clinical management of spinal metastases-The Dutch national guideline. *Eur J Cancer.* 2018;104:81-90. doi: 10.1016/j.ejca.2018.08.028.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Пташников Дмитрий Александрович — д-р мед. наук, профессор, заведующий отделением патологии позвоночника и костной онкологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: drptashnikov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5765-3158>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR'S INFORMATION:

Dmitry A. Ptashnikov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics; Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: drptashnikov@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5765-3158>



Intraosseous Injection of Autologous Bone Marrow Aspirate Concentrate and Platelet-Rich Plasma for Treatment of Knee Osteoarthritis

Dmitriy A. Malanin¹, Vladimir D. Sikilinda², Andrei I. Gorbatenko², Maksim V. Demeshchenko¹, Il'ya A. Suchilin¹, Vladimir V. Kondrashenko¹, Nataliya O. Kostyanaya³

¹ Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

² Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia

³ Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia

The aim of the study was to determine the effectiveness of autologous bone marrow aspirate concentrate (BMAC) and platelet-rich plasma (PRP) intraosseous injection in the treatment of patients with knee OA stages II-III.

Methods: The multicenter randomized study involved 40 patients (27 women, 13 men, average age 67.0±7.8 years, BMI 32.7±4.8, duration of disease 17.3±3.7 months) with knee OA of stages II-III according to the Kellgren-Lawrence (K-L) classification. Patients of the main (BMAC group) group (n=19) underwent a single intraosseous injection of BMAC, in the comparison group (n = 21) – a PRP injection (PRP group). The results were evaluated after 1, 3, 6, 12 months with the verbal rating scale (VRS), VAS, Leken and WOMAC scales.

Results: Comparison of the results in the groups on the VRS showed that at an earlier time (3 and 6 months), the preferences of patients were in favor of the treatment of BMAC (65% and 55% positive reviews) before PRP (55% and 45% positive reviews), whereas after 12 months the differences were insignificant. Analysis of VAS indicators in patients of both groups indicated a more pronounced decrease in the severity of pain syndrome after BMAC intraosseous injection. The analysis of the Leken scale indicators showed in favor of BMAC throughout the entire observation period, the differences were most pronounced in the first 3 months of observation. The ratio of the values of the WOMAC index in both patients groups indicated statistically significant differences that persisted in all periods of follow-up, the increase in indicators occurred to a lesser extent after the introduction of BMAC compared with PRP.

Conclusions: A single intraosseous BMAC injection has an advantage over a similar PRP injection in terms of pain, knee function and physical activity of patients at all follow-up periods. Both methods of treatment are equally safe.

Keywords: bone marrow aspirate concentrate, platelet-rich plasma, knee osteoarthritis.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Cite as: Malanin D.A., Sikilinda V.D., Gorbatenko A.I., Demeshchenko M.V., Suchilin I.A., Kondrashenko V.V., Kostyanaya N.O. [Intraosseous Injection of Autologous Bone Marrow Aspirate Concentrate and Platelet-Rich Plasma for Treatment of Knee Osteoarthritis]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):69-81. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1669>.

✉ **Maksim V. Demeshchenko**; e-mail: maximus275@yandex.ru
Submitted: 21.06.2021. Accepted: 10.11.2021. Published: 17.12.2021.



Научная статья
УДК 616.728.3-007.248-08
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1669>

Внутрикостное введение аутологичных концентрата костного мозга и обогащенной тромбоцитами плазмы при лечении остеоартрита коленного сустава

Д.А. Маланин¹, В.Д. Сикилинда², А.И. Горбатенко², М.В. Демещенко¹,
И.А. Сучилин¹, В.В. Кондрашенко¹, Н.О. Костяная³

¹ ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, г. Волгоград, Россия

² ФГБОУ ВО «Ростовский государственный медицинский университет» Минздрава РФ, г. Ростов-на-Дону, Россия

³ ФГАОУ ВО «Южный федеральный университет», г. Ростов-на-Дону, Россия

Реферат

Целью исследования являлось сравнение эффективности вводимых внутрикостно аутологичных концентрата костного мозга (ККМ) и обогащенной тромбоцитами плазмы (ОТП) при лечении пациентов с ОА коленного сустава II–III стадий. **Материал и методы.** В многоцентровом рандомизированном исследовании приняли участие 40 пациентов (27 женщин, 13 мужчин, средний возраст $67 \pm 7,8$ лет, индекс массы тела $32,7 \pm 4,8$, продолжительность заболевания $17,3 \pm 3,7$ мес.) с ОА коленного сустава II–III стадий по классификации Kellgren–Lawrence (K-L). Пациентам основной группы (группа ККМ) ($n = 19$) выполняли однократную внутрикостную инъекцию ККМ, в группе сравнения (группа ОТП) ($n = 21$) — инъекцию ОТП. Результаты оценивали через 1, 3, 6, 12 мес. с использованием шкалы вербальной оценки удовлетворенности пациентов (ШВОУ), ВАШ, шкал Лекена и WOMAC. **Результаты.** Сравнение результатов в группах по ШВОУ показало, что в более ранние сроки (3 и 6 мес.) предпочтения пациентов оказывались в пользу лечения ККМ (65% и 55% положительных отзывов) перед ОТП (55% и 45% положительных отзывов), тогда как через 12 мес. различия были несущественными. Анализ показателей ВАШ у пациентов обеих групп указал на более выраженное снижение выраженности болевого синдрома после внутрикостного введения ККМ. Анализ показателей шкалы Лекена свидетельствовал в пользу ККМ на протяжении всего периода наблюдения, различия были наиболее выраженными в первые 3 мес. наблюдения. Соотношение значений индекса WOMAC в обеих группах пациентов свидетельствовало о статистически значимых различиях, сохраняющихся во всех сроках наблюдения, увеличение показателей происходило в меньшей степени после введения ККМ по сравнению с ОТП. **Заключение.** Однократное внутрикостное введение ККМ имеет преимущество перед аналогичным введением ОТП по показателям боли, функции коленного сустава и физической активности пациентов на всех сроках наблюдения. Оба метода лечения являются в равной мере безопасными.

Ключевые слова: концентрат костного мозга, обогащенная тромбоцитами плазма, остеоартрит коленного сустава.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Маланин Д.А., Сикилинда В.Д., Горбатенко А.И., Демещенко М.В., Сучилин И.А., Кондрашенко В.В., Костяная Н.О. Внутрикостное введение аутологичных концентрата костного мозга и обогащенной тромбоцитами плазмы при лечении остеоартрита коленного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):69–81. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1669>.

Демещенко Максим Васильевич; e-mail: maximus275@yandex.ru

Рукопись получена: 21.06.2021. Рукопись одобрена: 10.11.2021. Статья опубликована: 17.12.2021.

Background

The theory of the development of pathological changes in the subchondral bone under the influence of chronic traumatization of the epiphyseal parts of the load-bearing joint remains relevant in modern medicine. The process is exacerbated by impaired intraosseous metabolism and is accompanied by the occurrence of multiple microfractures, followed by local cancellous bone and bone marrow ischemia and limited permeability for biologically active substances and metabolites of the boundary zone between the articular cartilage and the subchondral bone [1, 2, 3, 4]. Its pathological remodeling is accompanied by characteristic magnetic resonance imaging (MRI) symptoms, the so-called bone marrow zone edema, which is areas of active bone metabolism with increased cytokine and angiogenic factor expression, peculiar predictors of rapid disease progression [4, 5, 6]. The natural development of these changes in the subchondral bone leads to focal bone marrow replacement with fibrous tissue and cyst formation, as well as loss of articular cartilage above the bone marrow zone edema [7, 8, 9].

The noted biological effects in experimental studies on the use of autologous platelet-rich plasma (PRP) and bone marrow aspirate concentrate (BMAC) have proved very attractive for clinical purposes. Neoangiogenesis stimulation, metabolism, subchondral bone, and articular cartilage regeneration, and anti-inflammatory and anti-apoptotic effects are related to the pathogenetic mechanisms of osteoarthritis (OA) development [8, 10, 11].

The knowledge accumulated to date about PRP efficiency for OA treatment is still far from exhaustive. However, we can already determine more definitely certain positions, such as knee OA treatment [8, 12, 13, 14]. Contrarily, the therapeutic potential of bone marrow aspirates obtained from different anatomical regions and concentrated by centrifugation remains generally unclear, not to mention the study in a comparative aspect.

This study aimed to compare the efficacy of intraosseously administered autologous BMAC and PRP for patients with stage II-III knee OA.

Methods

Study design

A multicenter randomized study conducted from 2016 to 2021 included 40 patients with knee OA, of whom 27 were females and 13 were males, with a mean age of 67.0 ± 7.8 years, body mass index of 32.7 ± 4.8 , and disease duration of 17.3 ± 3.7 months. Unilateral ($n = 24$) and bilateral ($n = 16$) knee joint lesions with pre-

dominant localization in the internal part regions (varus-gonarthrosis) were established based on complaints, anamnesis, and data from radiation examination methods (X-ray and MRI).

The inclusion criteria for the study were the following:

- primary knee joint OA stages II-III according to the Kellgren–Lawrence classification (K-L);
- the presence of overload bone marrow edema in the internal condyle region of the femur and/or tibia,
- pain syndrome of at least 6 points on the visual analog scale (VAS) scale;
- insufficient efficiency of previous conservative treatment.

Exclusion criteria were the following:

- patients younger than 45 years of age;
- patients with blood diseases, viral hepatitis B and C, human immunodeficiency virus infection, concomitant chronic internal organ diseases in the decompensating stage, and oncological diseases;
- an inflammatory process in the knee joint;
- oral corticosteroids or immunosuppressive drugs 6 weeks before the examination;
- arthroscopy earlier than 6 months before the examination;
- use of PRP or hyaluronic acid preparation earlier than 90 days before primary screening.

The inclusion criteria were met by patients of both clinical groups, who were comparable in terms of representation, main clinical and morphological parameters, including disease duration and manifestations, and differed only in the method of OA treatment (Table 1).

Patients of the main group (BMAC group) ($n = 19$) underwent a single intraosseous injection of BMAC in the area of bone marrow edema, whereas PRP (PRP group) was used in a similar procedure in the comparison group ($n = 21$). The zone of overload bone marrow edema and its localization were preliminarily determined according to MRI data and transposed to fluoroscopic images obtained during manipulations. Overload bone marrow edema was distinguished from aseptic necrosis by a change in the signal from the bone, which was characterized by low intensity on T1-weighted images and high intensity on T2-weighted images and short modes. Contrarily, the pathognomonic sign of aseptic necrosis was a line of low signal intensity along the periphery of the infarction focus with a bright inner line along the infarction surface on T1- and T2-weighted images. Foci of aseptic necrosis were predominantly located in the subchondral zone of the posterior-inner condyle parts of the femur and (or) tibia (Fig. 1, 2).

Table 1

Characteristics of patients included in the study

Parameter	BMAC group	PRP group
Gender		
Male	6	7
Female	13	14
Age, years	67.0±8.1	67.0±6.8
BMI	32.7±3.9	32.7±4.4
Unilateral/bilateral OA	12/7	12/9
Disease duration, months	17.0±2.5	17.0±4.2
Stage by Kellgren–Lawrence		
II	8	10
III	11	11

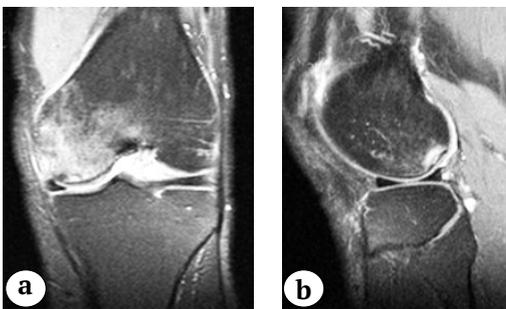


Fig. 1. MRI picture of the aseptic necrosis zone of the femoral condyle intero-posterior compartment in T1 mode: a – coronary section; b – sagittal section

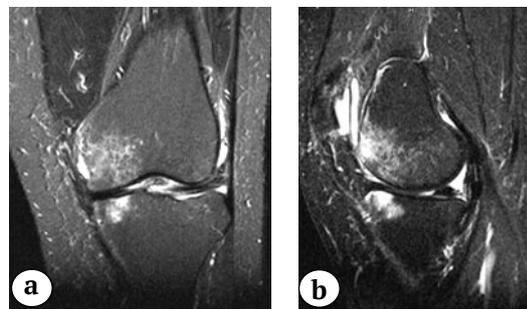


Fig. 2. Zone of overload edema of the femoral and tibial condyles in T1 mode: a – coronary section; b – sagittal section

Intervention technique

The preparation and administration of PRP were performed in a dressing room. PRP was obtained using a special YCELLBIO PRP container (Korea). From the cubital vein of the patient, 13 ml of blood was taken and was mixed in a container with 2 ml of dextrose citrate solution. The container was placed in a RotoFix 32 centrifuge (Hettich, Germany) with an appropriate counterweight.

The initial centrifugation at 3200 rpm was performed for 4 min. Then, using a swivel cap on the container, the level of the hematocrit layer below its neck was set (Fig. 3 a). From the repeated centrifugation at a rate of 3400 rpm for 4 min, 3 ml of PRP were obtained. The platelet layer was removed from the container using a syringe (Fig. 3 b).

The platelet concentration in the resulting PRP was calculated using an Erba Elite 3 hematological analyzer (Czech Republic), and PRP was coded according to the international consensus classification of PRP adopted in 2020 [15].

BMAC sampling and receipt were performed in an operating or dressing room in compliance with all aseptic and antiseptic measures. Therefore, the patient was placed in a lying position on his back along the inner surface of the proximal metaepiphysis of the tibia, and local anesthesia of the skin and underlying soft tissues was administered with 5.0 ml of a 2% lidocaine solution until the needle contacted the bone surface. Then, an aspiration trocar (11 G) was inserted with rotational movements through the cortical plate of the tibia until a dip sensation (by 30–35 mm). After removing the stylet, 30 ml of bone marrow was taken with a syringe. The trocar was rotated around its axis during sampling and its depth was changed to increase the concentration of cells in the aspirate. The bone marrow thus obtained was mixed with 5 ml of heparin solution and placed in two containers.

The fraction with a high content of mesenchymal cells was separated from other constituent elements of the bone marrow by centrifugation at

a velocity of 2400 rpm for 20 min. After removing the containers from the centrifuge, the upper 1.5 ml layer of the bone marrow concentrate was taken into the syringe using a sterile needle in the isthmus of each of the containers, as described in the method for obtaining PRP (Fig. 3 b).

The count of mononuclear cells in BMAC was determined by flow cytometry using antibodies to the cluster of differentiation (CD)34, CD14, CD73, CD105, and CD90 [4, 10, 11].

The BMAC or PRP was administered in the operating room under fluoroscopic control in the area of overload bone marrow edema of the condyle of the tibia or femur using an injection needle (18 G). The latter was inserted into the cancellous bone to the required depth after local anesthesia of the skin and soft tissues with 5.0 ml of 2% lidocaine solution in twisting movements or “wristwatch winding.” Before the administration of BMAC or PRP, 1.0 ml of the indicated anesthetic solution was slowly injected into the bone (Fig. 4).

A total of 40 intraosseous injections of BMAC and PRP were injected, wherein 23 into the internal condyle of the femur and 17 into the internal condyle of the tibia.

After PRP or BMAC manipulations, cold applications for 2–3 days were recommended to all patients, as well as walking with a cane for 5–7 days and analgesics for severe pain for 1–2 days.

Evaluation of results

The results were evaluated 1, 3, 6, and 12 months after injection using VAS, Leken, and Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC) scales. Patients’ satisfaction with treatment outcomes was assessed using a modernized verbal rating scale (VRS), where the result was distributed from 0 to 3 points, thus 0 points indicated poor result (no improvement), 1 meant satisfactory (improved joint movements, decreased pain, and persistent functional limitations that reduce the quality of life and physical activity), 2 indicated good result (no restrictions in everyday life, but intense exercise and sports cause pain or discomfort), and 3 for the excellent result (full recovery and physical activity and sports are possible without significant restrictions) [16]. Objective data on the changes over time of the pathological process in the knee joints of patients under the treatment influence were assessed based on MRI data at 3, 6, and 12 months after injection.

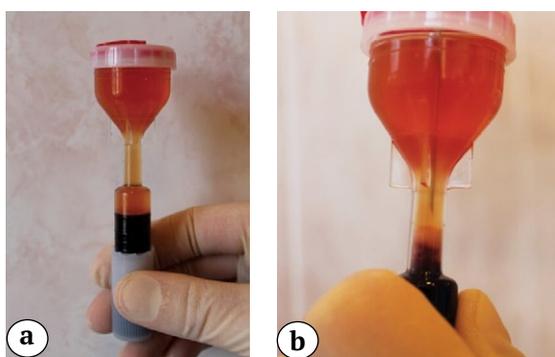


Fig. 3. PRP preparation: a – level of the hematocrit layer after the first centrifugation; b – platelet layer sampling



Fig. 4. Injection of BMAC under fluoroscopic control into overload edema of the bone marrow of the internal femoral condyle

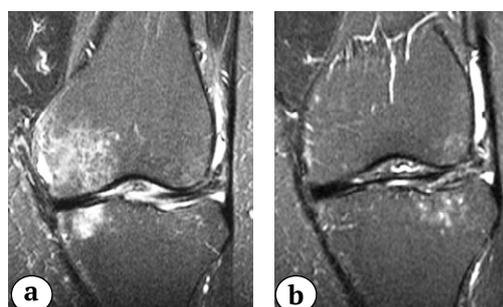


Fig. 5. Decrease in signal intensity and the size of the bone marrow edema zone in the area of the femoral and tibial condyles after injection of BMAC: a – before injection; b – after 3 months

Statistical analysis

Statistical processing of the study results was performed using the methods of mathematical statistics. The obtained data were processed in Excel 2016, Office XP (Microsoft Corp., USA) software using the capabilities of the computer application Statistica 10.0 (Statsoft, USA).

The analysis of parameters with a normal distribution of values was performed using the Student's t-test, assessing the degree of discrepancy between the arithmetic means M1 and M2, relative to the variance σ_2 . The obtained value was compared with the tabular value of the Student's t-test at a significance level of $p = 0.05$. Provided that the obtained value of the Student's t-test was greater than the

critical table value, the difference between the compared values was recognized as statistically significant.

The analysis of non-parametric quantitative attributes was performed using the Friedman criterion, which is based on the ranking of repeated measurements for each sample object. The obtained empirical value of the χ^2 criterion was compared according to the table for the selected level of statistical significance ($p = 0.05$) with the critical value for a given number of compared samples. When the corresponding value exceeded the critical value (for the chosen level of significance and the corresponding number of degrees of freedom), the null hypothesis was rejected.

Table 2

Treatment outcomes in the BMAC group

Scale	Follow-up period					Statistical significance
	Before treatment	1 mon.	3 mon.	6 mon.	12 mon.	
VRS						
excellent		4	1	0	0	
good		11	11	10	6	
satisfactory		4	6	7	8	
poor		0	1	2	5	
VAS	5.9±0.7	2.3±0.6	2.5±0.4	2.7±0.4	3.9±0.3	$\chi^2_r = 36.04; p < 0.01$
Leken index	10.3±0.4	4.1±0.2	5.0±0.6	5.4±0.3	5.8±0.7	$\chi^2_r = 37.18; p < 0.01$
WOMAC	59.3±0.8	21.5±0.4	25.8±0.3	33.4±0.7	40.6±0.3	$\chi^2_r = 76; p < 0.01$

Table 3

Treatment outcomes in the PRP group

Scale	Follow-up period					Statistical significance
	Before treatment	1 mon.	3 mon.	6 mon.	12 mon.	
VRS						
excellent		1	1	0	0	
good		13	11	8	5	
satisfactory		6	8	11	10	
poor		1	1	3	6	
VAS	5.9±0.7	2.3±0.6	2.5±0.4	2.7±0.4	3.9±0.3	$\chi^2_r = 33.81; p < 0.01$
Leken index	10.3±0.4	4.1±0.2	5.0±0.6	5.4±0.3	5.8±0.7	$\chi^2_r = 39.7; p < 0.01$
WOMAC	59.3±0.8	21.5±0.4	25.8±0.3	33.4±0.7	40.6±0.3	$\chi^2_r = 80.95; p < 0.01$

Results

The median platelet concentration in PRP was $962 \pm 40 \times 10^9/L$ and was within the recommended range for this orthobiological product [8, 13, 14]. The leukocyte count reached $9.7 \pm 1.4 \times 10^9/L$, which considered the PRP used in our study as plasma with a low count of these cells. The plasma also contained traces of erythrocytes ($<1 \times 10^6 \mu l$), was not subjected to external activation and, did not comprise the added $CaCl_2$. According to the international consensus classification (2020), the resulting PRP was coded as N3N4-N0N2-N0N0 [8]. The determination of the cellular bone marrow aspirate composition after the sampling showed that the mononuclear cells reached $17.4 \pm 9.6 \times 10^6/ml$. After centrifugation, their concentration increased to $98.5 \pm 7.2 \times 10^6/ml$, which was close to the obtained values in several other studies [17, 18, 19].

All patients achieved the final and intermediate points of the study with treatment result assessments at 1, 3, 6, and 12 months after the intraosseous injection. Result evaluation in the groups of BMAC and PRP in the control periods is presented in Tables 2 and 3.

Data comparison in the VRS groups revealed that in the early stages (3 and 6 months), patients' preferences turned out to be in favor of BMAC treatment (65% and 55% of positive reviews) versus PRP (55% and 45% of positive reviews), whereas differences were insignificant after 12 months.

The VAS score analysis in patients of both groups at all control follow-up periods revealed that, despite the pronounced analgesic effect of the studied treatment methods, the severity of pain syndrome decreased to a greater extent after intraosseous BMAC administration than after PRP. However, after 12 months, differences were not statistically significant.

Identification of the dynamics of the average values of the Leken scale with the initial level showed a statistically significantly decreased OA severity index after the use of both treatment methods. The comparison between the studied groups of patients testified in favor of BMAC throughout the entire follow-up period, and differences were most pronounced in the first 3 months of follow-up.

The ratio of the WOMAC index values in both groups of patients with the initial level of this indicator revealed statistically significant differences that persisted in all control periods of follow-up. Despite the overall negative dynamics of the WOMAC index in both groups of patients, especially

in later follow-up periods, the indicators increased to a lesser extent after the BMAC administration than after PRP.

The objective aspect of the reduced pain syndrome severity after the administration of BMAC or PRP was the disappearance or significantly reduced size and decreased signal intensity in the area of previously identified bone marrow edema according to MRI (Fig. 5) [4].

After intraosseous BMAC or PRP administration in 5 (26.3%) patients of the main group and 4 (19.04%) patients of the comparison group, adverse events were noted in the form of increased knee joint pain and swelling, the possibility of which was purposely discussed on the eve of treatment. These phenomena gradually disappeared after 6–7 days. Seven (36.8%) patients in the BMAC group and 5 (23.8%) in the PRP group required analgesic drugs for several days.

Discussion

Newly obtained data in the study of OA pathogenesis, modern design, and research result analysis from the standpoint of evidence-based medicine expanded the clinical guidelines. An expert opinion on the use of orthobiological methods was announced at the EULAR congress in 2020, and intra-articular PRP injections were classified as effective second-line treatments for knee OA [1, 8, 12, 13, 20, 21].

The biological effects of PRP are currently associated with the cellular metabolism stimulation and the possibility of modeling the homeostasis of the synovial joint environment by influencing chronic inflammatory and degenerative processes [8, 22, 23]. Growth factors, such as platelet-derived growth factor, transforming growth factor (TGF), platelet-derived endothelial growth factor, vascular endothelial growth factor, insulin-like growth factor 1, fibroblast growth factors, and others contained in platelet alpha granules are considered as the main instruments that regulate the biological processes in tissues [8, 12, 13, 14, 24].

The PRP anti-inflammatory property manifestation is achieved through various biological mechanisms, but mainly due to the regulatory influence of growth factors on all three phases of the inflammatory process through the transmembrane cell receptor interaction and intracellular signal initiation [1, 3, 8, 14, 21].

The concentration of platelets in the PRP should exceed the normal count of these cells in the peripheral blood by 4–5 times (up to $1000 \times 10^3 \mu l/l$)

to implement the anti-inflammatory effect and reparative potential, although nowadays it cannot be stated definitely [17, 18, 25, 26]. Several randomized controlled trials have demonstrated the absence of a correlation between the platelet concentration in the PRP and the achieved results [8, 23, 27].

The leukocytes contained in the PRP have a significant influence on the modeling of the inflammatory process in the joint. With their high count, catabolic processes start to predominate over anabolic ones due to a sharply increased amount of pro-inflammatory mediators, which is manifested at the clinical level as an adverse event, namely increased pain and synovitis [3, 8, 23]. Contrarily, one can hardly conceive PRP that does not contain leukocytes at all. The antimicrobial activity of leukocytes against most bacteria and their powerful anti-inflammatory potential ensure the safety of intra-articular or intraosseous PRP administration [8, 27]. Finally, the problem of obtaining PRP with a given leukocyte count has not yet found an acceptable technical solution due to the well-known difficulties in separating leukocytes from platelets that are located in the same layer without significant platelet loss [13, 14, 27].

In the obtained plasma in our study, the platelet and leukocyte concentration were $962 \pm 40 \times 10^9/l$ and $9.7 \pm 1.4 \times 10^9/l$, respectively, which did not exceed the above-discussed disputed threshold values. The absence of exogenous activation of PRP without a “volley” release of growth factors under the influence of endogenous collagen also reduced the risk of increased inflammation and pain, which was especially important when plasma was injected into the area of bone marrow edema in case of already existing inflammation.

Experimental and clinical studies revealed that the effect of PRP growth factors after intraosseous administration is felt not only by the subchondral bone but also by the covering hyaline cartilage, which usually has the greatest damage just above the areas of bone marrow edema [3, 8, 14, 23].

Y. Kobayashi et al. revealed that PRP enhances migration and stimulates chondrogenic differentiation of progenitor cells in the subchondral bone [1]. Their high level in the synovial fluid, which indicates a more severe OA, decreases after intraosseous PRP administration to values close to normal [17, 26]. Additionally, PRP reduces the overexpression of TGF- β , which inhibits signal transduction in positive mesenchymal stromal cells (MSCs) of the subchondral bone, thereby attenuating degenerative processes in the articular cartilage [27].

Autologous BMAC in patients of the main group belongs to the next generation of orthobiological products after PRP and is considered quite promising for the pathogenetic OA treatment [28, 29, 30, 31]. The contained MSCs in BMAC have wider possibilities of cellular and molecular level action compared to PRP, although their count is 0.01% of the cell population and increases to only 0.1% after centrifugation [10]. Contrary to the associated dualism with the platelet concentration in the PRP action, an increased MSCs count in the BMAC increases the therapeutic effect. Its implementation requires an increased concentration of MSCs by $>0.01\%$, which was achieved in the course of obtaining BMAC in our study [2, 10, 11].

MSCs can stimulate the differentiation and proliferation of surrounding cells in osteogenic, chondrogenic, or adipogenic directions due to their regulatory functions [7, 11, 17, 30]. The paracrine effect of MSCs is implemented through the secretion of a large number of growth factors, cytokines, and chemokines that have an activating effect on the stem cells, as well as an antiapoptotic, angiogenic, immunomodulatory, and antiseptic effect [32]. MSCs also enhance the synthetic activity of cells and matrix remodeling [17, 19, 31]. Additionally, BMAC also includes other bone marrow cells, including platelets, of which the count increases several times after centrifugation, as in PRP, which provides some synergy of action and imparts BMAC with additional biological properties of plasma [9, 17, 30].

The contemporary literary sources on the efficiency of intraosseous PRP or BMAC injections in knee OA are mostly limited to clinical case descriptions. B. Di Matteo et al. included in their systematic review only 5 related publications to the intraosseous PRP and BMAC administration that met several simple criteria, including a sample of at least 5 patients and a follow-up period of at least 6 months [22]. The attitude to the results obtained in most works on this issue remains cautious due to the difference in therapeutic protocols and treatment outcome evaluation, and even some prejudiced attitudes [27]. However, several comparative studies at this stage are certainly especially noteworthy.

Simultaneous intraosseous PRP administration with intra-articular plasma injection in knee OA was first proposed by M. Sanchez et al. in 2016. Somewhat later, the authors published results of a comparative study of two groups of 60 patients with stage III-IV OA (K-L), who received PRP with a high level of leukocytes as a single intra-articular injection.

tion or in combination with intraosseous plasma injection. The treatment result evaluation after 6 and 12 months indicated the remaining statistically significant advantages of the combined method using PRP in the absence of differences in the early follow-up [3].

Higher rates of the knee joint function restoration and a decreased pain syndrome intensity were also noted by K. Su et al. in 65 patients with the knee joint OA of stages II-III (K-L) after combined intra-articular and intraosseous administration of PRP compared with only intra-articular injections of plasma or hyaluronic acid for 18 months of follow-up [23]. Similar results were also obtained in 40% of patients in a pilot study by N. Fiz et al. after the combined administration of PRP to the hip joint in stages II and III of the disease [14].

The obtained results certainly could not be fully extrapolated to the treatment of subchondral bone injuries in knee OA using BMAC; however, some clinical effects could be quite expected. Thus, P. Hernigou et al. revealed that the results of administering 20 ml of BMAC containing 6500/ml of MSCs into the femur and tibia to 30 young patients with end-stage knee OA associated with osteonecrosis after 8–16 years turned out to be comparable or slightly better by HSS scale than after total arthroplasty of the contralateral joint. After the intraosseous BMAC injection, the articular cartilage thickness increased by 4.2%–23.5%, and the size of osteonecrosis foci decreased by 40% within 2 to 5 years after manipulations [30].

A few years later, in a more representative randomized study of a similar design, which included 140 patients aged 65 to 90 years with the knee joint OA, predominantly stages III-IV (K-L), P. Hernigou et al. reported 18% completion of arthroplasty after an average of 10 years after BMAC administration, which in terms of each year of the follow-up was 1.19% and approached the risk of revision interventions on the opposite joint with an endoprosthesis. The average count of MSCs in 20 cm³ of BMAC from the iliac wing injected in equal amounts into the subchondral bone of the internal condyles of the femur and tibia reached 7800/ml. According to the authors, the pronounced analgesic effect of BMAC avoided arthroplasty for a long period and reduce the risks of surgery-associated complications [7, 8, 11].

The comparison of two administration routes of 40 ml of BMAC containing an average of 5727/ml of MSCs (intra-articular and intraosseous) was undertaken by P. Hernigou et al. in another prospec-

tive randomized study. The subchondral injection of BMAC into the femur and tibia in one knee joint and intra-articular administration in the other joint in 60 patients with bilateral OA stages I–IV (K-L) revealed the clinical benefits of using the first of the techniques 2 years after the manipulations. The annual frequency of arthroplasty was 1.3% and 4.6% in groups 1 and 2, respectively. An objective assessment of the dynamics of damage foci to the subchondral bone using MRI also testified in favor of the intraosseous route of BMAC administration [7, 11].

V. Vad et al. were the first who used combined intraosseous subchondral and intra-articular injection of bone marrow aspirate and conducted a prospective treatment outcome evaluation in a series of 10 patients with stage III-IV (K-L) knee joint OA. The technique is called PeCaBoo (percutaneous chondral bone interface optimization). The bone marrow aspirate was obtained from the proximal epiphysis of the tibia, of which 2 ml was injected into the subchondral parts of the condyles of the femur and tibia under fluoroscopic control and another 2 ml into the knee joint cavity. The authors revealed a decreased intensity of pain syndrome by 3 times according to the NRS-Pain scale at 3, 6, and 12 months and more (on average 14 months) after the manipulation, as well as an improved functionality according to the WOMAC scale by 23 points, with a 60% decreased number of patients who are forced to take non-steroidal anti-inflammatory drugs. Control MRI showed a decreased bone marrow edema and an increased articular cartilage thickness by 14% [9].

The therapeutic potential of combined subchondral and intra-articular administration of BMAC was also analyzed and confirmed by E. Kon et al. in a pilot multicenter prospective cohort study. Single combined BMAC at 9 ml (3 ml for each injection) was administered to 30 patients with a mean age of 56.4 years with symptomatic OA of the knee joint of stages II–III (K-L) and MRI-confirmed changes in the subchondral bone of one or both condyles, mainly in the internal part of the joint. The treatment results were evaluated after 1, 3, 6, and 12 months. A significantly decreased pain syndrome according to the VAS scale and an improved knee joint functionality according to the International Knee Documentation Committee and Knee Injury and Osteoarthritis Outcome Score scales were registered not only in the early stages after the BMAC administration but were accompanied by a decreased zone of bone marrow edema according to MRI data. Positive changes over time persisted up

to the extreme point of the follow-up (12 months). Concurrently, no significant changes were found in patients' perception of improvement in their general health according to the EQ-VAS scale of the quality of life [2].

Study limitations

The limitations of the performed study included the small number of patients, the absence of a placebo group, and the use of point scales mainly based on subjective indicators for treatment result assessment.

Conclusions

A single intraosseous subchondral BMAC administration has an advantage over the similar PRP administration in terms of most indicators such as pain, knee joint function, and physical activity of patients both in early and late follow-up periods. Both treatment methods are equally safe but are not devoid of adverse effects in the form of increased pain and joint swelling within a few days after the manipulation.

Ethical expertise

The clinical trial observed the requirements of the Declaration of Helsinki of 1975, revised in 2008. Approval was obtained from the local ethical committee of the Volgograd State Medical University of the Ministry of Health of Russia in 2016 to conduct a clinical trial "The use of bone marrow aspirate concentrate in patients with injuries and long-term damage of the musculoskeletal system.

Informed consent

Patients gave voluntary written informed consent to participate in the study and publish its results.

References

- Alekseeva L.I. [Osteoarthritis: epidemiology, classification, risk factors, and progression, clinical presentation, diagnosis, and treatment]. *Sovremennaya revmatologiya* [Modern Rheumatology Journal]. 2019;13(2):9-21. (In Russian). doi: 10.14412/1996-7012-2019-2-9-21.
- Zaitseva M.Ju., Netylko G.I., Kazemirsky A.V. [Problems of differential diagnostics of avascular and posttraumatic necroses of femoral and tibial condyles]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2005;4(37):53-56. (In Russian).
- Lychagin A.V., Garkavi A.V., Islaieh O.I., Katunyan P.I., Bobrov D.S., Yavlieva R.H. et al. [Effectiveness of intraosseous infiltration of autologous platelet-rich plasma in the area of the bone marrow edema in osteoarthritis of the knee joint]. *Vestnik RGMU* [Bulletin of RSMU]. 2019;(4):50-56. (In Russian). doi: 10.24075/brsmu.2019.053.
- Malanin D.A., Demeshchenko M.V., Cherezov L.L., Grunin S.V. [Efficacy of platelet-rich plasma for treating patients with knee osteoarthritis]. *Prakticheskaya meditsina* [Practical Medicine]. 2020;18(4):29-35. (In Russian).
- Malanin D.A., Norokin A.I., Tregubov A.S., Demeshchenko M.V., Cherezov L.L. [PRP-Therapy for Tendinopathies of Rotator Cuff and Long Head of Biceps]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2019;25(3):57-66. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-3-57-66.
- Nekachalov V.V. [Pathology of bones and joints]. SPb: Sotis; 2000. 285 p.
- Andia I., Sánchez M., Maffulli N. Joint pathology and platelet-rich plasma therapies. *Expert Opin Biol Ther.* 2012;12(1):7-22. doi: 10.1517/14712598.2012.632765.
- Chahla J., Alland J.A., Verma N.N. Bone Marrow Aspirate Concentrate for Orthopaedic Use. *Orthop Nurs.* 2018;37(6):379-381. doi: 10.1097/NOR.0000000000000502.
- Choi B.H., Zhu S.J., Kim B.Y., Huh J.Y., Lee S.H., Jung J.H. Effect of platelet-rich plasma (PRP) concentration on the viability and proliferation of alveolar bone cells: an in vitro study. *Int J Oral Maxillofac Surg.* 2005;34(4):420-424. doi: 10.1016/j.ijom.2004.10.018.
- Eymard F., Ornetti P., Maillet J., Noel É., Adam P., Legré-Boyer V. et al. Intra-articular injections of platelet-rich plasma in symptomatic knee osteoarthritis: a consensus statement from French-speaking experts. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021;29(10):3195-3210. doi: 10.1007/s00167-020-06102-5.
- Fiz N., Delgado D., Garate A., Sánchez P., Oraa J., Bilbao A.M. et al. Intraosseous infiltrations of Platelet-Rich Plasma for severe hip osteoarthritis: A pilot study. *J Clin Orthop Trauma.* 2020;11(Suppl 4):S585-S590. doi: 10.1016/j.jcot.2019.12.012.
- Foster T.E., Puskas B.L., Mandelbaum B.R., Gerhardt M.B., Rodeo S.A. Platelet-rich plasma: from basic science to clinical applications. *Am J Sports Med.* 2009;37(11):2259-2272. doi: 10.1177/0363546509349921.
- Gianakos A.L., Sun L., Patel J.N., Adams D.M., Liporace F.A. Clinical application of concentrated bone marrow aspirate in orthopaedics: A systematic review. *World J Orthop.* 2017;8(6):491-506. doi: 10.5312/wjo.v8.i6.491.
- Giovanini A.F., Gonzaga C.C., Zielak J.C., Deliberador T.M., Kuczera J., Göringher I. et al. Platelet-rich plasma (PRP) impairs the craniofacial bone repair associated with its elevated TGF- β levels and modulates the co-expression between collagen III and α -smooth muscle actin. *J Orthop Res.* 2011;29(3):457-463. doi: 10.1002/jor.21263.

15. Hernigou P., Auregan J.C., Dubory A., Flouzat-Lachaniette C.H., Chevallier N., Rouard H. Subchondral stem cell therapy versus contralateral total knee arthroplasty for osteoarthritis following secondary osteonecrosis of the knee. *Int Orthop.* 2018;42(11):2563-2571. doi: 10.1007/s00264-018-3916-9.
16. Hernigou P., Bouthors C., Bastard C., Flouzat Lachaniette C.H., Rouard H., Dubory A. Subchondral bone or intra-articular injection of bone marrow concentrate mesenchymal stem cells in bilateral knee osteoarthritis: what better postpone knee arthroplasty at fifteen years? A randomized study. *Int Orthop.* 2021;45(2):391-399. doi: 10.1007/s00264-020-04687-7.
17. Hernigou P., Delambre J., Quiennec S., Poignard A. Human bone marrow mesenchymal stem cell injection in subchondral lesions of knee osteoarthritis: a prospective randomized study versus contralateral arthroplasty at a mean fifteen year follow-up. *Int Orthop.* 2021;45(2):365-373. doi: 10.1007/s00264-020-04571-4.
18. Holton J., Imam M., Ward J., Snow M. The Basic Science of Bone Marrow Aspirate Concentrate in Chondral Injuries. *Orthop Rev (Pavia).* 2016;8(3):6659. doi: 10.4081/or.2016.6659.
19. Imam M.A., Mahmoud S.S.S., Holton J., Abouelmaati D., Elsherbini Y., Snow M. A systematic review of the concept and clinical applications of Bone Marrow Aspirate Concentrate in Orthopaedics. *SICOT J.* 2017;3:17. doi: 10.1051/sicotj/2017007.
20. Jiang J., Chen J. Diagnostic issue on spontaneous osteonecrosis of medial tibial plateau. *Chin Med J.* 2019;132(6):755-756. doi: 10.1097/CM9.000000000000119.
21. Kobayashi Y., Saita Y., Nishio H., Ikeda H., Takazawa Y., Nagao M. et al. Leukocyte concentration and composition in platelet-rich plasma (PRP) influences the growth factor and protease concentrations. *J Orthop Sci.* 2016;21(5):683-689. doi: 10.1016/j.jos.2016.07.009.
22. Kon E., Boffa A., Andriolo L., Di Martino A., Di Matteo B., Magarelli N. et al. Subchondral and intra-articular injections of bone marrow concentrate are a safe and effective treatment for knee osteoarthritis: a prospective, multicenter pilot study. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2021. doi: 10.1007/s00167-021-06530-x.
23. Kon E., Di Matteo B., Delgado D., Cole B., Dorotei A., Dragoo J. Platelet-rich plasma for the treatment of knee osteoarthritis: an expert opinion and proposal for a novel classification and coding system. *Expert Opin Biol Ther.* 2020;20(12):1447-1460. doi: 10.1080/14712598.2020.1798925.
24. Krüger J.P., Hondke S., Endres M., Pruss A., Siclari A., Kaps C. Human platelet-rich plasma stimulates migration and chondrogenic differentiation of human subchondral progenitor cells. *J Orthop Res.* 2012;30(6):845-852. doi: 10.1002/jor.22005.
25. Manferdini C., Maumus M., Gabusi E., Piacentini A., Filardo G., Peyrafitte J.A. et al. Adipose-derived mesenchymal stem cells exert antiinflammatory effects on chondrocytes and synoviocytes from osteoarthritis patients through prostaglandin E2. *Arthritis Rheum.* 2013;65(5):1271-1281. doi: 10.1002/art.37908.
26. Di Matteo B., Polignano A., Onorato F., La Porta A., Iacono F., Bonanzinga T. et al. Knee Intraosseous Injections: A Systematic Review of Clinical Evidence of Different Treatment Alternatives. *Cartilage.* 2020;1947603520959403. doi: 10.1177/1947603520959403.
27. de Vries-van Melle M.L., Narcisi R., Kops N., Koevoet W.J., Bos P.K., Murphy J.M. et al. Chondrogenesis of mesenchymal stem cells in an osteochondral environment is mediated by the subchondral bone. *Tissue Eng Part A.* 2014;20(1-2):23-33. doi: 10.1089/ten.TEA.2013.0080.
28. Muñoz-López E., Delgado D., Sánchez P., Paiva B., Anitua E., Fiz N. et al. Modulation of Synovial Fluid-Derived Mesenchymal Stem Cells by Intra-Articular and Intraosseous Platelet Rich Plasma Administration. *Stem Cells Int.* 2016;2016:1247950. doi: 10.1155/2016/1247950.
29. Murray I.R., Robinson P.G., West C.C., Goudie E.B., Yong L.Y., White T.O. et al. Reporting Standards in Clinical Studies Evaluating Bone Marrow Aspirate Concentrate: A Systematic Review. *Arthroscopy.* 2018;34(4):1366-1375. doi: 10.1016/j.arthro.2017.11.036.
30. Patel S., Dhillon M.S., Aggarwal S., Marwaha N., Jain A. Treatment with platelet-rich plasma is more effective than placebo for knee osteoarthritis: a prospective, double-blind, randomized trial. *Am J Sports Med.* 2013;41(2):356-364. doi: 10.1177/0363546512471299.
31. Peterfy C.G., Guermazi A., Zaim S., Tirman P.F., Miaux Y., White D. et al. Whole-Organ Magnetic Resonance Imaging Score (WORMS) of the knee in osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2004;12(3):177-190. doi: 10.1016/j.joca.2003.11.003.
32. Post S.R., Post G.R., Nikolic D., Owens R., Insuasti-Beltran G. Development of an unbiased, semi-automated approach for classifying plasma cell immunophenotype following multicolor flow cytometry of bone marrow aspirates. *Cytometry B Clin Cytom.* 2018;94(5):602-610. doi: 10.1002/cyto.b.21635.
33. Rodriguez-Fontan F., Piuzzi N.S., Kraeutler M.J., Pascual-Garrido C. Early Clinical Outcomes of Intra-Articular Injections of Bone Marrow Aspirate Concentrate for the Treatment of Early Osteoarthritis of the Hip and Knee: A Cohort Study. *PM R.* 2018;10(12):1353-1359. doi: 10.1016/j.pmrj.2018.05.016.
34. Sánchez M., Anitua E., Delgado D., Sanchez P., Prado R., Goirieta J.J. et al. A new strategy to tackle severe knee osteoarthritis: Combination of intra-articular and intraosseous injections of Platelet Rich Plasma. *Expert Opin Biol Ther.* 2016;16(5):627-643. doi: 10.1517/14712598.2016.1157162.
35. Sekiya I., Ojima M., Suzuki S., Yamaga M., Horie M., Koga H. et al. Human mesenchymal stem cells in synovial fluid increase in the knee with degenerated cartilage and osteoarthritis. *J Orthop Res.* 2012;30(6):943-949. doi: 10.1002/jor.22029.

36. Schottel P.C., Warner S.J. Role of Bone Marrow Aspirate in Orthopedic Trauma. *Orthop Clin North Am.* 2017;48(3):311-321. doi: 10.1016/j.ocl.2017.03.005.
37. Shapiro S.A., Kazmerchak S.E., Heckman M.G., Zubair A.C., O'Connor M.I. A Prospective, Single-Blind, Placebo-Controlled Trial of Bone Marrow Aspirate Concentrate for Knee Osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):82-90. doi: 10.1177/0363546516662455.
38. Sharkey P., Cohen S., Leinberry C., Parvizi J. Subchondral bone marrow lesions associated with knee osteoarthritis. *Am J Orthop.* 2012;41(9):413-417.
39. Su K., Bai Y., Wang J., Zhang H., Liu H., Ma S. Comparison of hyaluronic acid and PRP intra-articular injection with combined intra-articular and intraosseous PRP injections to treat patients with knee osteoarthritis. *Clin Rheumatol.* 2018;(37):1341-1350. doi: 10.1007/s10067-018-3985-6.
40. Sundaram K., Vargas-Hernández J.S., Sanchez T.R., Moreu N.M., Mont M.A., Higuera C.A. et al. Are Subchondral Intraosseous Injections Effective and Safe for the Treatment of Knee Osteoarthritis? A Systematic Review. *J Knee Surg.* 2019;32(11):1046-1057. doi: 10.1055/s-0039-1677792.
41. Sundman E.A., Cole B.J., Karas V., Della Valle C., Tetreault M.W., Mohammed H.O. et al. The anti-inflammatory and matrix restorative mechanisms of platelet-rich plasma in osteoarthritis. *Am J Sports Med.* 2014;42(1):35-41. doi: 10.1177/0363546513507766.
42. Vad V., Barve R., Linnell E., Harrison J. Knee Osteoarthritis Treated with Percutaneous Chondral-Bone Interface Optimization: A Pilot Trial. *Surgical Sci.* 2016;7:1-12. doi: 10.4236/ss.2016.71001. Available from: https://www.scirp.org/pdf/SS_2016010814274096.pdf.
43. Zhen G., Wen C., Jia X., Li Y., Crane J.L., Mears S.C. et al. Inhibition of TGF- β signaling in mesenchymal stem cells of subchondral bone attenuates osteoarthritis. *Nat Med.* 2013;19(6):704-712. doi: 10.1038/nm.3143.

AUTHORS' INFORMATION:

Dmitriy A. Malanin — Dr. Sci. (Med.), Professor, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
e-mail: malanin67@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7507-0570>

Vladimir D. Sikilinda — Dr. Sci. (Med.), Professor, Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: sikilinda_vd@rostgmu.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3062-2543>

Andrei I. Gorbatenko — Cand. Sci. (Med.), Rostov State Medical University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: gorbatenkophmd@gmail.com,
<https://orcid.org/0000-0001-7779-4863>

Maksim V. Demeshchenko — Cand. Sci. (Med.), Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
maximus275@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0003-1797-2431>

Il'ya A. Suchilin — Cand. Sci. (Med.), Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
e-mail: omnio@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7375-5365>

Vladimir V. Kondrashenko — Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia
e-mail: vovamail2009@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-7512-492X>

Nataliya O. Kostyanaya — Southern Federal University, Rostov-on-Don, Russia
e-mail: mornatalia@yandex.ru,
<https://orcid.org/0000-0001-5922-7099>

Authors' contribution:

Malanin D.A. — made a significant contribution to the development of the study design, editing for important intellectual content, and approval of the article final version for publication.

Sikilinda V.D. — edited the text for essential intellectual content, approved the final version of the article for publication.

Gorbatenko A.I. – collected, analyzed, and interpreted the data, wrote the text of the article, edited the text for the essential intellectual content.

Demeshchenko M.V. – collected, analyzed, and interpreted the data, wrote the text of the article, edited the text for the essential intellectual content.

Suchilin I.A. – collected, analyzed, and interpreted the data.

Kondrashenko V.V. – collected, analyzed, and interpreted the data.

Kostyanaya N.O. – collected, analyzed, and interpreted the data.

All authors read and approved the final version of the manuscript. All authors agree to be responsible for all aspects of the work to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Научная статья

УДК 616.711.6-089.844:616.833.541-01

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1681>

Гистологические и морфометрические изменения бедренного нерва при моделировании бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника в эксперименте

Т.Н. Варсегова, О.В. Дюрягина, Н.И. Антонов, С.О. Рябых

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия

Реферат

Актуальность. Наиболее частыми осложнениями бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника являются нейропатии стволов поясничного сплетения, в частности бедренного нерва. Моделирование данного хирургического вмешательства на здоровых животных в эксперименте позволяет оценить степень его травматичности для нервных структур и понять, с чем связано сохранение либо отягощение неврологической симптоматики: с ятрогенными повреждениями или с прогрессированием имеющейся патологии.

Цель исследования — изучить гистологические и морфометрические изменения бедренного нерва в отдаленные периоды после моделирования бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника у собак.

Дизайн исследования. Экспериментальное проспективное сплошное неконтролируемое исследование. **Материал и методы.** 18 беспородным собакам (возраст 2–3 года, масса тела 13,2–17,6 кг) через боковой доступ выполняли дискэктомии на уровне L4-5 и L5-6, устанавливали межтеловые имплантаты, поясничный отдел стабилизировали в течение 30 сут. спицевым аппаратом внешней фиксации. Проводили клинико-неврологическую оценку и гистологическое исследование бедренных нервов со стороны оперативного доступа. **Результаты.** В раннем послеоперационном периоде наблюдали временное снижение функции бедренного нерва, которое проявлялось нарушением опорной функции и мышечной слабостью тазовых конечностей, снижением коленного рефлекса, переносом опоры стопы на плюсневый мякиш. В дальнейшем, через 18 мес., общее состояние всех животных было удовлетворительным, нарушений опорной функции и двигательных рефлексов конечностей не отмечалось. В бедренном нерве через 6 мес. наблюдали снижение в 4 раза доли крупных быстропроводящих миелиновых волокон D>10 мкм и повышение в 3 раза доли мелких. Средний диаметр аксона и толщина миелина составляли 62% и 53% от нормы. Через 12–18 мес. размерные характеристики миелиновых волокон восстанавливались. В течение всего опыта 4–6% миелиновых волокон были реактивно-деструктивно изменены. **Заключение.** Моделирование бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника у здоровых животных показало отсутствие неврологической симптоматики через 6–18 мес., что свидетельствует о малой травматичности хирургического вмешательства. Тем не менее, выявленные через 6 мес. после операции субклинические реактивно-деструктивные изменения миелиновых волокон бедренного нерва указывают на необходимость применения превентивной антиневротической терапии.

Ключевые слова: боковой межтеловой спондилодез, неврологические осложнения, бедренный нерв, экспериментальное исследование.

Источник финансирования: работа поддержана программой МЗ РФ в рамках государственного задания на 2018–2020 гг.

Варсегова Т.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И., Рябых С.О. Гистологические и морфометрические изменения бедренного нерва при моделировании бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника в эксперименте. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):82–92. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1681>.

Cite as: Varsegova T.N., Diuriagina O.V., Antonov N.I., Ryabykh S.O. [Histological and Morphometric Changes in the Femoral Nerve During Lateral Interbody Fusion of the Lumbar Spine: Experimental Study]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):82–92. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1681>.

Варсегова Татьяна Николаевна / Tatiana N. Varsegova; e-mail: varstn@mail.ru

Рукопись получена: 15.10.2021. Рукопись одобрена: 26.11.2021. Статья опубликована онлайн: 30.11.2021.
Submitted: 15.10.2021. Accepted: 26.11.2021. Published Online: 30.11.2021.

© Варсегова Т.Н., Дюрягина О.В., Антонов Н.И., Рябых С.О., 2021
© Varsegova T.N., Diuriagina O.V., Antonov N.I., Ryabykh S.O., 2021

Histological and Morphometric Changes in the Femoral Nerve During Lateral Interbody Fusion of the Lumbar Spine: Experimental Study

Tatiana N. Varsegova, Olga V. Diuriagina, Nikolai I. Antonov, Sergey O. Ryabykh

National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia

Abstract

Background. Neuropathies of the lumbar plexus trunks, in particular those of the femoral nerve, are the most common complications of lateral interbody fusion of the lumbar spine. Modeling of this surgical intervention in normal animals experimentally makes it possible to assess the degree of its trauma to the nervous structures, and to understand what is the reason for the persistence or aggravation of neurological symptoms — iatrogenic injuries or the existing pathology progression. Purpose — to study histological and morphometric changes in the femoral nerve in the long-term periods after the lateral interbody fusion modeling of the canine lumbar spine. **Study design** — an experimental prospective continuous uncontrolled study. **Materials and Methods.** Discectomy via lateral approach was performed in 18 mongrel dogs (aged 2-3 years, mass 13.2-17.6 kg) at the level of L4-5 и L5-6, interbody titanium implants were mounted, the lumbar spine was stabilized with a wire device for external fixation within 30 days. Clinical and neurological evaluation was performed, as well as histological investigation of the femoral nerves from the side of surgical approach. **Results.** In the early postoperative period a temporary decrease in the femoral nerve function was observed, which was manifested by the disorder of the support function and muscle weakness of the pelvic limbs, decrease in the knee reflex, the foot support shift to the metatarsal pad. Later, until the end of the study (18 months), the general condition of all animals was satisfactory, there were no disorders of the limb support function and motor reflexes. After six months, in the femoral nerve there was 4-fold decrease in the proportion of large fast-conducting myelin fibers $D > 10 \mu\text{m}$ and 3-fold increase in that of the small ones. The mean axon diameter and myelin thickness were 62% and 53% of the norm. After 12-18 months, the dimensional characteristics of myelin fibers were restored. During the entire experiment, 4-6% of myelin fibers were reactively and destructively altered. **Conclusions.** The modeling of the lateral interbody fusion of the lumbar spine in normal animals experimentally demonstrated the absence of neurological symptoms after 6-18 months, which indicated low invasiveness of the surgical intervention. Nevertheless, the subclinical reactive and destructive changes in the myelin fibers of the femoral nerve revealed 6 months after the surgery indicated the need for preventive anti-neurotic therapy.

Keywords: femoral nerve, neuropathy, lateral interbody fusion, experimental study.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Дегенеративно-дистрофические заболевания позвоночника, такие как остеохондроз, спондилез, спондилоартроз, грыжи межпозвоночных дисков, приводят к нарушению стабильности, ограничению функциональных возможностей и появлению болей [1, 2]. Развиваются корешковый синдром и симптомы хромоты, ухудшается способность больного к самообслуживанию, что приводит к социальной дезадаптации и снижению качества жизни [3, 4, 5]. Лечение данных заболеваний, как правило, требует оперативного вмешательства [6, 7, 8].

Технологии межтелового спондилодеза в сочетании с прямой или непрямой декомпрессией являются достаточно эффективным вариантом устранения синдрома компрессии и нестабильности пораженного двигательного сегмента [7], устраняют клинично-неврологические проявления

и улучшают качество жизни пациентов [9, 10, 11, 12, 13]. Тем не менее выбор способа стабилизации позвоночника, оперативного доступа, персонализированный подбор имплантата и неврологические осложнения остаются предметами дискуссий, так как данные операции могут сопровождаться интраоперационной кровопотерей, повреждением невральных структур с развитием послеоперационного болевого синдрома [10, 14, 15, 16, 17].

К наиболее частым осложнениям бокового межтелового спондилодеза относят нейропатии нервных стволов поясничного сплетения, регрессирующие при применении антиневротической терапии [14, 18, 19, 20, 21]. По данным других авторов, у 20% прооперированных пациентов болевой синдром сохраняется и даже усиливается [22, 23]. Опасным осложнением является повреждение бедренного нерва. Так, J.W. Silverstein с соавторами

при мультимодальном мониторинге во время операции выявляли нарушение его проводимости в 11–12% случаев [24, 25]. Другие авторы выявили высокую частоту развития в раннем послеоперационном периоде синдрома бедренного нерва, регистрируемого у 62,7% больных, который у части пациентов регрессировал через 3 мес., а у большинства — лишь через год после операции [26, 27].

Согласно данным литературы, отдаленные результаты хирургического лечения дегенеративно-дистрофических заболеваний позвоночника значительно уступают краткосрочным, так как послеоперационные осложнения в большинстве случаев наблюдаются через 6–12 мес. после операции [28], а через 2 года частота и длительность госпитализаций не отличаются от дооперационных показателей [29].

В такой ситуации важно понять причину сохранения неврологической симптоматики — осложнение после медицинского вмешательства либо прогрессирование имеющейся патологии. Моделирование бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника у здоровых животных в эксперименте дает возможность изучить влияние данного хирургического вмешательства на структуру нервных стволов поясничного сплетения, в частности бедренного нерва. Отсутствие морфологических работ соответствующей тематики определяет актуальность данного исследования.

Цель исследования — изучить гистологические и морфометрические изменения бедренного нерва в отдаленные периоды после моделирования бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника у собак.

Материал и методы

Эксперимент выполнен на 18 здоровых беспородных собаках в возрасте 2–3 лет с массой тела от 13,2 до 17,6 кг. Срок наблюдений составил 6 мес. ($n = 6$), 12 мес. ($n = 6$) и 18 мес. ($n = 6$).

Модель эксперимента

Оперативное вмешательство выполнялось в условиях операционной под общим внутривенным наркозом. Для премедикации использовали растворы рометара 2% (1 мг/кг), атропина сульфата 0,1% (0,02 мг/кг), дроперидола 1% (0,5 мг/кг) и димедрола 1% (0,02 мг/кг), для наркоза — раствор тиопентала натрия 5% в дозе 10 мг/кг веса. Спондилодез поясничного отдела позвоночника выполняли справа, в боковом положении животного. На уровне L4–6 выполняли линейный разрез поверхностных мягких тканей на уровне вершин поперечных отростков поясничных позвонков. Далее тупым способом скелетировали поперечные отростки L4–5 и L5–6 позвонков с их дорсальной и вентральной поверхностей и полностью удаляли их костными кусачками, далее обнажали межпозвоночный диск. Вентральный корешок спинномозгового нерва совместно с сосудами аккуратно отделяли от поверхности межпозвоночного диска и дислоцировали дорсо-каудально на 0,5–0,8 мм на эластичном держателе (рис. 1а). Поясничное нервное сплетение в комплексе с сегментарными сосудами, большой и малой поясничными мышцами закрывали широким раневым крючком и смещали вентрально (без перерастяжения, не более 30 мин.). Далее костными фрезами производили выборку диска, замыкательных пластинок и костной ткани тел смежных позвонков, формируя костное ложе, соответствующее размерам и форме устанавливаемого кейджа. Имплантат устанавливали методом вколачивания до полного заглубления в межтеловое пространство (рис. 1б), рану послойно ушивали. Для предупреждения миграции межпозвоночных кейджей поясничный отдел позвоночника стабилизировали спицевым аппаратом внешней фиксации в течение 30 сут. [30].

В послеоперационном периоде проводили антибактериальную терапию цефтриаксоном в дозе 30 мг/кг веса в течение 5 дней. В качестве обезболивающего средства применяли литическую смесь

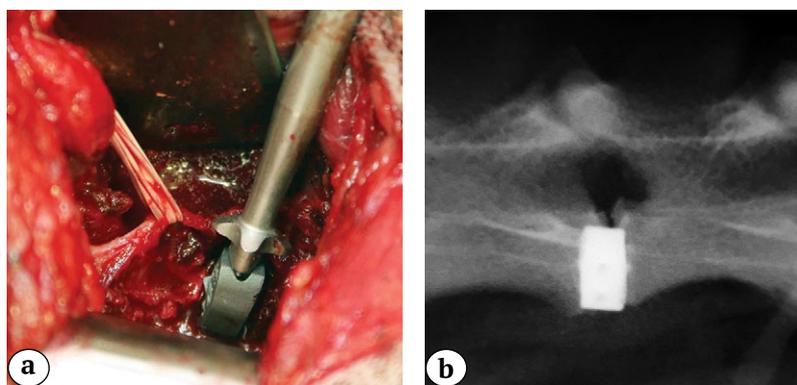


Рис. 1. Установка титанового кейджа между поясничными позвонками собаки: а — отведение корешка спинномозгового нерва на латексной держалке; б — положение кейджа в межтеловом пространстве на рентгенограмме в боковой проекции

Fig. 1. Implantation of a titanium cage between the canine lumbar vertebrae: a — abducting the spinal nerve root on a latex holder; b — position of the cage in the interbody space on the lateral X-ray

из растворов анальгина 50% 1 мл/кг и димедрола 1% 0,02 мг/кг. Места входа и выхода спиц обрабатывали растворами перекиси водорода 3% и фурацилина 1×5000, смазывали спиртовым раствором бриллиантовой зелени.

Оценка результатов

Клиническую оценку проводили в раннем и позднем послеоперационных периодах. Оценивали общее состояние животных, двигательную, опорную функции тазовых конечностей, выраженность двигательных рефлексов.

Гистологические исследования бедренного нерва выполняли после эвтаназии животных через 6, 12 и 18 мес. эксперимента. Материалом являлись иссеченные фрагменты проксимальной части нервного ствола на стороне оперативного вмешательства. Забор материала осуществляли в толще подвздошно-поясничной мышцы после объединения спинномозговых нервов в ствол бедренного нерва. Фрагменты нерва 7 дней фиксировали в смеси 2% растворов глутарового альдегида и параформальдегида, затем сутки в 1% растворе оксида осмия (VIII) и заливали в аралдит. Поперечные тотальные полутонкие срезы нервов окрашивали полихромным методом: метиленовым синим, азуром II и основным фуксином. Полноцветные изображения оцифровывали с помощью микроскопа «AxioScore.A1» и цифровой камеры «AxioCam» (Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Германия). В программе «ВидеоТест Мастер-Морфология 4.0» (ООО «НПК “Зенит”», Россия) определяли средние диаметры миелиновых волокон, их аксонов, коэффициент G (отношение диаметра аксона к диаметру волокна), толщину миелиновой оболочки, долю измененных миелиновых нервных волокон в процентах. Строили гистограммы распределения нервных волокон по диаметрам. Контролем послужили аналогичные фрагменты бедренных нервов 3 интактных собак.

Статистический анализ

Статистический анализ выполняли в программе Attestat версия 9.3.1 (разработчик И.П. Гайдышев, сертификат о регистрации в Роспатенте № 2002611109). Значения показателей представляли в виде медиан (Me) и квартилей (Q1;Q3). Значимость различий определяли критерием Манна–Уитни. При $p < 0,05$ различия считались статистически значимыми.

Результаты

В первые сутки после операции состояние всех животных было средней тяжести. Температура тела составляла 39,0–39,5°, отмечали парез тазовых конечностей при наличии глубокой болевой чувствительности. Прием корма и воды был снижен, мочеиспускание и дефекация контролируемые.

В области оперативного вмешательства отмечали умеренную болезненность и незначительный послеоперационный отек мягких тканей. Истечения из операционной раны отсутствовали. В местах входа и выхода спиц наблюдали скудное серозное отделяемое. На 2-е и 3-и сут. отек тканей в области операционной раны уменьшался, истечения из швов не наблюдались, экссудация в области спиц была незначительная, серозного характера.

В раннем послеоперационном периоде у 15 (83,3%) собак отмечали улучшение общего состояния, нормализацию аппетита и температуры тела (38,5–39,0°), постепенное восстановление опорной и двигательной функции тазовых конечностей. Однако у данных животных на фоне улучшения общего состояния отмечали снижение коленного рефлекса справа (на стороне оперативного вмешательства) и перенос опоры стопы на плюсневый мякиш. В последующем, к 7-м сут. наблюдения, у этих животных коленный рефлекс восстанавливался. Двигательная функция тазовых конечностей была без нарушений. Опора конечностей осуществлялась равномерно на подушечки пальцев и плюсневый мякиш. Тонус мышц был удовлетворительный. У 2 из 18 собак (11,1%) рефлексы и двигательная активность восстанавливались к 10 сут. после операции, у одной собаки (5,6 %) — на 30-е сут. В дальнейшем, до конца наблюдений, общее состояние животных было хорошим, нарушений опорной функции и двигательных рефлексов конечностей не отмечалось. Постановка тазовых конечностей была правильной.

Макроскопический осмотр бедренных нервов оперированных животных после препарирования показал, что они сохраняли непрерывность, имели равномерную толщину и жемчужно-белый цвет. Микроскопическое изучение бедренных нервов показало, что через 6 мес. эксперимента в эпиневррии визуально отмечалось повышение в сравнении с интактным нервом количества фибробластов, фиброцитов и тучных клеток, встречались плазматические клетки и макрофаги. Сосуды эпиневрального и эндоневрального микроциркуляторных русел имели расширенные просветы, утолщенные стенки. Периневррий сохранял нормальное тонколамеллярное строение. Морфологическое исследование проводниковой части бедренного нерва показало, что через 6 мес. опыта обнаруживались одиночные либо в составе регенерационных кластеров регенерирующие миелиновые волокна малого калибра, отсутствующие в интактном нерве (рис. 2). Среди проводников нормальной структуры встречались гипомиелинизированные волокна и волокна, имеющие признаки аксональной дегенерации, доля которых составила 4,36 (2,02;3,60) что в 2,2 раза выше ($p = 0,000$) значений интактного нерва — 2,02 (1,00;2,90).

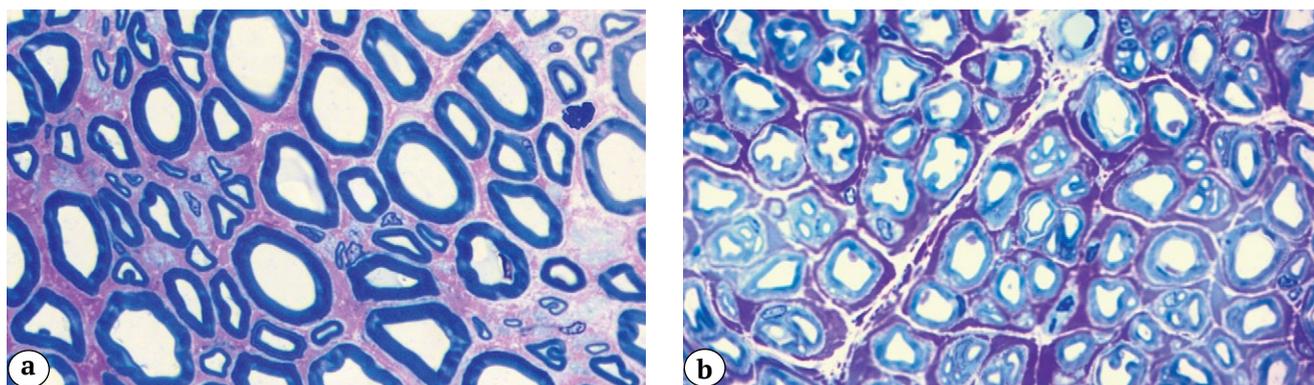


Рис. 2. Фрагменты полутонких срезов бедренных нервов собак:

а — интактный нерв; б — через 6 мес. эксперимента.

Окраска полихромным методом: метиленовым синим, азуром II и основным фуксином. Ув. ×500

Fig. 2. Fragments of the semi-thin sections of the canine femoral nerves:

а — the intact nerve; б — after 6 months.

Polychrome staining: methylene blue, azure II and basic fuchsin. Mag. ×500

Вследствие предшествующей дегенерации части волокон и последующих регенераторных процессов регистрировалось снижение всех размерных характеристик миелиновых волокон: средний диаметр волокон снижался на 56% вследствие снижения диаметра аксона на 52% и толщины миелина на 38% (табл. 1).

Через 6 мес. после оперативного вмешательства гистограмма распределения миелиновых проводников по диаметрам (D) смещалась в сравнении с интактным бедренным нервом влево на 1 разряд: регенерирующие волокна (D<2,0 мкм)

составляли 9% при отсутствии волокон D>16 мкм (рис. 3). Гистограмма становилась унимодальной, единственная мода находилась в диапазоне волокон 2,1–3,0 мкм (в интактном — 4,1–5,0 мкм). Доля мелких (D≤4,0 мкм) проводников возрастала до 44% (в интактном — 13%), доля средних (D 4,1–7,0 мкм) — до 30% (в интактном — 23%), а крупных (D>7,0 мкм) снижалась до 26% (в интактном — 64%). Доля самых быстропроводящих нервных волокон D>10,0 мкм составляла всего 13% (в интактном — 48%).

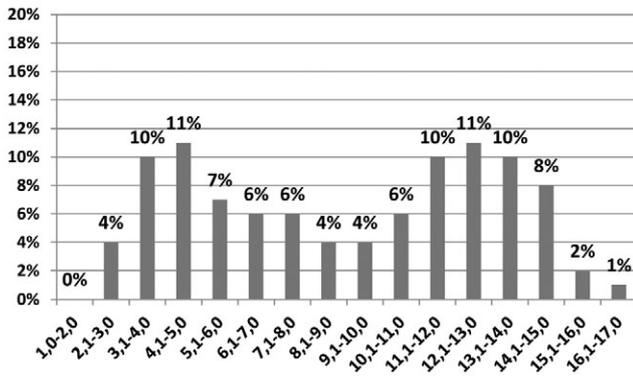
Таблица 1

Размерные показатели миелиновых нервных волокон: Me (Q1; Q2)

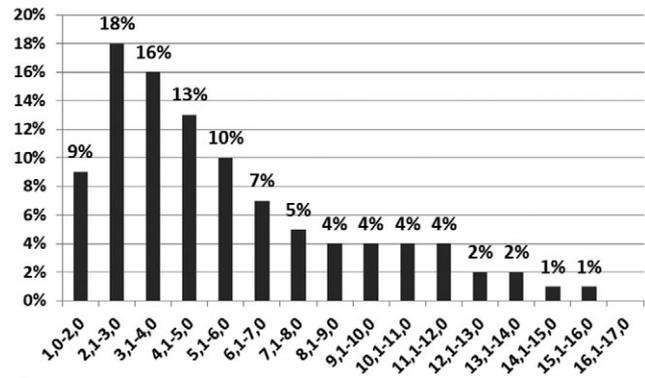
Параметр	Интактный нерв	6 мес. опыта	12 мес. опыта	18 мес. опыта
Диаметр волокна, мкм	9,91 (5,26; 12,74)	4,36 (2,58; 6,66) *p = 0,024	8,71 (7,79; 12,11) p = 0,051	9,90 (5,00; 13,35) p = 0,100
Диаметр аксона, мкм	6,35 (3,81; 8,71)	3,06 (2,02; 4,89) *p = 0,000	5,78 (3,41; 7,95) p = 0,050	6,70 (3,65; 9,40) p = 0,307
Толщина миелина, мкм	1,55 (0,87; 2,02)	0,92 (0,76; 1,15) *p = 0,003	1,47 (0,67; 2,07) p = 0,064	1,36 (0,68; 2,00) *p<0,05
Коэффициент G	0,70 (0,65; 0,72)	0,63 (0,42; 0,95) *p = 0,046	0,68 (0,66; 0,70) p = 0,053	0,73 (0,68; 0,76) p = 0,062

p — уровень значимости отличий опытных групп от интактной по критерию Манна–Уитни;

* — различия статистически значимы (p<0,05).



a



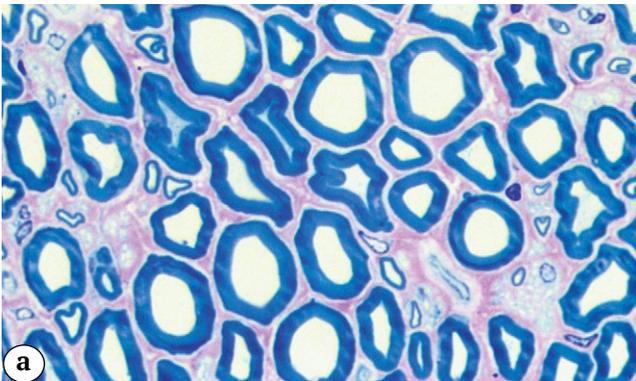
b

Рис. 3. Распределение миелиновых нервных волокон по диаметрам в интактном бедренном нерве (а) и через 6 мес. после операции (б). Диаметры волокон представлены на оси абсцисс, процентные доли проводников — на оси ординат

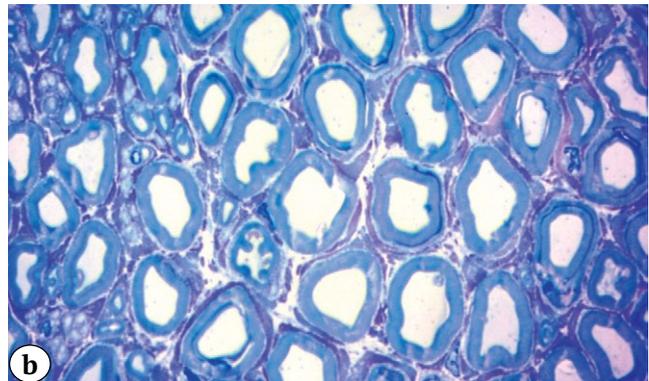
Fig. 3. Distribution of myelin nerve fibers by diameters in the intact femoral nerve (a) and 6 months (b) after surgery. Fiber diameters are shown on the X-axis (abscissa), the percentage proportions of conductors — on the Y-axis (ordinate)

Через 12 и 18 мес. эксперимента большая часть (более 93%) миелиновых нервных волокон бедренного нерва имела нормальную структуру, встречались единичные регенерационные кластеры и реактивно-деструктивно измененные проводники (рис. 4). Доля последних через 12 и 18 мес. оставалась

повышенной — 6,45 (3,59;7,05) и 6,76 (2,59;6,87) соответственно, что в 3,2 и 3,3 раза ($p = 0,000$) выше контроля — 2,02 (1,00;2,90). Размерные характеристики миелиновых волокон бедренного нерва через 12 и 18 мес. не имели статистически значимых различий с контролем (см. табл. 1).



a



b

Рис. 4. Фрагменты полутонких срезов бедренных нервов собак: а — через 12 мес.; б — через 18 мес. эксперимента.

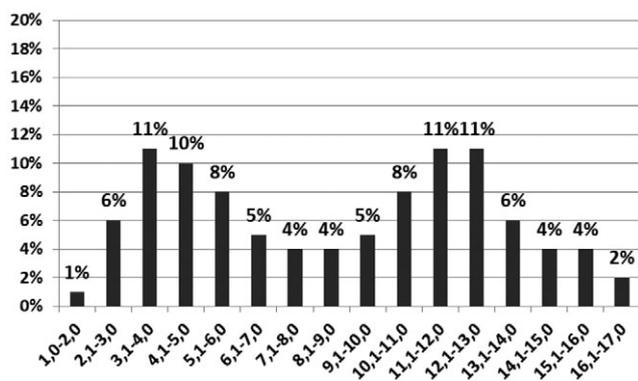
Окраска полихромным методом: метиленовым синим, азуром II и основным фуксином. Ув. $\times 500$

Fig. 4. Fragments of the semi-thin sections of the canine femoral nerves: а — after 12 months; б — after 18 months.

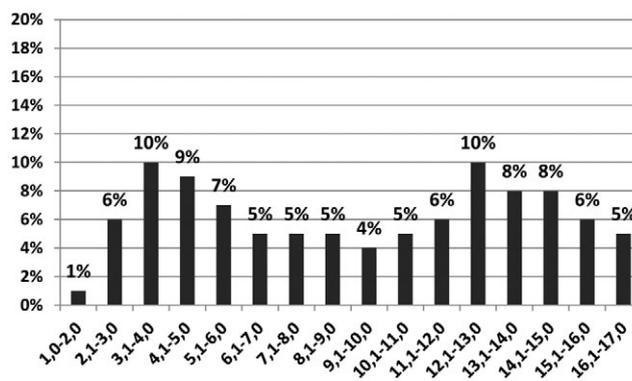
Polychrome staining: methylene blue, azure II and basic fuchsin. Mag. $\times 500$

Гистограммы распределения проводников бедренного нерва по диаметрам через 12 и 18 мес. восстанавливали бимодальность. Основание гистограмм оставалось увеличенным слева на 1 разряд — сохранялся 1% регенерирующих волокон, но

восстанавливалась фракция волокон диаметром 16,1–17,0 мкм, отсутствующая через 6 мес. после операции (см. рис. 3b). Доли мелких ($D \leq 4,0$ мкм) и крупных ($D > 7,0$ мкм) проводников через 12 и 18 мес. были приближены к контролю (рис. 5).



а



б

Рис. 5. Распределение миелиновых нервных волокон по диаметрам через 12 (а) и 18 мес. (б) после операции. Диаметры волокон представлены на оси абсцисс, процентные доли проводников — на оси ординат

Fig. 5. Distribution of myelin nerve fibers by diameters after 12 months (a) and 18 months (b) after surgery. Fiber diameters are shown on the X-axis, the percentage proportions of conductors — on the Y-axis

Обсуждение

Техника бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника становится все более популярной благодаря меньшему рассечению тканей, времени операции, меньшей кровопотере и послеоперационной боли, но может сопровождаться неврологическими осложнениями [31]. Наше исследование при моделировании данного оперативного вмешательства у интактных собак выявило функциональные нарушения в виде пареза тазовых конечностей, снижения коленного рефлекса справа и неполной опоры стопы, которые в большинстве случаев регрессировали в раннем послеоперационном периоде, что согласуется с результатами клинических исследований [32, 33].

В отдаленные сроки эксперимента через 6, 12 и 18 мес., в которые производился забор материала для морфологических исследований, отягощение неврологической симптоматики отсутствовало, неврологический дефицит не обнаруживался — рефлексы, двигательная и опорная функции тазовых конечностей были в норме. В то же время морфологическое исследование бедренного нерва в эти сроки опыта выявило гистологические и морфометрические изменения нервных проводников. Так, на всех сроках опыта в части волокон (4–7%) выявлялись признаки повреждения миелиновых оболочек и аксонов без нарушения структуры оболочек бедренного нерва, что расценивается как нейропраксия и аксонотмезис [34, 35]. Данные реактивно-деструктивные изменения нервных волокон неспецифичны, обнаруживаются как при тракционных [36, 37], так и при компрессионных типах травм периферических нервов [38, 39].

Кроме того, через 6 мес. после операции нами были выявлены изменения популяционного состава нервных проводников: уменьшение доли крупных и повышение доли мелких миелиновых волокон, а также снижение их размерных характеристик — средний диаметр аксона составлял 62% от нормы, а толщина миелина — только 53%. Эти показатели свидетельствуют о преобладании процессов демиелинизации, что согласуется с результатами J.S. Uribe с соавторами, которые при применении данной технологии диагностировали у части пациентов послеоперационную симптоматическую нейропраксию [40].

Выявленные через 6 мес. гистоморфометрические изменения бедренного нерва практически полностью нивелировались через 12 и 18 мес. опыта — размерные характеристики миелиновых волокон восстанавливались, гистограммы приближались к интактным, что согласуется с исследованием A.G. Tohmeh с соавторами, которые установили, что послеоперационный двигательный дефицит нивелируется через 6 мес. наблюдения [41].

На протяжении всего эксперимента в бедренных нервах не выявляли массовую гибель миелиновых волокон и классические признаки травматических нейропатий — концентрические структуры в виде спирально расположенных вокруг демиелинизированного аксона шванновских клеток, образующиеся вследствие повторяющихся процессов сегментарной демиелинизации и ремиелинизации [42, 43].

Выявленные функциональные нарушения, имеющие место только в раннем послеоперационном периоде, и субклинические гистоморфометрические изменения бедренного нерва через

6 мес. после операции, регрессирующие в последующем, мы связываем с инструментальным вмешательством — тракцией нервных стволов при дислокации и вибрационным воздействием костных фрез при формировании костного ложа имплантата. Наши предположения подтверждают данные других авторов. Так, J.W. Silverstein с соавторами [24] и J.S. Uribe с соавторами [40] при выполнении бокового поясничного межтелового спондилодеза выявили снижение амплитуды вызванных потенциалов бедренного нерва во время хирургической ретракции, но незамедлительные хирургические контрмеры позволили смягчить либо предотвратить повреждение бедренного нерва. R. Alluri с соавторами считают, что неврологические осложнения при данной технологии связаны с необходимостью прямых взаимодействий со структурами поясничного сплетения в виде их растяжения и сжатия [44].

Заключение

Выявленные в раннем послеоперационном периоде функциональные нарушения и субклинические гистоморфометрические изменения бедренного нерва в виде уменьшения диаметра и деструктивных изменений части миелиновых нервных волокон через 6 мес. после моделирования бокового межтелового спондилодеза поясничного отдела позвоночника у здоровых животных являются следствием интраоперационного взаимодействия со структурами поясничного сплетения. Эти факторы риска развития неврологических осложнений требуют дальнейшего тщательного исследования, должны учитываться при выборе данной методики.

Этическая экспертиза

Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» (протокол 2(57) от 17.05.18) и выполнено в соответствии с межгосударственным стандартом ГОСТ Р 33044-2014 от 20.10.14 № 71-П «Принципы надлежащей лабораторной практики».

Литература [References]

1. Михайлов Д.А., Усиков В.Д., Пташников Д.А. Результаты использования механического декомпрессора в лечении дегенеративно-дистрофических заболеваний поясничного отдела позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2010;(3):35-40. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-3-35-40. Mikhaylov D.A., Usikov V.D., Ptashnikov D.A. [Results of the treatment of degenerative dystrophic spine lumbar disease using mechanical decompressor]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2010;(3):35-40. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-3-35-40.
2. Волков И.В., Карабаев И.Ш., Пташников Д.А., Коновалов Н.А., Поярков К.А. Сравнительный анализ эффективности холодноплазменной нуклеопластики и радиочастотной аннулопластики при лечении дискогенных болевых синдромов. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(2):49-58. doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-49-58. Volkov I.V., Karabaev I.S., Ptashnikov D.A., Konovalov N.A., Poyarkov K.A. [Cold plasma nucleoplasty versus radiofrequency annuloplasty for discogenic pain syndrome: comparative analysis of efficacy]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(2):49-58. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2018-24-2-49-58.
3. Колесниченко В.А., Греско И.В. Клиническая характеристика больных поясничным остеохондрозом с нарушением двигательного стереотипа. *Вестник проблем биологии и медицины*. 2019;1(148):125-127. Kolesnichenko V.A., Gresko I.V. [Clinical characteristics of patients with lumbar osteochondrosis with impairment motor stereotype]. *Vestnik problem biologii i meditsiny* [Bulletin of Problems of Biology and Medicine]. 2019;1(148):125-127. (In Russian).
4. Clark S., Horton R. Low back pain: a major global challenge. *Lancet*. 2018;391(10137):2302. doi: 10.1016/S0140-6736(18)30725-6.
5. Wu A.M., Hu Z.C., Li X.B., Feng Z.H., Chen D., Xu H. et al. Comparison of minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in the treatment of single segmental lumbar spondylolisthesis: minimum two-year follow up. *Ann Transl Med*. 2018;6(6):105. doi: 10.21037/atm.2018.02.11.
6. Мазуренко А.Н., Пустовойтенко В.Т., Макаревич С.В., Криворот К.А., Сомова И.Н. Варианты внедрения сетчатого титанового имплантата в тела поясничных позвонков при переднем спондилодезе. *Хирургия позвоночника*. 2018;15(3):23-29. doi: 10.14531/ss2018.3.23-29. Mazurenko A.N., Pustovoytenko V.T., Makarevich S.V., Krivorot K.A., Somova I.N. [Variants of titanium mesh implant penetration into the lumbar vertebral bodies after anterior fusion]. *Hirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2018;15(3):23-29. (In Russian). doi: 10.14531/ss2018.3.23-29.
7. Масевнин С.В., Пташников Д.А., Волков И.В. Влияние позвоночно-тазовых параметров на развитие нестабильности смежного сегмента после одноуровневого спондилодеза в поясничном отделе позвоночника. *Современные проблемы науки и образования*. 2019;(1):44. doi: 10.17513/spno.28538. Masevnin S.V., Ptashnikov D.A., Volkov I.V. [Influence of spinopelvic parameters on the development of the adjacent segment instability after one-level lumbar spondylodesis] *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern Problems of Science and Education. Surgery]. 2019;(1):44. (In Russian). doi: 10.17513/spno.28538.
8. Palejwala S.K., Sheen W.A., Walter C.M., Dunn J.H., Baaj A.A. Minimally invasive lateral transpoas interbody fusion using a stand-alone construct for the treatment of adjacent segment disease of the lumbar spine: review of the literature and report of three cases. *Clin Neurol Neurosurg*. 2014;124:90-96. doi: 10.1016/j.clineuro.2014.06.031.

9. Байков Е.С., Вернер Н.Ю. Ключевые моменты формирования межтелового блока после декомпрессиивно-стабилизирующих вмешательств на пояснично-крестцовом отделе позвоночника: обзор литературы. *Гений ортопедии*. 2020;26(3):426-431. doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-426-431. Baykov E.S., Verner N.Yu. [Key points of interbody fusion following surgical decompression and stabilization of the lumbosacral spine: literature review]. *Genij Ortopedii*. 2020;26(3):426-431. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2020-26-3-426-431.
10. Байков Е.С., Пелеганчук А.В., Сангинов А.Д., Леонова О.Н., Крутько А.В. Хирургическая коррекция сагиттального дисбаланса поясничного отдела позвоночника дегенеративного генеза. *Хирургия позвоночника*. 2020;17(2):49-57. doi: 10.14531/ss2020.2.49-57. Baikov E.S., Peleganchuk A.V., Sanginov A.J., Leonova O.N., Krutko A.V. [Surgical correction of degenerative sagittal imbalance of the lumbar spine]. *Hirurgia pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2020;17(2):49-57. (In Russian). doi: 10.14531/ss2020.2.49-57.
11. Бывальцев В.А., Оконешникова А.К., Калинин А.А., Рабинович С.С. Взаимосвязь тропизма и ангуляции дугоотростчатых суставов и результатов стабилизирующих операций при дегенеративных заболеваниях поясничного отдела позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2018;15(4):70-79. doi: 10.14531/2018.4.70-79. Byvaltsev V.A., Okoneshnikova A.K., Kalinin A.A., Rabinovich S.S. [Interrelation of tropism and angulation parameters of facet joints and results of stabilization surgeries for degenerative diseases of the lumbar spine]. *Hirurgia pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2018;15(4):70-79. (In Russian). doi: 10.14531/2018.4.70-79.
12. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Степанов И.А., Алиев М.А., Шепелев В.В., Пестряков Ю.Я. Метаанализ проспективных когортных исследований, сравнивающих результаты использования минимально-инвазивного и открытого трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза в хирургическом лечении пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. *Гений Ортопедии*. 2019;(1):111-119. doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-111-119. Byvaltsev V.A., Kalinin A.A., Stepanov I.A., Aliyev M.A., Shepelev V.V., Pestryakov Yu.Ya. [Meta-analysis of prospective cohort studies that compare outcomes of minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in surgical treatment of patients with lumbar spine degenerative disease]. *Genij Ortopedii*. 2019;25(1):111-119. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2019-25-1-111-119.
13. Terman S.W., Yee T.J., Lau D., Khan A.A., La Marca F., Park P. Minimally invasive versus open transforaminal lumbar interbody fusion: comparison of clinical outcomes among obese patients. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(6):644-652. doi: 10.3171/2014.2.SPINE13794.
14. Алиев М.А., Мирзабаев М.Д., Аглаков Б.М., Мустафинов Д.Б., Жалтаев Д.А. Оценка лечения заднего межтелового спондилодеза пояснично-крестцового отдела позвоночника. *Вестник АГИУВ*. 2018;(1):30-34. Aliyev M.A., Mirzabayev M.D., Aglakov B.M., Mustafinov D.B., Zhaltayev D.A. [Evaluation of the treatment of the posterior interbody spondylodesis of the lumbosacral spine]. *Vestnik-AGIUV* [Almaty State Institute Bulletin Improvement of Doctors]. 2018;(1):30-34. (In Russian).
15. Климов В.С., Василенко И.И., Евсюков А.В., Халепа Р.В., Амелина Е.В., Рябых С.О. и др. Применение технологии LLIF у пациентов с дегенеративным сколиозом поясничного отдела позвоночника: анализ ретроспективной когорты и обзор литературы. *Гений Ортопедии*. 2018;(3):393-403. doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-393-403. Klimov V.S., Vasilenko I.I., Evsyukov A.V., Khalepa R.V., Amelina E.V., Ryabykh S.O. et al. [The use of LLIF technology in adult patients with degenerative scoliosis: retrospective cohort analysis and literature review]. *Genij Ortopedii*. 2018;24(3):393-403. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2018-24-3-393-403.
16. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Акшулаков С.К., Кривошеин А.Е., Керимбаев Т.Т., Степанов И.А. Мультицентровой анализ результатов применения прямого бокового межтелового спондилодеза (DLIF) и транскутанной транспедикулярной фиксации у пациентов с дегенеративными заболеваниями межпозвонковых дисков поясничного отдела позвоночника. *Вестник РАМН*. 2017;72(2):149-158. doi: 10.15690/vramn773. Byvaltsev V.A., Kalinin A.A., Akshulakov S.K., Krivoshein A.E., Kerimbayev T.T., Stepanov I.A. [Multicenter analysis of the results of application of direct lateral interbody fusion (DLIF) and transcutaneous transpedicular fixation in patients with degenerative disc diseases of the lumbar spine]. *Vestnik-RAMN* [Annals of the Russian Academy of Medical Sciences]. 2017;72(2):149-158. (In Russian). doi: 10.15690/vramn773.
17. Woods K.R., Billys J.B., Hynes R.A. Technical description of oblique lateral interbody fusion at L1-L5 (OLIF25) and at L5-S1 (OLIF51) and evaluation of complication and fusion rates. *Spine J*. 2017;17(4):545-553. doi: 10.1016/j.spinee.2016.10.026.
18. Drazin D., Liu J.C., Acosta F.L. Jr. CT navigated lateral interbody fusion. *J Clin Neurosci*. 2013;20(10):1438-1441. doi: 10.1016/j.jocn.2012.12.028.
19. Kim S.J., Lee Y.S., Kim Y.B., Park S.W., Hung V.T. Clinical and radiological outcomes of a new cage for direct lateral lumbar interbody fusion. *Korean J Spine*. 2014;11(3):145-151. doi: 10.14245/kjs.2014.11.3.145.
20. Cheng I., Briseño M.R., Arrigo R.T., Bains N., Ravi S., Tran A. Outcomes of Two Different Techniques Using the Lateral Approach for Lumbar Interbody Arthrodesis. *Global Spine J*. 2015;5(4):308-314. doi: 10.1055/s-0035-1546816.
21. Epstein N.E. Review of Risks and Complications of Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF). *Surg Neurol Int*. 2019;10:237. doi: 10.25259/SNI_559_2019.
22. Carragee E.J., Han M.Y., Suen P.W., Kim D. Clinical outcomes after lumbar discectomy for sciatica: The effects of fragment types and annular competence. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85(1):102-108.
23. Dewing C.B., Provencher M.T., Riffenburgh R.H., Kerr S., Manos R.E. The outcomes of lumbar microdiscectomy in a young, active population: correlation by herniation type and level. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008;33(1):33-38. doi: 10.1097/BRS.0b013e31815e3a42.
24. Silverstein J.W., Block J., Smith M.L., Bomback D.A., Sanderson S., Paul J. et al. Femoral nerve neuromonitoring for lateral lumbar interbody fusion surgery. *Spine J*. 2021:S1529-9430(21)00841-X. doi: 10.1016/j.spinee.2021.07.017.

25. Silverstein J., Mermelstein L., De Wal H., Basra S. Saphenous nerve somatosensory evoked potentials: a novel technique to monitor the femoral nerve during transpoas lumbar lateral interbody fusion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(15):1254-1260. doi: 10.1097/BRS.0000000000000357.
26. Almazrua I.S., Almarshad A.Y., Binzuman G., Arabiah A.M. Psoas Hematoma and Late Femoral Nerve Palsy After Extreme Lateral Interbody Fusion and Posterior Spinal Fusion with Instrumentation: A Case Report. *Orthop Res Rev*. 2020;12:127-132. doi: 10.2147/ORR.S272077.
27. Cummock M.D., Vanni S., Levi A.D., Yu Y., Wang M.Y. An analysis of postoperative thigh symptoms after minimally invasive transpoas lumbar interbody fusion. *J Neurosurg Spine*. 2011;15(1):11-18. doi: 10.3171/2011.2.SPINE10374.
28. Денисов А.А., Пташников Д.А., Михайлов Д.А., Масевнин С.В., Сmealенков О.А., Заборовский Н.С. Рентгенологическая оценка коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза при применении индивидуальных лордозизирующих межтеловых имплантатов у пациентов с дегенеративным сколиозом. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(2):71-78. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-71-78. Denisov A.A., Ptashnikov D.A., Mikhaylov D.A., Masevnin S.V., Smekalenkov O.A., Zaborovskii N.S. [Individual Lordotic Cages Implantation and Radiographic Evaluation of Segmental and Lumbar Lordosis Correction for Patients with Adult Degenerative Scoliosis]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(2):71-78. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-71-78.
29. Weinstein J.N., Tosteson T.D., Lurie J.D., Tosteson A.N., Hanscom B., Skinner J.S. et al. Surgical vs Nonoperative Treatment for Lumbar Disk Herniation. The Spine Patient Outcomes Research Trial (SPORT): A Randomized Trial. *JAMA*. 2006;296(20):2441-2450. doi: 10.1001/jama.296.20.2441.
30. Кирсанов К.П., Тимофеев В.Н., Меньщикова И.А. Методика и технические средства для внешней фиксации поясничного отдела позвоночника. *Ветеринария*. 2001;(8):36-40. Kirsanov K.P., Timofeev V.N., Menshchikova I.A. [Technique and technical means for external fixation of the lumbar spine]. *Veterinariya* [Veterinary]. 2001;(8):36-40. (In Russian).
31. Graham R.B., Wong A.P., Liu J.C. Minimally invasive lateral transpoas approach to the lumbar spine: pitfalls and complication avoidance. *Neurosurg Clin N Am*. 2014;25(2):219-231. doi: 10.1016/j.nec.2013.12.002.
32. Tormenti M.J., Maserati M.B., Bonfield C.M., Okonkwo D.O., Kanter A.S. Complications and radiographic correction in adult scoliosis following combined transpoas extreme lateral interbody fusion and posterior pedicle screw instrumentation. *Neurosurg Focus*. 2010;28(3):E7. doi: 10.3171/2010.1.FOCUS09263.
33. Pumberger M., Hughes A.P., Huang R.R., Sama A.A., Cammisa F.P., Girardi F.P. Neurologic deficit following lateral lumbar interbody fusion. *Eur Spine J*. 2012;21(6):1192-1199. doi: 10.1007/s00586-011-2087-9.
34. Althagafi A., Nadi M. Acute Nerve Injury. 2021 Aug 11. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2021. PMID: 31751038.
35. Burnett M.G., Zager E.L. Pathophysiology of peripheral nerve injury: a brief review. *Neurosurg Focus*. 2004;16(5):E1.
36. Щудло М.М., Щудло Н.А., Варсегова Т.Н., Борисова И.В. Реакция нервов на растяжение и их структурная адаптация к удлинению конечности. *Гений ортопедии*. 2009;(4):48-55. Schudlo M.M., Schudlo N.A., Varsegova T.N., Borisova I.V. [Reaction of nerves to stretching and their structural adaptation to limb lengthening]. *Genij Ortopedii*. 2009;(4):48-55. (In Russian).
37. Mahan M.A., Warner W.S., Yeoh S., Light A. Rapid-stretch injury to peripheral nerves: implications from an animal model. *J Neurosurg*. 2019;1-11. doi: 10.3171/2019.6.JNS19511.
38. Liu Z.Y., Chen Z.B., Chen J.H. A novel chronic nerve compression model in the rat. *Neural Regen Res*. 2018;13(8):1477-1485. doi: 10.4103/1673-5374.235306.
39. Degrugillier L., Prautsch K.M., Schaefer D.J., Guzman R., Schären S., Kalbermatten D.F. et al. A new model of chronic peripheral nerve compression for basic research and pharmaceutical drug testing. *Regen Med*. 2021;16(10):931-947. doi: 10.2217/rme-2020-0129.
40. Uribe J.S., Isaacs R.E., Youssef J.A., Khajavi K., Balzer J.R., Kanter A.S. et al. Can triggered electromyography monitoring throughout retraction predict postoperative symptomatic neuropraxia after XLIF? Results from a prospective multicenter trial. *Eur Spine J*. 2015;24(Suppl 3):S378-S385.
41. Tohmeh A.G., Rodgers W.B., Peterson M.D. Dynamically evoked, discrete-threshold electromyography in the extreme lateral interbody fusion approach. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(1):31-37. doi: 10.3171/2010.9.SPINE09871.
42. Wang A.P., Catana D., Provias J.P., Reddy K.K.V. Hypertrophic Interstitial Neuropathy of the Trigeminal Nerve: Case Report and Literature Review. *Neurosurgery*. 2020;87(1):E41-E47. doi: 10.1093/neuros/nyz418.
43. Yamagishi Y., Samukawa M., Kuwahara M., Takada K., Saigoh K., Mitsui Y. et al. Charcot-Marie-Tooth disease with a mutation in FBLN5 accompanying with the small vasculitis and widespread onion-bulb formations. *J Neurol Sci*. 2020;410:116623. doi: 10.1016/j.jns.2019.116623.
44. Alluri R., Mok J.K., Vaishnav A., Shelby T., Sivaganesan A., Hah R. et al. Intraoperative Neuromonitoring During Lateral Lumbar Interbody Fusion. *Neurospine*. 2021;18(3):430-436. doi: 10.14245/ns.2142440.220.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Варсегова Татьяна Николаевна — канд. биол. наук, старший научный сотрудник лаборатории морфологии, ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
e-mail: varstn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>

AUTHORS' INFORMATION:

Tatiana N. Varsegova — Cand. Sci. (Biol.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia
e-mail: varstn@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5430-2045>

Дюрягина Ольга Владимировна — канд. вет. наук, заведующая экспериментальной лабораторией, ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
e-mail: diuriagina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>

Антонов Николай Иванович — канд. биол. наук, научный сотрудник экспериментальной лаборатории, ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
e-mail: aniv-niko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>

Рябых Сергей Олегович — д-р мед. наук, заместитель директора по образованию и взаимодействию с регионами, руководитель клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России, г. Курган, Россия
e-mail: rso_@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6565-705>

Olga V. Diuriagina — Cand. Sci. (Vet.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia
e-mail: diuriagina@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9974-2204>

Nikolai I. Antonov — Cand. Sci. (Biol.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia
e-mail: aniv-niko@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8627-2749>

Sergey O. Ryabykh — Dr. Sci. (Med.), National Ilizarov Medical Research Centre for Traumatology and Orthopaedics, Kurgan, Russia
e-mail: rso_@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6565-705>

Заявленный вклад авторов

Варсегова Т.Н. — дизайн исследования, сбор и статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Дюрягина О.В. — дизайн исследования, проведение эксперимента, сбор и обработка материалов, написание текста.

Антонов Н.И. — проведение эксперимента, сбор и обработка материалов, написание текста.

Рябых С.О. — существенный вклад в разработку концепции и дизайна исследования, коррекция и окончательная редакция текста рукописи.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.



Научная статья
УДК 616.71-001.5-089.84
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1664>

Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек

П.А. Иванов, А.В. Касацкий, Н.Н. Заднепровский,
А.Н. Неведров

ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского
Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия

Реферат

Актуальность. Качество репозиции отломков при открытом остеосинтезе является одним из важных факторов, определяющих исход лечения. Нередко репозиция и удержание костных отломков представляют собой непростую задачу. Авторами предложен способ репозиции и временного удержания отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек, используемых при электромонтажных работах. **Цель** — продемонстрировать возможности нового способа интраоперационной репозиции и удержания костных отломков при помощи пластиковых хомутов-стяжек. **Материал и методы.** Хомуты-стяжки перед операцией подвергают стерилизации в режимах, предназначенных для подготовки полимерных изделий. После выделения отломков осуществляют их репозицию и удержание с помощью зажимов и костодержателей. На этом этапе операции возникает потребность в применении хомутов-стяжек, так как костодержатели препятствуют укладке пластины на кость. Для этого на свободные от костодержателей участки кости в области стыковки отломков накладывают 3–4 пластиковых хомута-стяжки. В тех местах, где к отломку прикрепляются неповрежденная надкостница и мышцы, инструментом формируют узкие поперечные каналы в мягких тканях для обхватывания кости хомутом. Затем свободный конец хомута проводят через его замок и максимально затягивают. После затягивания всех хомутов костодержатели снимают. Наложённые хомуты надёжно удерживают костные фрагменты от каких-либо смещений даже при ротации сегмента. Поверх кости с затянутыми хомутами-стяжками укладывают накостный фиксатор. Затем фиксируют пластину к кости винтами. Следует укладывать пластину на кость без сильного прижатия, что позволяет удалять хомуты-стяжки из-под пластины на любом этапе остеосинтеза. Стяжки удаляют, разрезая их скальпелем или перекусывая кусачками, затем пластину закрепляют к кости оставшимися винтами. **Заключение.** Хомуты-стяжки обладают многими преимуществами: они доступны, дешевы, не теряют своих механических свойств после стерилизации, позволяют надёжно удерживать отломки костей во время репозиции, рентгенонегативны. Метод продемонстрировал удобство и надёжность.

Ключевые слова: накостный остеосинтез, репозиция отломков, хомуты-стяжки.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Иванов П.А., Касацкий А.В., Заднепровский Н.Н., Неведров А.Н. Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):93-98. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1664>.

Cite as: Ivanov P.A., Kasatskiy A.V., Zadneprovskiy N.N., Nevedrov A.V. [A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):93-98. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1664>.

Иванов Павел Анатольевич / Pavel A. Ivanov; e-mail: ipamailbox@gmail.com

Рукопись получена: 10.08.2021. Рукопись одобрена: 19.11.2021. Статья опубликована онлайн: 13.12.2021.
Submitted: 10.08.2021. Accepted: 19.11.2021. Published Online: 13.12.2021.

© Иванов П.А., Касацкий А.В., Заднепровский Н.Н., Неведров А.Н., 2021
© Ivanov P.A., Kasatskiy A.V., Zadneprovskiy N.N., Nevedrov A.V., 2021

A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps

Pavel A. Ivanov, Aleksandr V. Kasatskiy, Nikita N. Zadneprovskiy, Aleksandr V. Nevedrov

Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia

Abstract

Background. The quality of fractures reposition in open osteosynthesis is one of the important factors determining the outcome of treatment. Often, the reposition and fixation of bone fragments is not an easy task. The authors propose a method of reposition and temporary fixation of fragments using plastic ty-raps used in electrical work. **The aim of the study** is to demonstrate the possibilities of new method of intraoperative reposition and fixation of bone fragments using plastic ty-raps. **Materials and Methods.** Ty-raps were sterilized before the surgery in the modes intended for the preparation of polymer products. After the fragments were dissected, their reposition and fixation are carried out with the help of clamps and bone clamps. At this stage, there is a need for the use of ty-raps, since the bone clamps prevent the plate from laying on the bone. To do this, 3-4 plastic ty-raps were applied to the areas of bone free from bone clamps in the area of the fragments contact. In those places where an intact periosteum and muscles are attached to the fragment, narrow transverse channels in soft tissues are formed with the instrument to wrap the bone with a ty-rap. Then the free end of the ty-rap is passed through its lock and tightened as much as possible. After tightening all the ty-raps, the bone clamps are removed. The applied ty-raps reliably keep the bone fragments from any displacement, even when the segment rotates. A bone plate is placed on the bone surface with tightened ty-raps. Then the plate fixed to the bone with screws. The plate should be placed on the bone without strong pressing, which allows you to remove the ty-raps from under the plate at any stage of osteosynthesis. The ty-raps are removed by cutting them with a scalpel or snacking with wire cutter, then the plate is fixed to the bone with the remaining screws. **Conclusion.** Ty-raps have many positive properties: they are affordable, cheap, do not lose their mechanical properties after sterilization, allow you to securely hold bone fragments during reposition, X-ray negative. The method has demonstrated convenience and reliability.

Keywords: plate fixation, bone fragments reposition, ty-raps.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Репозиция и удержание костных отломков при открытой репозиции во время операций остеосинтеза представляет собой непростую задачу. Степень восстановления анатомии поврежденной кости — это ключевой фактор, от которого зависит как ранний результат вмешательства, так и исход лечения в целом. Качество репозиции напрямую определяет степень стабильности остеосинтеза, вероятность формирования несращения и развития гнойных осложнений [1, 2, 3].

Нами предложен и успешно апробирован на практике способ репозиции и временного удержания отломков во время открытого остеосинтеза с помощью пластиковых хомутов-стяжек, используемых при электромонтажных работах. В строительстве и в быту хомуты-стяжки позволяют быстро и качественно закрепить различные детали и элементы конструкций между собой. Простая и надежная конструкция хомутов-стяжек, удобство их монтажа, дешевизна — вот причины, по которым они завоевали заслуженную популярность на производстве и в быту (рис. 1).

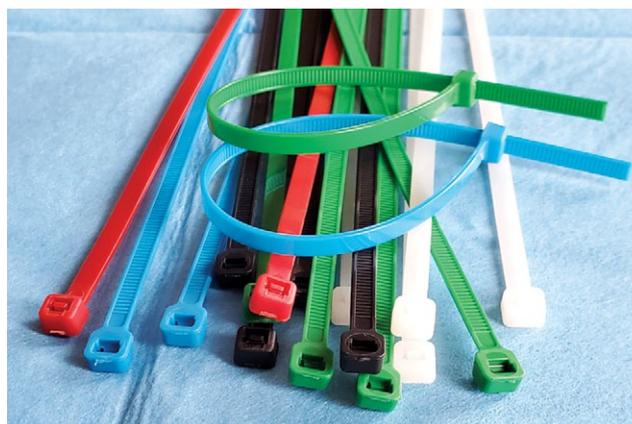


Рис. 1. Пластиковые хомуты-стяжки

Fig. 1. Plastic ty-raps

Изделия из полимеров давно и успешно применяются в хирургической практике (дренажные трубки, катетеры, грыжевые сетки, вкладыши эндортезов и т.п.). Возможность стерилизации, нетоксичность материала, высокие потребительские свойства изделий из полимеров сделали

их очень популярными в медицине. Пластиковые хомуты-стяжки также привлекли внимание медицинских специалистов. Один из примеров их применения приведен в статье наших коллег из Нидерландов, в которой авторы делятся своим опытом успешного использования данной оснастки для дерматотензии при закрытии ран после фасциотомии [4]. Именно эта работа вдохновила нас на разработку представленного сегодня способа.

Цель работы — продемонстрировать возможности нового способа интраоперационной репозиции и удержания костных отломков при помощи пластиковых хомутов-стяжек.

Хирургическая техника

Хомуты-стяжки перед операцией подвергают стерилизационной обработке в стандартных режимах, предназначенных для подготовки полимерных изделий. Методика применения хомутов-стяжек во время остеосинтеза отличается простотой. После выделения отломков осуществляют их репозицию и удержание с помощью зажимов и костодержателей по обычной методике. Именно на этом этапе операции и возникает потребность в применении разработанного нами способа, так как наложенные на кость костодержатели препятствуют укладке пластины на кость (рис. 2а). Для этого на свободные от костодержателей участки кости в области стыковки отломков накладывают 3–4 пластиковых хомута-стяжки (рис. 2б). В тех местах, где к отломку прикрепляются неповрежденная надкостница и мышцы, инструментом формируют узкие поперечные каналы в мягких тканях для обхватывания кости хомутом. Затем свободный конец хомута проводят через его замок и максимально затягивают. После затягивания всех хомутов костодержатели снимают (рис. 2с).

Наложённые хомуты надёжно удерживают костные фрагменты от каких-либо смещений даже при ротации сегмента. Затем поверх кости с затянутыми хомутами-стяжками укладывают наконный фиксатор (рис. 2d). При необходимости ему придается неподвижность с помощью костодержателя или дополнительных хомутов. После этого начинают фиксировать пластину к кости винтами. Важно исключить сильное зажатие хомута под пластиной. Если пластину укладывают на кость без сильного прижатия, то стяжки будут удаляться из-под пластины без труда на любом этапе остеосинтеза. Если же пластину притягивают к кости костодержателями или кортикальными винтами, то лучше удалять стяжки до этапа вкручивания ближайших к месту перелома винтов, чтобы избежать их плотного зажатия под пластиной. Для дополнительного ослабления придавливания стяжки рядом с хомутом в щель под пластину можно ввести малый элеватор или крючок малого ретрактора Хомана и отвести фиксатор от кости. Стяжки удаляют, разрезая их скальпелем или перекусывая кусачками (рис. 2e). После этого пластину закрепляют к кости оставшимися винтами.

Перед закрытием раны следует провести подсчет фрагментов хомутов-стяжек, чтобы исключить их оставление в ране. Лучше использовать изделия из яркого цветного пластика, что помогает идентифицировать их в операционном поле.

Уникальные свойства хомутов-стяжек позволяют использовать их не только для удержания, но и для репозиции переломов с длинными костными осколками. Для этого хомуты накладывают на отломки на разных уровнях, но затягивают их неполностью. Затем в ходе репозиции их последовательно дотягивают, тем самым поэтапно помогая сближать и удерживать отломки в правильном положении относительно друг друга.

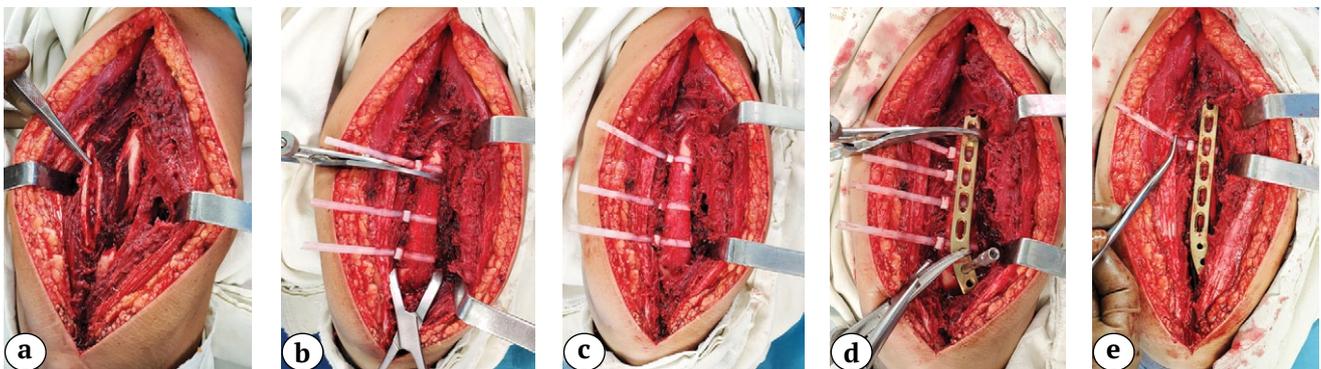


Рис. 2. Этапы использования хомутов-стяжек для удержания костных отломков: а — положение отломков до начала репозиции; б — после наложения костодержателей и хомутов-стяжек; с — после снятия костодержателей; д — после наложения пластины; е — удаление хомутов-стяжек

Fig. 2. Stages of using ty-raps to hold bone fragments: а — the position of the fragments before the start of the reposition; б — after applying the bone clamps and ty-raps; с — after removing the bone clamps; д — after applying the plate; е — removing the ty-raps

Обсуждение

Предложенный нами способ репозиции привлекателен благодаря доступности, эффективности и простоте исполнения. Хомуты-стяжки дешевы и доступны, продаются в большом ассортименте в строительных, компьютерных и хозяйственных магазинах (синонимы — пластиковая стяжка, кабельная стяжка, нейлоновая стяжка, стяжка-хомут, хомут пластиковый, хомут нейлоновый, стяжка полиамидная, хомут полиамидный, хомут кабельный, стяжка КСС, хомут KSS и так далее). Они отличаются по виду и свойствам материала, размеру, цвету, профилю, конструкции замка, возможности размыкания и повторного затягивания и т.п. Данные изделия не меняют своих физических свойств при любом из широко применяемых способов медицинской стерилизации.

Предложенный нами способ схож с классическим способом наложения проволочного серкляжа, но имеет очевидные преимущества. Он проще, дешевле, быстрее. Кроме этого, полимерный хомут-стяжка намного бережнее обхватывает кость и надкостницу, чем металлическая проволока [5]. Это обусловлено не только материалом, из которого они изготовлены. Стяжка обычно имеет форму ленты и, в отличие от проволоки, распределяет давление обхвата на большую площадь и меньше повреждает подлежащие ткани. Это свойство способа дает существенное преимущество при операциях у пожилых людей с истончением кортикального слоя и повышенной хрупкостью кости [6]. При использовании костодержателя его губки давят лишь на две точки окружности в месте контакта инструмента и кости. При сильном зажатии может происходить раскалывание отломков и усугубление нестабильности. Метод с использованием хомута-стяжки не содержит таких рисков — нагрузка давления на кость равномерно распределяется по всей длине окружности обхвата.

Предложенный способ имеет очевидные преимущества перед способами с наложением костодержателей. Бранши костодержателя нужно накладывать только в определенной плоскости

по отношению к плоскости соприкосновения отломков для их компрессии. При ошибочном выборе плоскости сдавления отломков возникает смещение отломков. Нередко расположить костодержатель в оптимальной позиции от плоскости перелома бывает затруднительно. Так, при придавливании пластины к кости костодержателем, особенно над костными гребнями или костью с поперечным сечением овальной формы, пластина стремится соскользнуть с кости ввиду несоответствия контура последней и профиля фиксатора. Разработанный нами способ лишен данного недостатка, так как хомут равномерно обхватывает кость и фиксатор и удерживает пластину с боковых сторон от соскальзывания (рис. 3). Поэтому при многооскольчатых переломах хомуты-стяжки являются практически безальтернативным инструментом при репозиции отломков.

Способ позволяет сближать отломки не только в направлении, перпендикулярном оси кости. Нами используется прием сдавления в диагональном направлении при помощи упора о спицу (рис. 4). Для этого после сопоставления отломков через концы в косом направлении проводят спицу. После этого хомут проводят по разные стороны от спицы и затягивают. Таким образом, он надежно располагается в заданном косом направлении по отношению к оси кости и перпендикулярно плоскости стыковки косых концов отломков.

Хомуты-стяжки изготовлены из рентгенопрозрачного материала, что наделяет их уникальными свойствами по сравнению с любым другим металлическим хирургическим инструментом. Нередко при рентгеноскопии во время операции металлические костодержатели и зажимы закрывают важные участки, усложняя контроль качества репозиции (рис. 5 а, б). Пластиковые устройства не создают в этом отношении препятствий — во время операции они не мешают визуализировать кость на любом участке (рис. 5 с). Качество удержания отломков во время остеосинтеза подтверждается послеоперационными рентгенограммами (рис. 5 d, e).



Рис. 3. Временная фиксация пластины на гребне кости
Fig. 3. Temporary fixation of the plate on the ridge of the bone



Рис. 4. Временная фиксация косого перелома с помощью спицы и хомута-стяжки
Fig. 4. Temporary fixation of an oblique fracture with a wire and a ty-rap

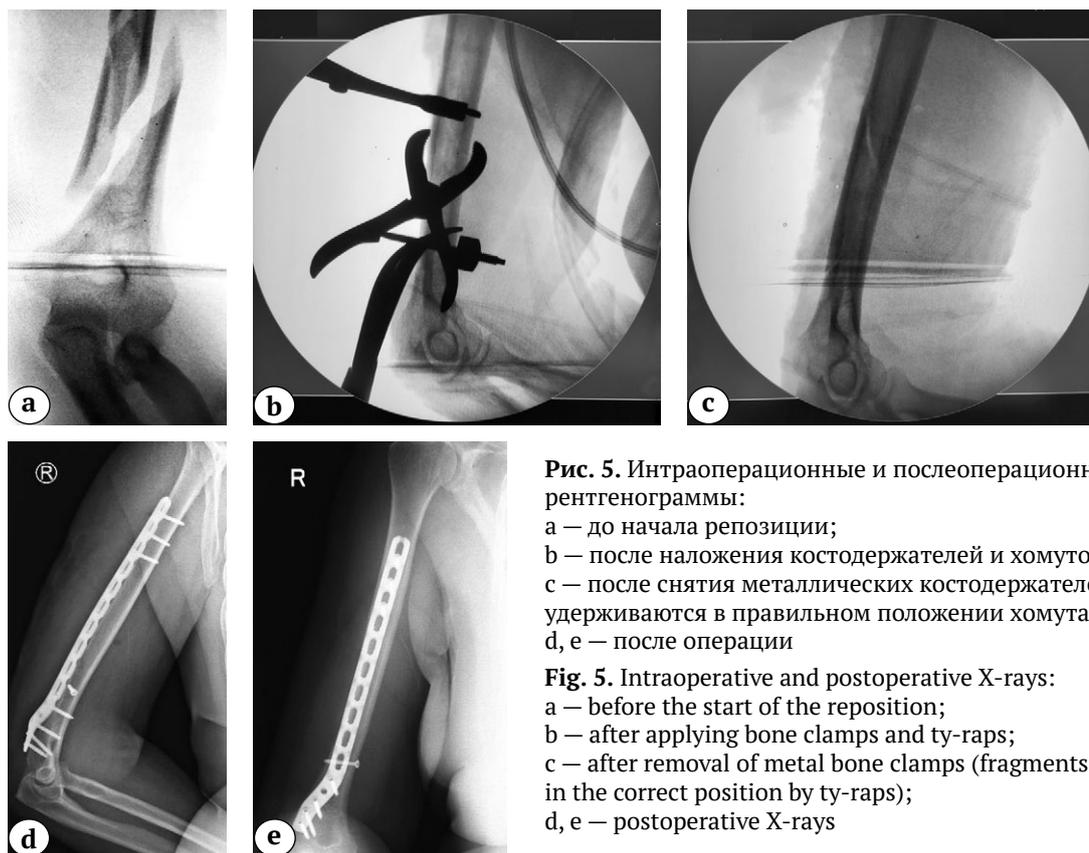


Рис. 5. Интраоперационные и послеоперационные рентгенограммы:
 а — до начала репозиции;
 б — после наложения костодержателей и хомутов-стяжек;
 с — после снятия металлических костодержателей (отломки удерживаются в правильном положении хомутами-стяжками);
 д, е — после операции

Fig. 5. Intraoperative and postoperative X-rays:
 a — before the start of the reposition;
 b — after applying bone clamps and ty-raps;
 c — after removal of metal bone clamps (fragments are held in the correct position by ty-raps);
 d, e — postoperative X-rays

Заклучение

Предложенный нами способ репозиции и удержания костных отломков с помощью хомутов-стяжек во время открытого остеосинтеза отличается надежностью, удобством и доступностью для применения. Он помогает удерживать отломки в правильном положении без риска дополнительного раскалывания кости и не создает препятствий при итраоперационной рентгеноскопии. Для уточнения степени эффективности предложенного способа необходимо проведение дополнительных исследований.

Этическая экспертиза

Протокол применения предложенного нами способа был одобрен локальным комитетом по биомедицинской этике ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы» (протокол №7-17 от 18 сентября 2017 г.).

Литература [References]

1. Shapiro F. Cortical bone repair. The relationship of the lacunar-canalicular system and intercellular gap junctions to the repair process. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(7):1067-1081.
2. Perren S.M. Evolution of the internal fixation of long bone fractures. The scientific basis of biological internal fixation: choosing a new balance between stability and biology. *J Bone Joint Surg Br.* 2002;84(8):1093-1110. doi: 10.1302/0301-620x.84b8.13752.
3. Попов В.П., Здселько В.П., Трухачев И.Г., Попов А.В. Осложнения при накостном остеосинтезе у больных с переломами длинных трубчатых костей. *Гений ортопедии.* 2014;(2):5-9. Popov V.P., Zdreiko V.P., Trukhachev I.G., Popov A.V. [Complications of extramedullary osteosynthesis in patients with long bone fractures]. *Genij Ortopedii.* 2014;(2):5-9. (In Russian).
4. Govaert G.A., van Helden S. Ty-raps in trauma: a novel closing technique of extremity fasciotomy wounds. *J Trauma.* 2010;69(4):972-975. doi: 10.1097/TA.0b013e3181f2d9d3.
5. Westberg S.E., Acklin Y.P., Hoxha S., Ayranci C., Adeb S., Bouliane M. Is suture comparable to wire for cerclage fixation? A biomechanical analysis. *Shoulder Elbow.* 2019;11(3):225-232. doi: 10.1177/1758573217735323.
6. Seeman E., Delmas P.D. Bone quality – the material and structural basis of bone strength and fragility. *N Engl J Med.* 2006;354(21):2250-2261. doi: 10.1056/NEJMra053077.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Иванов Павел Анатольевич — д-р мед. наук, заведующий научным отделением сочетанной и множественной травмы, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: ipamailbox@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2954-6985>

Касацкий Александр Викторович — врач травматологического отделения, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: av_kasatsky@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9779-530X>

Заднепровский Никита Николаевич — канд. мед. наук, научный сотрудник отделения сочетанной и множественной травмы, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: zacuta2011@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4432-9022>

Неведров Александр Валерьевич — канд. мед. наук, врач травматологического отделения, ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского Департамента здравоохранения г. Москвы», г. Москва, Россия
e-mail: alexnev1985@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1560-6000>

AUTHORS' INFORMATION:

Pavel A. Ivanov — Dr. Sci. (Med.), Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia
e-mail: ipamailbox@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2954-6985>

Aleksandr V. Kasatskiy — Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia
e-mail: av_kasatsky@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9779-530X>

Nikita N. Zadneprovskiy — Cand. Sci. (Med.), Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia
e-mail: zacuta2011@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4432-9022>

Aleksandr V. Nevedrov — Cand. Sci. (Med.), Sklifosovsky Research Institute of Emergency Medicine, Moscow, Russia
e-mail: alexnev1985@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1560-6000>

Заявленный вклад авторов

Иванов П.А. — дизайн исследования.

Касацкий А.В. — дизайн исследования.

Заднепровский Н.Н. — написание текста статьи.

Неведров А.В. — обзор литературы.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Комментарий

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1714>

Редакционный комментарий к статье П.А. Иванова с соавторами «Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек»

А.П. Середина^{1,2}¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия² Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия

В редакционном комментарии к статье «Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек» обсуждаются достоинства и недостатки предложенного метода. К достоинствам описанного авторами способа можно отнести доступность, дешевизну, удобство и надежность. В то же время временный серкляж может нарушить васкуляризацию костных отломков, что сопряжено с риском замедленной консолидации или несращения. Автор комментария считает, что единственный способ опровергнуть эти сомнения — провести исследование на большом клиническом материале, изучив частоту несращений. В комментарии представлен также краткий обзор публикаций зарубежных авторов по этой проблеме.

Ключевые слова: накостный остеосинтез, репозиция отломков, хомуты-стяжки.

Comment

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1714>

Editorial Comment on the Article by P.A. Ivanov et al. “A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps”

Andrei P. Sereda^{1,2}¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia² Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia

In the editorial comment on the article «A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps» the advantages and disadvantages of the author's method are discussed. The advantages include availability, low cost, convenience and reliability. At the same time, it may lead to excessive devascularization of bone fragments with the risk of delayed union or even non-union. Only a comparative study on a large number of patients can confirm or refute these concerns. The comment also contains a brief review of articles on this issue.

Keywords: plate fixation, bone fragments reposition, ty-raps.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Середина А.П. Редакционный комментарий к статье П.А. Иванова с соавторами «Новый способ открытой репозиции и удержания костных отломков с использованием пластиковых хомутов-стяжек». *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):99-101. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1714>.

Cite as: Sereda A.P. [Editorial Comment on the Article by P.A. Ivanov et al. “A New Method of Intraoperative Reposition and Holding of Bone Fragments with Ty-Raps”]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):99-101. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1714>.

Середина Андрей Петрович / Andrey P. Sereda; e-mail: drsereda@gmail.com

Рукопись получена: 02.12.2021. Статья опубликована: 17.12.2021.

Submitted: 02.12.2021. Published: 17.12.2021.

© Середина А.П., 2021

© Sereda A.P., 2021

Поступившая в редакцию журнала «Травматология и ортопедия России» статья П.А. Иванова с соавторами содержит красивую и простую идею, облегчающую остеосинтез.

В мировой литературе есть несколько публикаций по применению монтажных стяжек в хирургии: это работы G.A. Govaert и S. van Helden [1], W.Y. Tang [2], S. Ramesh, S. Ajik [3] и A.R. Arain с соавторами [4]. Во всех этих четырех работах авторы использовали монтажную стяжку наочно для дерматотензии, обескровливания, префабрикации и т.д.

Однако имеются случаи, когда авторы сообщают о временной имплантации монтажной стяжки. Например, J.A. Cadeddu с соавторами применяли ее как лигатуру при нефрэктомии [5]. Однако в этой статье речь идет об операциях на животных. Случаи применения монтажных стяжек в ветеринарии вообще не редкость [6, 7, 8, 9], в том числе как метод окончательного остеосинтеза [10]. Однако все сообщения о применении монтажных стяжек у людей ограничиваются только наочным применением [1, 2, 3, 4].

Использование незарегистрированных изделий в медицине ранее было подробно рассмотрено нами [11], и мы более склонны думать, что такое применение возможно и подкреплено реалиями, хотя, конечно же, вопрос дискуссионен, что подтверждается публикациями об офф-лейбл применении в ортопедии в высокорейтинговых журналах [12, 13, 14].

Один из основных законов остеосинтеза — сохранение васкуляризации кости. Любая конструкция будет нарушать васкуляризацию. Чем экстенсивнее конструкция, тем больше нарушается васкуляризация. Мне кажется, что костодержатели за счет точечной временной фиксации на этапе репозиции максимально сохраняют связь отломков с мягкими тканями, а заведение серкляжа вокруг кости как раз и оторвет отломки от мягких тканей, и мы получим деваскуляризованную кость: красивую послеоперационную рентгеновскую картинку с высоким риском несращения. Да, серкляж из пластиковой монтажной стяжки временный, но он уже навредил в момент его использования.

Авторы иллюстрируют свое предложение интраоперационными фотографиями, на которых видно использование четырех таких временных серкляжей на весьма небольшом расстоянии друг от друга. Авторы не описывают, какой конкретно перелом они лечили, но, вероятно, речь идет об однофрагментарном клиновидном переломе диафиза. Не вдаваясь в дискуссию об интрамедуллярном и наочном остеосинтезе, мне не совсем понятно, какие технические трудности репозиции, пусть даже остеопоротической кости, заставили

авторов использовать достаточно травматичную временную репозицию четырьмя серкляжными стяжками, пусть и временными?

Возможно, временный серкляж никакого вреда васкуляризации кости не наносит, но на этот счет есть некоторые сомнения. В любом случае их можно развеять только одним путем — провести исследование на большом числе пациентов, изучив частоту несращений. Зная прекрасную научную школу авторов статьи и их компетенцию, надеюсь, то серия наблюдений превратится именно в полноценное исследование исходов.

Время великих и быстрых открытий в медицине, надеюсь, не прошло окончательно. Багаж современных знаний заставляет все реже публиковать статьи типа “case report”. *The Journal of Bone and Joint Surgery*, например, вообще больше не принимает такие статьи, для чего ими организован отдельный журнал “*JBJS Case Connector*”. Дело в том, что существует целый ряд международных требований к журналам с множеством показателей, и публикации типа «клинический случай» или «В помощь практическому врачу» серьезно портят статистику научного журнала. Именно поэтому “*JBJS Case Connector*” публикуется отдельно от основного журнала. Мы пока не можем себе позволить издавать отдельный журнал — авторов и статей для этого слишком мало.

Хочу поблагодарить авторов статьи за интересную идею и дискуссию.

Литература [References]

- Govaert G.A., van Helden S. Ty-raps in trauma: a novel closing technique of extremity fasciotomy wounds. *J Trauma*. 2010;69(4):972-975. doi: 10.1097/TA.0b013e3181f2d9d3.
- Tang W.Y. A latex finger strip and nylon zip-tie combo as a tunable digital tourniquet. *Dermatol Surg*. 2007;33(6):713-715. doi: 10.1111/j.1524-4725.2007.33148.x.
- Ramesh S., Ajik S. Scalp Wound Closure with K wires: An alternative easier method to scalp wound closure. *Med J Malaysia*. 2012;67(6):629-30.
- Arain A.R., Cole K., Sullivan C., Banerjee S., Kazley J., Uhl R.L. Tissue expanders with a focus on extremity reconstruction. *Expert Rev Med Devices*. 2018;15(2):145-155. doi: 10.1080/17434440.2018.1426457.
- Cadeddu J.A., Corwin T.S., Traxer O., Collick C., Saboorian H.H., Pearle M.S. Hemostatic laparoscopic partial nephrectomy: cable-tie compression. *Urology*. 2001;57(3):562-566. doi: 10.1016/s0090-4295(00)01009-8.
- Hurcombe S.D., Roessner H.A., Klein C.E., Engiles J.B., Hopster K. Use of Polyamide (Nylon) Cable Ties for Vascular Ligation of Healthy Equine Jejunal Mesentery. *Front Vet Sci*. 2021;8:639424. doi: 10.3389/fvets.2021.639424.
- Hammond K.J., Sand R., Gold K., Herko M., MacDonald E., Gividen B. et al. Are nylon cable ties safe? *J Am Vet Med Assoc*. 1998;212(6):797; author reply 797-798.
- McDougall E.M., Clayman R.V., Chandhoke P.S., Kerbl K., Stone A.M., Wick M.R. et al. Laparoscopic partial

- nephrectomy in the pig model. *J Urol*. 1993;149(6):1633-1636. doi: 10.1016/s0022-5347(17)36465-0.
9. Winfield H.N., Donovan J.F., Lund G.O., Kreder K.J., Stanley K.E., Brown B.P. et al. Laparoscopic partial nephrectomy: initial experience and comparison to the open surgical approach. *J Urol*. 1995;153(5):1409-1414. doi: 10.1016/s0022-5347(01)67415-9.
 10. Downs C., Rodgers D. The use of nylon cable ties to repair rib fractures in neonatal foals. *Can Vet J*. 2011;52(3):307-309.
 11. Середина А.П. Редакционный комментарий к статье А.С. Золотова с соавторами «Оптимальная игла для шва сухожилий: традиционная режущая или обратно режущая?». *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(2):81-83. doi: 10.21823/2311-2905-1647.
 12. Sereda A.P. [Editorial Comment on the Article by A.S. Zolotov et al. "The Optimal Surgical Needle for Tendon Suture: Cutting Edge or Reverse Cutting Edge?"]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(2):81-83. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-1647.
 13. Taylor B.C., Triplet J.J., El-Sabawi T. Off-Label Use in Orthopaedic Surgery. *J Am Acad Orthop Surg*. 2019;27(17):e767-e774. doi: 10.5435/JAAOS-D-18-00038.
 14. Bal B.S., Brenner L.H. Corporate malfeasance, off-label use, and surgeon liability. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(1):4-8. doi: 10.1007/s11999-012-2686-8.
 15. Beck J.M., Azari E.D. FDA, Off-Label Use, and Informed Consent: Debunking Myths and Misconceptions. *Food Drug Law J*. 1998;53(1):71-104. Available from: <http://www.jstor.org/stable/26659695>.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Середина Андрей Петрович — д-р мед. наук, заместитель директора по инновациям и развитию ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург; профессор кафедры травматологии и ортопедии, Академия постдипломного образования ФГБУ «Федеральный научно-клинический центр специализированных видов медицинской помощи и медицинских технологий ФМБА России», г. Москва, Россия
e-mail: drsereda@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

AUTHOR'S INFORMATION:

Andrei P. Sereda — Dr. Sci. (Med.), Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia; Academy of Postgraduate Education of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russia
e-mail: drsereda@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-7500-9219>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.



Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review

Denis G. Naumov^{1,2}, Arkadiy A. Vishnevskiy¹, Sergey G. Tkach², Armen O. Avetisyan¹

¹ St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia

² St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia

Background: Spinal hydatid disease is an extremely rare pathology that could lead to the serious orthopedics and neurological complications. Conservative antimicrobial therapy is not effective for spinal echinococcus. This case is unique for the next reasons: disease manifestation during pregnancy, a long period from a spine decompression to a reconstruction procedure and a technique of the surgery.

Case: A 27-year-old lady at 34 gestation weeks, previously operated on the urgent indications of paraplegia with neurogenic bladder dysfunction after 1 year and 10 months follow-up suffered vertebral column reconstruction due to recurrence of the cervico-thoracic hydatid disease, complicated by angular kyphosis. The echinococcus cyst had a closed contact with a right brachiocephalica vein, compressed the spinal canal and leads to three-column spine instability.

Conclusions: Three-column spine reconstruction with anterior corpectomy, cystectomy and fusion provide resolution of the back pain syndrome, improve neurological status and achieve local control of the infectious process in patients with echinococcosis of the spine. In the postoperative period, staged therapy with antiparasitic drugs should be prescribed.

Keywords: vertebral hydatid disease, spinal fusion, kyphosis, spinal reconstruction.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

 **Cite as:** Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O. [Spinal Hydatid Disease of Cervico-Thoracic in Pregnant Women: A Case Report and Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):102-110. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1668>.

 Denis G. Naumov; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Submitted: 17.09.2021. Accepted: 29.10. 2021. Published Online: 08.11.2021.

© Naumov D.G., Vishnevskiy A.A., Tkach S.G., Avetisyan A.O., 2021



Эхинококковое поражение шейно-грудного отдела позвоночника у беременной: клинический случай и обзор литературы

Д.Г. Наумов^{1,2}, А.А. Вишневский¹, С.Г. Ткач², А.О. Аветисян¹

¹ ФГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт фтизиопульмонологии» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

² ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный университет», г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Эхинококкоз позвоночника — крайне редкое заболевание, приводящее к развитию тяжелых ортопедических и неврологических последствий. Эффективность изолированной консервативной противопаразитарной терапии в условиях вертебральной деструкции низкая. Уникальность случая заключается в развитии заболевания в период беременности, в длительной терапевтической паузе от момента проведения неотложного декомпрессионного вмешательства до реконструкции позвоночника и в технике проведения операции. **Описание случая.** У пациентки 27 лет, ранее оперированной по неотложным показаниям в связи с развитием нижней параплегии с нарушением функции тазовых органов (НФТО), спустя 1 г. 10 мес., на 34-й нед. беременности, проведено этапное хирургическое лечение эхинококковой деструкции шейно-грудного отдела позвоночника, осложненной угловой кифотической деформацией в связи с рецидивом инфекционного процесса. Интимное соприкосновение кисты с магистральными сосудами, передняя компрессия спинного мозга и трехколонная нестабильность шейно-грудного отдела позвоночника потребовали комплексного хирургического решения. **Заключение.** Для купирования вертеброгенного болевого синдрома, улучшения неврологического статуса и достижения локального контроля инфекционного процесса у пациентов с эхинококкозом позвоночника следует проводить трехколонную реконструкцию с удалением разрушенных позвонков и кистозного компонента, а в послеоперационном периоде — этапную терапию противопаразитарными препаратами.

Ключевые слова: эхинококкоз позвоночника, спондилодез, кифоз, реконструкция позвоночника.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Наумов Д.Г., Вишневский А.А., Ткач С.Г., Аветисян А.О. Эхинококковое поражение шейно-грудного отдела позвоночника у беременной: клинический случай и обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):102-110. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1668>.

Наумов Денис Георгиевич; e-mail: dgnaumov1@gmail.com

Рукопись получена: 17.09.2021. Рукопись одобрена: 29.10.2021. Статья опубликована онлайн: 08.11.2021.

Background

Human echinococcosis is a chronic zoonotic parasitic disease that is caused by tapeworms of the genus *Echinococcus* and occurs with predominant liver or lung involvement [1, 2]. The general disease structure registered bone lesions in 0.2%–1.0% of cases, while invasion into the spine among them reaches 45% [3, 4, 5]. The most common variants of vertebral lesions include cystic (*E. granulosus*) and alveolar (*E. multilocularis*) [6, 7]. Among the spinal sections, the thoracic (45%–50%) is most often affected, while the lumbosacral (25%–32%) and lumbar (up to 15%) are less often involved [8].

The mechanism of parasitic spread in the human body is reduced to oncosphere migration along the direct venous anastomoses of the portal vein and segmental veins of the vertebral bodies [9]. As a hydatid cyst develops, of which the asymptomatic period can reach up to several years, the vertebral bone tissue lytic destruction occurs and the cyst spreads into the spinal canal and surrounding paravertebral tissues [10]. The dura mater remains intact, and compression-ischemic changes in the spinal cord play a decisive role in neurological deficit development [11].

The approach of spinal echinococcosis treatment is based on the major clinical syndrome, The disease rarely occurs with the development of an isolated lesion of the vertebral body, vertebral instability, and neurological deficit. Methods of isolated puncture, aspiration, and local administration of antiparasitic drugs (puncture, aspiration, and injection and puncture, aspiration, injection, re-aspiration [PAIR]), which were proven effective in the treatment of liver echinococcosis, were ineffective in vertebral lesions [12].

A literature review indicates a limited number of publications on spinal echinococcal lesions, especially on the disease manifestation during pregnancy; therefore, we present our experience.

The study aimed to present the results of a staged surgical treatment of echinococcal lesions of the cervicothoracic spine in a pregnant woman, which is complicated by angular postlaminectomy kyphosis formation.

Case presentation

A 27-year-old patient was hospitalized at the clinic of the St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology in October 2020 with a diagnosis of echinococcosis of Th1-2 vertebrae, with the condition after decompressive laminectomy in January 2019. Complications include angular postlaminectomy kyphosis of the cervicothoracic spine, lower paraparesis type D according to Frankel.

The anamnesis revealed that the patient complained of vertebrogenic pain syndrome in the thoracic spine since 2016, which was conservatively independently treated by taking NSAIDs, with a positive therapeutic effect. In December 2018, on week 28 of pregnancy, she noted a recurrence of vertebrogenic pain syndrome in the thoracic region with an intensity of up to 8 points according to the Visual Analog Scale (VAS) and weakness in the lower extremities. Over the next 2 weeks, the phenomena of lower paraparesis progressed, after which the patient was hospitalized in the maternity hospital at the primary healthcare facility. After 3 days from the hospitalization, lower paraplegia with dysfunction of the pelvic organs (DPO) occurred.

The spinal magnetic resonance imaging (MRI) revealed a Th2 body lesion with the prevertebral, paravertebral, and epidural spread of the soft tissue cystic component, as well as spinal cord compression at the Th1-3 level. The next day, the patient was transferred to the Regional Perinatal Center, where a cesarean section was performed on week 34 of pregnancy. The child was born alive, with a birth weight of 2620 g and a length of 49 cm.

A medical case conference was held and a clinical diagnosis of a tumor lesion of Th2 that spread into the epidural space at the C7-Th3 level and lower paraplegia with DPO was established. The decompressive intervention was indicated to the patient. On day 3 after the onset of lower paraplegia with DPO, Th1-3 laminectomy was performed and cystic formations from the epidural space were removed. The postoperative period was uneventful, positive dynamics were noted in the neurological status with partial function restoration of the lower extremities to type D paraparesis according to Frankel, as well as complete restoration of pelvic organ functions. The histological examination of the surgical material revealed echinococcus.

Upon admission to the St. Petersburg Research Institute of Phthisiopulmonology, the patient complained of vertebrogenic pain syndrome in the cervicothoracic region up to 7 points according to VAS with right upper limb irradiation and lower limb weakness. Lower paraparesis type D according to Frankel was noted in the neurological status. The decreased quality of life, as assessed by the Oswestry Disability Index (ODI) questionnaire, corresponded to 64%.

Radiological examination (multispiral computed tomography [MSCT] and MRI) revealed total Th1 body destruction, pre- and paravertebral, epidural cystic formations, and postlaminectomy cervicothoracic kyphosis of the spine of 56° according to Cobb. The nature of destructive changes and cystic formations was regarded as spinal echinococcosis recurrence (Fig. 1, 2).

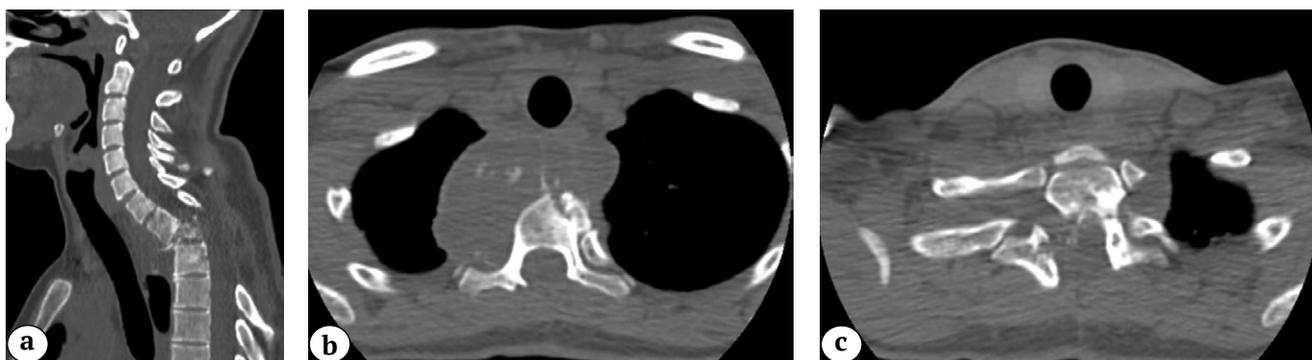


Fig. 1. CT images at the time of hospital admission: a — sagittal view: Th1-2 destruction, angular cervico-thoracic kyphosis 56° Cobb; b, c — axial view: paravertebral cyst, mainly located in the right paravertebral side, postlaminectomy defect C7-Th4

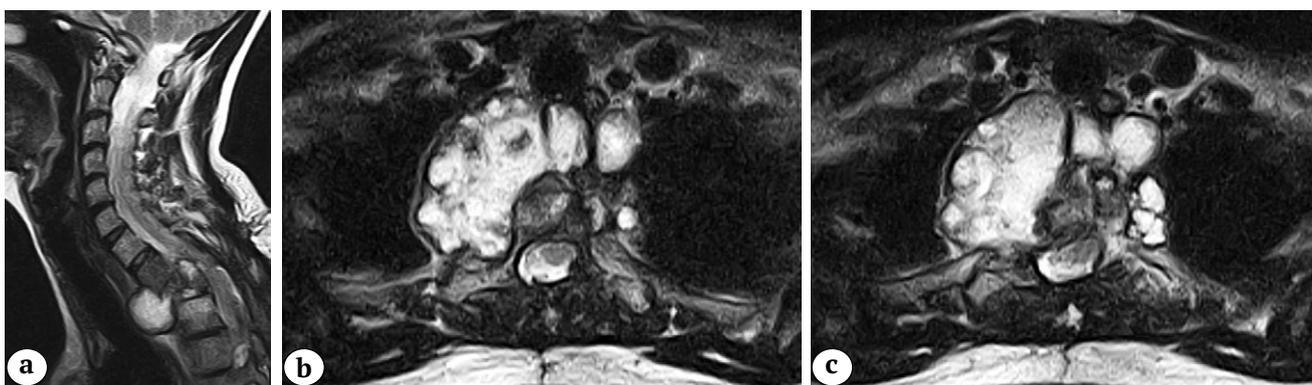


Fig. 2. MRI images at the time of hospital admission: a — sagittal view: paravertebral and epidural cystic components, compression myelopathy Th1-3 level; b, c — axial view: polycystic component with heterogeneous structure

The general somatic condition of the patient was of moderate severity. She received albendazole at 400 mg per day as a systemic antimicrobial therapy before hospitalization. The immunoglobulin G titer according to the results of enzyme immunoassay was 1:800.

The chronic vertebrogenic pain syndrome, neurological deficit, and angular kyphotic deformity of the spine determined the surgical intervention indications.

Stage 1 was the posterior instrumentation, where the screws were installed in the lateral masses of the C5, C6 vertebrae, C7 bodies, and Th3-5 transpedicular. Right-sided costotransversectomy of the ribs 1–3 was performed with the support of a nail installed on the left side (Fig. 3).

The anterior-lateral surface of the C7-Th2 vertebrae was extrapleurally skeletonized with cyst capsule access. The surrounding tissues are delimited with napkins that are moistened with 2% formalin solution. A foramen was made in the cyst wall, through which the hydatid fluid and protoscolices were evacuated using an aspirator (Fig. 4).

After aspirating the cyst contents, the chitin capsule was excised with partial parietal pleural re-

section, intimately fused to the capsule lower pole. Remnants of the Th2 vertebral body were resected using osteotomes, Kerrison rongeurs, and lateral trays, with the removal of residual cysts from the anterior epidural space at the Th1-2 level. At the final stage, the support screws of the posterior hardware were articulated with two rods, and an active aspiration drain was installed in the right hemithorax. The postoperative period was uneventful, the wound was healed by primary intention, and the pleural drainage was removed on day 3.

During the initial surgery, we deliberately refused to perform an anterior spinal fusion from the posterior approach due to the need to dissect the spinal roots to install a titanium mesh cage, which could develop a motor deficit in the postoperative period.

Ten days after the initial surgery, stage 2 of surgical treatment was performed in the volume of the anterior reconstruction of the Th1-3 segment using a titanium mesh cage with autograft (iliac crest), and the residual left-sided paravertebral echinococcal cyst was removed. The surgery was performed through a left-sided Smith–Robinson approach. At the skeletonization stage of the anterior sections

of the C7-Th2 vertebral bodies, cicatricial adhesive changes in the retropharyngeal space was noted, as well as a rounded paravertebral formation with a dense capsule at the left Th1-2 level. After delimiting the surrounding tissues with drapes moistened with 2% formalin solution, cyst puncture and aspiration were performed, followed by capsule excision. Then, corpectomy of the Th1-2, anterior spinal canal decompression, and anterior spinal fusion, using a high-speed bone drill and Kerrison rongeurs with a titanium block-lattice with Th1-3 autologous bone, were performed. The wound was sutured, with retained active aspiration drainage.

The patient was verticalized on day 3 postoperative 2; the drainage was removed on day 2. The total period of inpatient treatment was 24 days. In

the neurological status upon discharge, complete regression of motor disorders was noted with functional restoration of the lower extremities to type E according to the Frankel scale. The results of the control CT are presented in Figure 5.

Long-term results were followed up for 12 months. In the postoperative period, the patient underwent staged courses of conservative antiparasitic therapy (albendazole) at the primary health-care facility. The control CT indicates the absence of echinococcal process recurrence and Th1-3 block formation with the preservation of the achieved sagittal profile correction of the cervicothoracic spine (Fig. 6). The result on the ODI questionnaire was 13%. The histological examination of the surgical material verified echinococcosis.



Fig. 3. Right side costotransversectomy of 1–3rd ribs: a – postlaminectomy scar C7-Th4; b – left-side posterior instrumentation completed; c – vertebral-end third rib resection

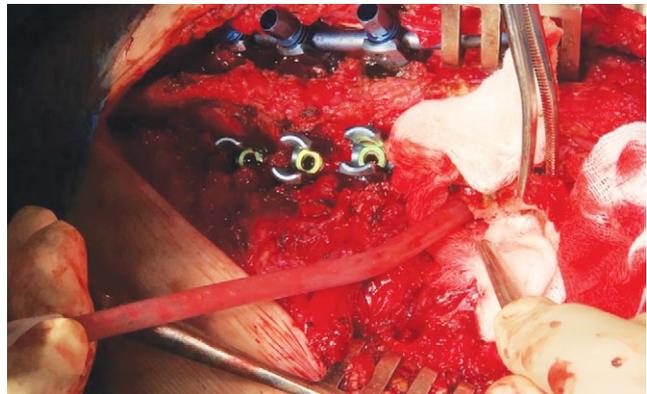


Fig. 4. Hydatid cyst aspiration

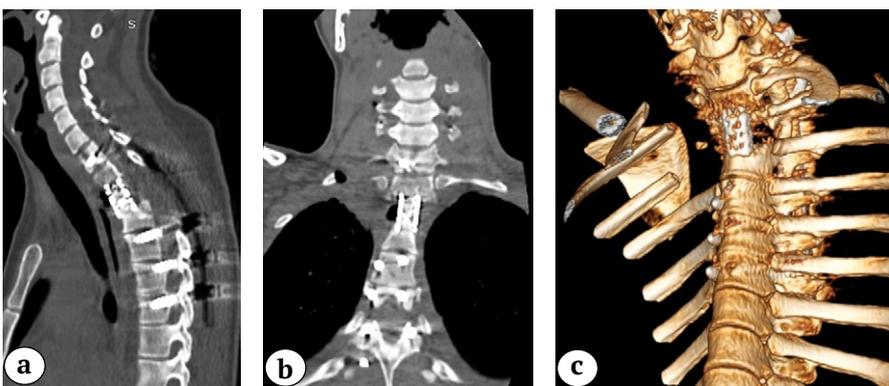


Fig. 5. CT images at the time of hospital discharge: a – sagittal view: anterior fusion by titanium mesh-cage with autologous bone graft and posterior screw fixation, correct implant position with angular kyphosis correction; b – frontal view: upper right lung lobe aerated, post-cystic resection cavity; c – 3D scan: right side 1–2nd rib costotransversectomy, anterior Th1-3 fusion by titanium mesh-cage

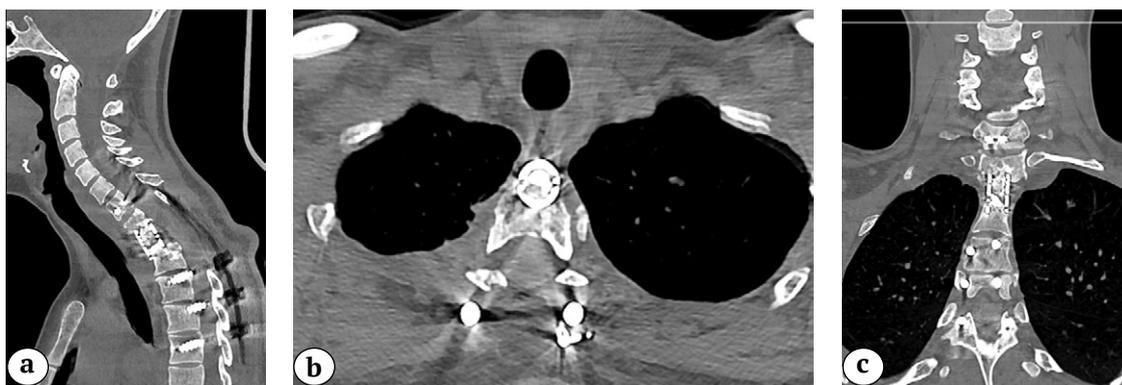


Fig. 6. CT images 12 month post-op: no signs of hydatid disease recurrence, anterior fusion formation Th1-3 with sagittal cervico-thoracic balance correction: a – sagittal view; b – axial view; c – frontal view

Discussion

Spinal echinococcal lesion diagnostics are complicated. The disease history must consider the places where echinococcus is spread, the contacts with dogs, and the long disease course. In the presented clinical case, all these factors were indicated, namely, the patient lived in an endemic area [13], keeps the house, notes constant contacts with dogs, 3 years duration of the therapeutic pause, in the anamnesis. Concurrently, the manifestation of clinical disease symptoms during the patient's pregnancy is noteworthy, which may be associated with the immune system restructuring, decreased protective properties of the body, which contributed to the progression of the echinococcal cyst size, and lytic destruction of the Th2 vertebral body [14].

The speed of routing the patient to the perinatal center for delivery according to urgent indications should be noted (day 1 from admission to the maternity hospital at the primary healthcare facility) and further transportation to the neurosurgical department for decompressive laminectomy (72 hours from development lower paraplegia with DPO) in assessing the primary surgical treatment approach. However, the absence of posterior instrumental fixation during primary decompressive three-level laminectomy led to the posterior spinal column instability and further cervicothoracic region kyphosis. The fact of a long (1 year 10 months) therapeutic pause from the decompressive intervention to the reconstructive surgery remains important, despite the patient's retaining neurological deficit.

To systematize the existing data on the surgical treatment of spinal echinococcosis, a search was made for publications in PubMed, Google Scholar, and eLIBRARY using keywords and phrases "spinal echinococcus," "spinal hydatid cyst disease," and "spinal echinococcosis." Search depth was from 2000 to 2021. The publications were included in the analysis according to the criteria as 1) patients operated

on for spinal echinococcosis and 2) catamnesis followed up within 12 months and longer. Twelve publications were subjected to the final analysis, summarizing 104 cases of spinal echinococcosis surgical treatment. Five publications presented descriptions of individual clinical cases, and the rest were clinical series including from 4 to 36 cases.

The parameters of the surgical treatment approach, the incidence of complications, and recurrence of the underlying disease were analyzed in the selected works.

Among the published cases, the thoracic (53%), less frequently lumbar (20%), lumbosacral (9%), sacral (8.6%), and thoracolumbar (5%) regions were involved more often in the pathological process, as well as cervical and cervicothoracic regions in single cases.

The surgical intervention volume in most cases (43%) consisted of laminectomy followed by cystectomy, while in this group of patients, the highest incidence of relapses and spine instability in the long-term period was noted [9, 15, 16, 17, 18]. The combination of echinococectomy with laminectomy approach with posterior instrumental fixation reduces the risk of spinal instability but is associated with a high percentage of surgical site infections (SSI) [3, 19].

The best results in terms of local recurrence control are demonstrated by 360° reconstruction, which includes both cystectomy and corpectomy of the vertebral bodies that are involved in the pathological process [5, 17, 22]. Data from selected publications are presented in Table 1.

The authors note that corpectomy in some cases is technically unfeasible due to the intimate location of the cyst and the main vessels. In our case, the lower pole of the echinococcal cyst extended to the chest aperture and was in close connection with both the parietal pleura and v. brachiocephalica dextra. This problem was solved by a thoracic sur-

Table 1

Results of spinal echinococcosis treatment according to publications

Authors, year	Number of patients	Localization	Surgical variant	Long-term period
Schnepper G.D. et al., 2004 [15]	1	Th1	Laminectomy + cystectomy (primary surgery) Transthoracic resection of Th5-6	Recurrence for 4 years post-op (after primary surgery)
Prabhakar M.M. et al., 2005 [16]	4	Th2, L1, L/S1	Laminectomy + cystectomy: 4	Recurrence: 50% Instability: 50%
Herrera A. et al., 2005 [6]	20	C1, Th7, L7, S5	Laminectomy + cystectomy: 4 Laminectomy + cystectomy + PIF: 10 Cystectomy: 6	Recurrence: 60% Neurological deficit after surgery: 65% Mortality (due to the underlying disease): 50%
Sengul G. et al., 2008 [17]	5	Th3, L1, S1	Laminectomy + cystectomy: 1 Reconstruction by 360° in Th10-L2	Recurrence: 60% Paraplegia: 40%
Hamdan T.A., 2012 [18]	9	C1, Th5, L1, L/S1, S1	Laminectomy + cystectomy: 6 Laminectomy + cystectomy + PIF: 3	Recurrence: 89% SSI: 56%
Kafaji A. et al., 2013 [9]	36	C1, Th23, L8, L/S4	Laminectomy + cystectomy: 17 Cystectomy from anterior approach: 18 Cystectomy from combined approach: 1	Recurrence: 89%
Gennari A. et al., 2016 [19]	1	Th-1	Hemilaminectomy + cystectomy	No recurrence for 2 years post-op
Gezeran Y. et al., 2017 [5]	8	C/Th1, Th3, Th/L1, L1, L/S1, S1	Laminectomy + cystectomy: 3 Reconstruction by 360° – 2 Cystectomy + ACSF*: 2 Laminectomy + cystectomy + PIF**: 1	Recurrence: 63%***
Monge-Maillo B. et al., 2019 [3]	17	Th8, Th/L4, L1, L/S3, S1	Laminectomy + cystectomy: 9 Laminectomy + cystectomy + PIF: 8	SSI: 58% Instability: 6%
Saul D. et al., 2020 [20]	1	Th1	Reconstruction by 360° in Th6-10 (VCR**** Th8)	No recurrence for 1 year post-op
Tian Y. et al., 2020 [21]	1	Th/L1	Laminectomy + cystectomy + PIF: 1	No recurrence for 1 year post-op
Manenti G. et al., 2020 [22]	1	L1	Reconstruction by 360° in L3-S1 (VCR L5)	Recurrence at year 14 post-op

* anterior corpectomy and spinal fusion; ** posterior instrumental fixation; *** % of recurrence is indicated by month 12 after the primary surgery; **** vertebral column resection.

geon with experience in working on the main vessels, who was involved in the surgical team.

The predominant manifestation of the microbial process recurrence within 12 months after primary surgery should be noted [5, 6, 9] with a maximum long-term recurrence of 14 years [22] when analyzing the timing.

Conclusions

The spinal echinococcal lesion is an extremely rare disease, and its development during pregnancy has not been described in the literature. The anatomical location of the cyst should be assessed and, if necessary, related specialists should be involved in the surgery (thoracic and vascular surgeons) when planning a surgical intervention. Three-column reconstruction with the total removal of the destroyed bodies and the cystic component, both in our case and according to the literature, prevents the development of relapse and improves the quality of life of patients in the long-term period. Patients with spinal echinococcosis require long-term postoperative follow-up and supervision by a multidisciplinary team (infectious disease specialist and pulmonologist).

Informed consent

Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying images.

References

- Lupia T., Corcione S., Guerrera F., Costardi L., Ruffini E., Pinna S.M. et al. Pulmonary Echinococcosis or Lung Hydatidosis: A Narrative Review. *Surg Infect (Larchmt)*. 2021;22(5):485-495. doi: 10.1089/sur.2020.197.
- Amni F., Hajizadeh M., Elmi T., Hatam Nahavandi K., Shafaei S., Javadi Mamaghani A. et al. Different manifestation of Echinococcus granulosus immunogenic antigens in the liver and lungs of intermediate host. *Comp Immunol Microbiol Infect Dis*. 2021;74:101573. doi: 10.1016/j.cimid.2020.101573.
- Monge-Maillo B., Samperio M.O., Pérez-Molina J.A., Norman F., Mejía C.R., Tojeiro S.Ch. et al. Osseous cystic echinococcosis: A case series study at a referral unit in Spain. *PLoS Negl Trop Dis*. 2019;13(2):e0007006. doi: 10.1371/journal.pntd.0007006.
- Agnihotri M., Goel N., Shenoy A., Rai S., Goel A. Hydatid disease of the spine: A rare case. *J Craniovertebr Junction Spine*. 2017;8(2):159-160. doi: 10.4103/jcvjs.JCVJS_16_17.
- Gezercan Y., Ökten A.I., Çavuş G., Açıık V., Bilgin E. Spinal Hydatid Cyst Disease. *World Neurosurg*. 2017;108:407-417. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.015.
- Herrera A., Martínez A.A., Rodríguez J. Spinal hydatidosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(21):2439-2444. doi: 10.1097/01.brs.0000184688.68552.90.
- Faucher J.F., Descotes-Genon C., Hoen B., Godard J., Félix S., Aubry S. et al. Hints for control of infection in unique extrahepatic vertebral alveolar echinococcosis. *Infection*. 2017;45(3):365-368. doi: 10.1007/s15010-016-0974-z.
- Caglar Y.S., Ozgural O., Zaimoglu M., Kilinc C., Eroglu U., Dogan I. et al. Spinal Hydatid Cyst Disease: Challenging Surgery - an Institutional Experience. *J Korean Neurosurg Soc*. 2019;62(2):209-216. doi: 10.3340/jkns.2017.0245.
- Kafaji A., Al-Zain T., Lemcke J., Al-Zain F. Spinal manifestation of hydatid disease: a case series of 36 patients. *World Neurosurg*. 2013;80(5):620-626. doi: 10.1016/j.wneu.2013.06.013.
- Nourrisson C., Mathieu S., Beytout J., Cambon M., Poirier P. [Osteolytic bone lesion: vertebral alveolar echinococcosis in a patient with splenectomy]. *Rev Med Interne*. 2014;35(6):399-402. (In French). doi: 10.1016/j.revmed.2013.06.004.
- Abbassioun K., Amirjamshidi A. Diagnosis and management of hydatid cyst of the central nervous system: Part 2: Hydatid cysts of the skull, orbit, and spine. *Neurosurg Q*. 2001;11:10-16. Available from: https://journals.lww.com/neurosurgery-quarterly/Fulltext/2001/03000/Diagnosis_and_Management_of_Hydatid_Cyst_of_the.2.aspx.
- Velasco-Tirado V., Alonso-Sardón M., Lopez-Bernus A., Romero-Alegria Á., Burguillo F.J., Muro A. et al. Medical treatment of cystic echinococcosis: systematic review and meta-analysis. *BMC Infect Dis*. 2018;18(1):306. doi: 10.1186/s12879-018-3201-y.
- Korneev A.G., Trishin M.V., Solovykh V.V., Krivulya Yu.S., Bozhenova I.V. [Echinococcosis in the Orenburg region: epidemiological, immunological and taxonomic aspects]. *Aktual'naya infektologiya [Actual Infectology]*. 2014;4(5):46-49. (In Russian).
- Musaev G.Kh., Sharipov R.Kh., Fatyanova A.S., Levkin V.V., Ishchenko A.I., Zuev V.M. [Echinococcosis and pregnancy: approaches to treatment tactics]. *Khirurgiya. Zhurnal im. N.I. Pirogova [Pirogov Russian Journal of Surgery]*. 2019.5:38-41. (In Russian). doi: 10.17116/hirurgia201905138.
- Schnepper G.D., Johnson W.D. Recurrent spinal hydatidosis in North America. Case report and review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2004;17(6):E8. doi: 10.3171/foc.2004.17.6.8.
- Prabhakar M.M., Acharya A.J., Modi D.R., Jadav B. Spinal hydatid disease: a case series. *J Spinal Cord Med*. 2005;28:426-431. doi: 10.1080/10790268.2005.11753843.
- Sengul G., Kadioglu H.H., Kayaoglu C.R., Aktas S., Akar A., Aydin I.H. Treatment of spinal hydatid disease: a single center experience. *J Clin Neurosci*. 2008;15(5):507-510. doi: 10.1016/j.jocn.2007.03.015.
- Hamdan T.A. Hydatid disease of the spine: a report on nine patients. *Int Orthop*. 2012;36(2):427-432. doi: 10.1007/s00264-011-1480-7.

19. Gennari A., Almairac F., Litrico S., Albert C., Marty P., Paquis P. Spinal cord compression due to a primary vertebral hydatid disease: A rare case report in metropolitan France and a literature review. *Neurochirurgie*. 2016;62(4):226-228. doi: 10.1016/j.neuchi.2016.03.001.
20. Saul D., Seitz M.T., Weiser L., Oberthür S., Roch J., Bremmer F. et al. Of Cestodes and Men: Surgical Treatment of a Spinal Hydatid Cyst. *J Neurol Surg A Cent Eur Neurosurg*. 2020;81(1):86-90. doi: 10.1055/s-0039-1693707.
21. Tian Y., Jiang M., Shi X., Hao Y., Jiang L. Case Report: Huge Dumbbell-Shaped Primary Hydatid Cyst Across the Intervertebral Foramen. *Front Neurol*. 2020;11:592316. doi: 10.3389/fneur.2020.592316.
22. Manenti G., Censi M., Pizzicannella G., Pucci N., Pitocchi F., Calcagni A. et al. Vertebral hydatid cyst infection. A case report. *Radiol Case Rep*. 2020;15(5):523-527. doi: 10.1016/j.radcr.2020.01.029.

AUTHORS' INFORMATION:

Denis G. Naumov — Cand. Sci. (Med.), St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology; Saint-Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
e-mail: dgnaumov1@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-9892-6260>

Arkadiy A. Vishnevskiy — Dr. Sci. (Med.), St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia
e-mail: vichnevsky@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-9186-6461>

Sergey G. Tkach — St. Petersburg State University, St. Petersburg, Russia
e-mail: tkach2324sergei@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-7135-7312>

Armen O. Avetisyan — Cand. Sci. (Med.), St. Petersburg State Research Institute of Phthisiopulmonology, St. Petersburg, Russia
e-mail: avetisyan.armen7@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-4590-2908>

Authors' contribution:

Naumov D.G. — the concept of the study, the text, final editing, surgical interventions.

Vishnevsky A.A. — writing the text of the manuscript, literature, review.

Tkach S.G. — collected and analyzed the patient's clinical data, followed up the long-term results, and reviewed the literature.

Avetisyan A.O. — collected and analyzed the patient's clinical data, reviewed the literature, and took part in the initial surgical intervention.

All authors read and approved the final version of the manuscript. All authors agree to be responsible for all aspects of the work to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and significance of any part of the work.

Conflict of interest:

The authors declare no conflict of interest.



Total Talar Replacement with Ceramic Implant in Combination with Tibial Component of Ankle Endoprosthesis: A Case Report

Vasilii V. Kuznetsov, Sergei M. Gudi, Liliya K. Skuratova, Igor A. Pakhomov

Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia

Background: Surgical treatment of patients with talus posttraumatic aseptic necrosis and its consequences usually includes tibiotalar calcaneal arthrodesis with various foot joints according to additional indications. This type of surgical treatment has number of significant disadvantages: traumatic surgical technique, permanent loss of movement in functionally significant joints, high risk of non-union, high frequency of residual deformities, the need for long periods of limb immobilization. The question arises: how to overcome the existing disadvantages and improve the results of talus posttraumatic aseptic necrosis treatment? A potential solution to this problem is the total talus endoprosthesis.

Clinical case: A 64-year-old patient came to the clinic complaining of pain and deformity of the right foot and ankle area. After the examination, talus posttraumatic aseptic necrosis was diagnosed. The patient underwent ankle joint arthroplasty using total talus ceramic endoprosthesis in combination with the tibial component of the ankle joint endoprosthesis, a course of rehabilitation treatment was performed.

Results: The VAS and AOFAS scales indicators showed a significant improvement both in the pain decrease (from 75 mm before surgery to 10 mm after), and in the functional state according to AOFAS by 2.2 times (from 36 to 80 points 20 months after surgery). By the last follow-up the patient could take more than 8000 steps a day.

Conclusions^ Considering the good clinical result achieved, the ankle joint arthroplasty using total talus ceramic endoprosthesis in combination with the tibial component of the ankle joint endoprosthesis can be considered a promising method of treatment of this severe pathology.

Keywords: talus posttraumatic aseptic necrosis, ankle arthroplasty, tibial component, talus, individual ceramic endoprosthesis.

Funding: state budgetary funding.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Cite as: Kuznetsov V.V., Gudi S.M., Skuratova L.K., Pakhomov I.A. [Total Talar Replacement with Ceramic Implant in Combination with Tibial Component of Ankle Endoprosthesis: A Case Report]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):111-119. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1638>.

✉ *Vasilii V. Kuznetsov*; e-mail: vkuznecovniito@gmail.com
Submitted: 02.07.2021. Accepted: 13.09.2021. Published Online: 22.11.2021.



Эндопротезирование таранной кости керамическим эндопротезом в сочетании с тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава: клинический случай

В.В. Кузнецов, С.М. Гуди, Л.К. Скуратова, И.А. Пахомов

ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна»
Минздрава России, г. Новосибирск, Россия

Реферат

Актуальность. Для оперативного лечения пациентов с посттравматическим асептическим некрозом таранной кости и его последствиями обычно используют большеберцово-таранно-пяточный артродез, включающий различные суставы стопы по дополнительным показаниям. Такой вид хирургического лечения, несмотря на свои достоинства, обладает рядом существенных недостатков: высокая травматичность, необратимая потеря движений в функционально значимых суставах, высокий риск несращения и остаточных деформаций, необходимость длительных сроков иммобилизации конечности. Возникает вопрос: как преодолеть существующие недостатки и улучшить результаты лечения пациентов с посттравматическим асептическим некрозом таранной кости? Потенциальным решением данной проблемы является эндопротезирование таранной кости. **Описание клинического случая.** Пациентка 64 лет обратилась в клинику с жалобами на боль и деформацию правой стопы и области голеностопного сустава. После проведенного обследования был диагностирован посттравматический асептический некроз таранной кости. Пациентке было выполнено эндопротезирование таранной кости керамическим эндопротезом в сочетании с тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава, выполнен курс реабилитационного лечения. **Результаты.** Показатели шкал VAS и AOFAS продемонстрировали существенное улучшение как в виде снижения болевых ощущений в 7,5 раз: с 75 мм перед операцией до 10 мм, так и функционального состояния по AOFAS в 2,2 раза: с 36 до 80 баллов через 20 мес. после хирургического вмешательства. К последнему контрольному визиту пациентка могла делать более 8000 шагов в день. **Заключение.** Учитывая хороший клинический результат, эндопротезирование таранной кости керамическим эндопротезом в сочетании с тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава можно считать перспективным методом лечения посттравматического асептического некроза таранной кости.

Ключевые слова: посттравматический асептический некроз таранной кости, эндопротезирование голеностопного сустава, тибиальный компонент, индивидуальный керамический эндопротез.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Кузнецов В.В., Гуди С.М., Скуратова Л.К., Пахомов И.А. Эндопротезирование таранной кости керамическим эндопротезом в сочетании с тибиальным компонентом эндопротеза голеностопного сустава: клинический случай. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):111-119. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1638>.

Кузнецов Василий Викторович; e-mail: vkuznecovniito@gmail.com

Рукопись получена: 02.07.2021. Рукопись одобрена: 13.09.2021. Статья опубликована онлайн: 22.11.2021.

Background

Posttraumatic avascular necrosis (AVN) of the talus is a severe disabling disease that leads to the formation of talus cysts, varus or valgus deformity of the foot, disfiguring osteoarthritis of the ankle, subtalar and Chopart joints, rapid disability of patients.

The diagnosis of posttraumatic AVN of the talus in the early stages is difficult, patients seek help in the later stages of the disease when conservative treatment is ineffective. To date, surgical treatment is generally accepted.

In historical retrospect, astragalectomy was considered the main method of treatment of posttraumatic AVN of the talus, recommended in cases of the most severe lesions of the talus, such as fragmentation, collapse, resorption, inability to preserve the joints surrounding the talus bone [1]. Of course, the functional outcomes of this surgery do not correspond to the current level of expectations of patients and the requirements of orthopedic surgeons for the outcomes of surgical treatment.

Nowadays, surgical treatment of patients with posttraumatic AVN of the talus and its consequences is usually represented by tibio-talo-calcaneal (TTC) arthrodesis, which is supplemented by various reconstructive interventions for additional indications. This type of surgical treatment, despite its advantages, has a number of significant disadvantages, such as high traumatization, irreversible loss of movement in functionally significant joints, high risk of non-union, high frequency of residual deformities, the need for long periods of limb immobilization [2].

The realities of today are the progress of medical and diagnostic technologies, increased technical literacy of both doctors and patients. These factors are the reasons why they have high requirements for the preservation and restoration of lost limb functions in the shortest possible time.

The question arises: how to overcome the existing shortcomings of traditional methods and improve the results of treatment of patients with posttraumatic AVN of the talus? A potential solution to this problem is total talus endoprosthetics. According to the literature, implan-

tation of an individual total endoprosthesis of the talus has good long-term results [3, 4, 5, 6, 7]. The most important success factors are the achievement of congruence of articular surfaces, joint stability and preservation of the talus and its surrounding joints biomechanics.

Therefore, our goal was to create an individual ceramic talus implant and use it in combination with a tibial component to place the implant in an anatomical position and create a movable link with the tibia. In the literature, mentions of combined total talus endoprosthetics are quite rare and are mainly experimental in nature [8].

In the presented clinical example, we describe our own experience of the first in domestic clinical practice application of an individual ceramic endoprosthesis of the talus] in combination with the tibial component of the ankle joint endoprosthesis with the formation of unfixed joints of the posterior part of the foot based on a pair of friction "ceramic-bone" in the talo-navicular, subtalar joints and "ceramic-polyethylene" in the tibio-talar joint.

Clinical case description

Anamnesis

A 64-year-old woman with complaints of pain and deformity of the posterior part of the right foot, lameness applied to the orthopedics clinic of the NIITO named after Ya.L. Tsivyan. In 2008, for a Maisonneuve fracture, the patient received conservative treatment with poor results. In this regard, in 2009, she underwent an attempt of arthrodesis of the posterior part of the foot in an external fixation device, which was unsuccessful. After 5 years, there was a sharp deterioration in the condition, increased swelling, pain, rapid progression of foot deformity (Fig. 1).

Preoperative examination

Radiological examination methods (radiography, MRI, MSCT of the ankle joint) showed undoubted signs of posttraumatic AVN of the talus and its complications in the form of collapse of the talus, multiple cysts of the tibia, talus, calcaneus, etc. (Fig. 2, 3, 4).

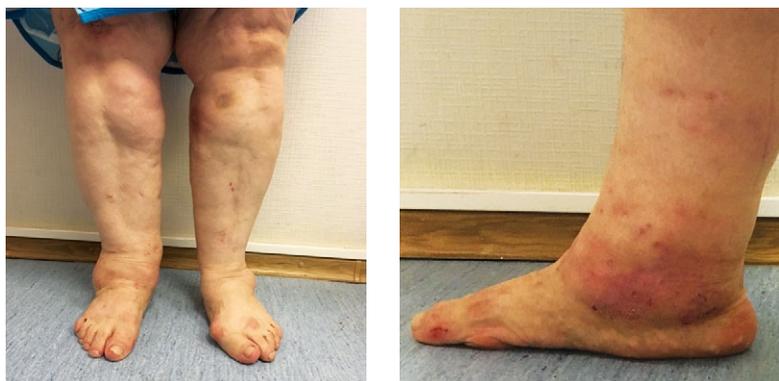


Fig. 1. Lower extremities before surgery

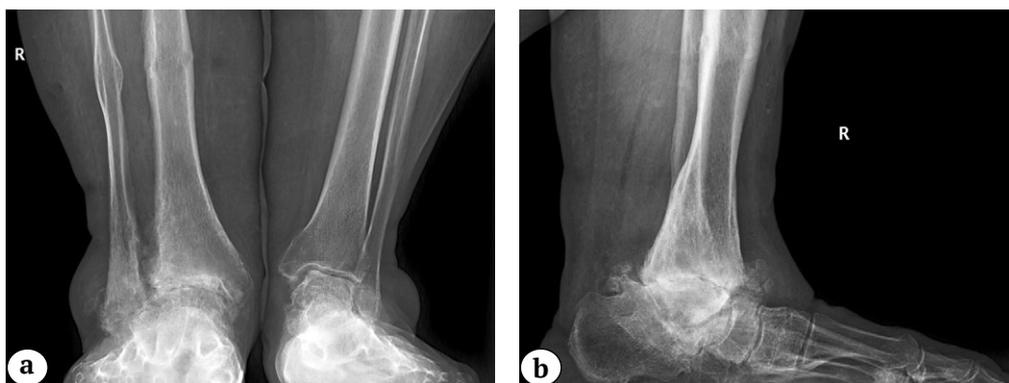
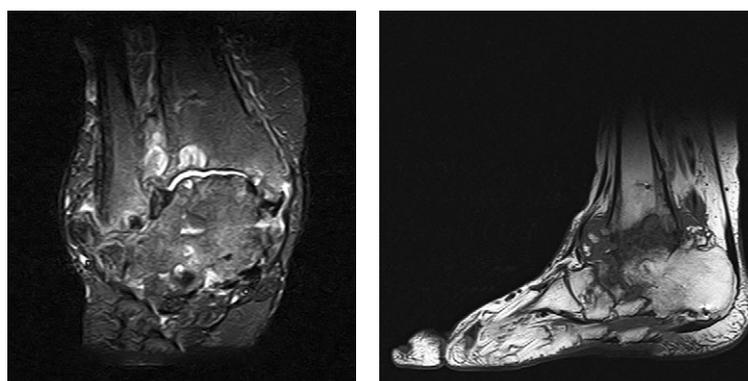


Fig. 2. X-rays of the ankle joints: a — AP X-ray: posttraumatic degenerative distal tibial diastasis, suspicion of gross valgus deformity of the ankle area, 3 stage of posttraumatic deforming osteoarthritis of the ankle joint; b — X-ray in lateral projection: collapse of the talus body, arch of the foot, 3 stage of deforming osteoarthritis of the ankle, talonavicular joint, ankylosis of the subtalar joint



Fig. 3. MSCT of the ankle joints. Right-sided 3 stage osteoarthritis of the ankle joint. The right ankle joint is deformed. Articular surfaces are clear, uneven, subchondral osteoarthritis of articular surfaces with cyst-like rearrangement. The articular gap is threadlike narrowed. Outcome of posttraumatic aseptic necrosis of the right talus

Fig. 4. MRI of the ankle joint. Pronounced swelling of the spongy substance of the talus body, multiple bone cysts of the posterior part of the foot, pronounced paraarticular inflammatory reaction of tissues



With an in-depth assessment of the condition of the ankle joint, gross disfiguring osteoarthritis of the tibial pylon was noted, completely excluding the support of the talus implant on it. It was decided to use the tibial component of the ankle joint endoprosthesis to restore the support of the tibial pylon.

Based on clinical findings and data from instrumental examination methods, the diagnosis was established: posttraumatic AVN of the talus; collapse of the talus block; deforming osteoarthritis of the tibio-talar, talo-navicular joints of 3 stage; ankylosis of the subtalar joint; fixed valgus deformity of the right foot with anterior abduction; posttraumatic degenerative distal tibiofibular diastasis.

Preoperative planning

Based on the diagnosis, indications for surgical treatment are formulated — endoprosthetics of the talus and the tibial pylon, fixation of distal tibiofibular syndesmosis.

The implementation of the preoperative plan required the manufacture of an individual endoprosthesis of the talus. For this purpose, CT of the affected and healthy talus bones was performed, the results of which were transferred to the scientific and production base, where they were used to manufacture a ceramic endoprosthesis based on the digital construction of a 3D mirror model of a healthy talus.

The finished implant in the production department was subjected to mechanical strength tests, which showed satisfactory characteristics of its strength. Thus, with the help of digital technologies, a 3D model was created, which served as a virtual template for the manufacture of an individual ceramic endoprosthesis of the talus.

In the pre- and postoperative periods, the level of pain syndrome and functional state was assessed according to the VAS and AOFAS scales (scale of the American Orthopedic Society of the Foot and Ankle Joint) [9, 10, 11].

Surgical technique

After premedication in a clean operating room under spinal anesthesia, in the position of the patient on his back with a roller under the affected leg, anterior approach to the ankle joint was performed, followed by capsulotomy of the ankle joint. The clinical probe demonstrated the instability of distal tibiofibular syndesmosis, which was an indication for the removal of interpolating tissues, reduction of the fibula into a tibiofibular notch and fixation with a syndesmotomic bolt. Reconstruction of the stretched anterior tibiofibular and anterior talofibular ligaments with local tissues was performed. Intraoperatively, bone ankylosis was noted in the subtalar joint. The affected talus was completely removed by fragmentation. The remains of the articular gap of the subtalar joint filled with fragments of articular cartilage, bone and connective tissue served as a guideline for the removal of the talus. Pathologically altered tissues together with hypertrophied synovial membrane were sent for histological examination, which showed irreversible degenerative changes in articular surfaces (Fig. 5). The attempt to implant the total talus endoprosthetics failed due to the gross deformation of the tibial pylon.

Then, according to the preoperative plan, the tibial component of the ankle endoprosthesis was implanted. The dimensions of the tibial component and the liner were calculated in advance and corresponded to intraoperative measurements. After implanting the tibial component and the polyethylene liner, a ceramic individual endoprosthesis of the talus was implanted without technical difficulties. After the implant was implanted, correction of deformation, tension of the ligaments, restoration of almost full range of movements in the ankle joint were noted (Fig. 6). The main stage of surgery was completed, the wound was sutured in layers. Drainage of the wound with active drainage for one day, aseptic dressing was applied, temporary immobilization with a deep back plaster splint.



Fig. 5. The necrosis of the talus block: destruction of the basophilic line, introduction of the necrosis process into cartilage tissue. Stained with hematoxylin and eosin. Mag. $\times 200$

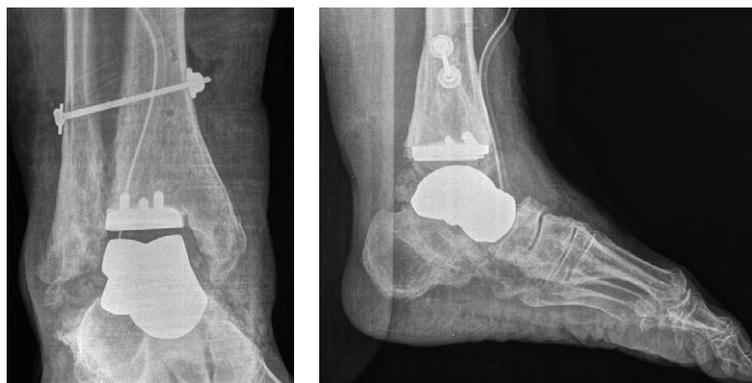


Fig. 6. Intraoperative X-rays of the ankle joint in the AP and lateral planes: the presence of a talus implant, a tibial component of the ankle joint endoprosthesis, syndesmotomic screw is visualized; restoration of the ankle joint and foot contours

Postoperative period

In the postoperative period, bandages were performed. The drainage was removed the next day. Immobilization was carried out with a removable rigid orthosis. The patient was trained to walk with crutches without support on the operated lower limb for a period of 4 weeks, medication was carried out. Immobilization and anticoagulant therapy were discontinued as planned. After 4 weeks, the patient began loading on the operated limb using crutches and gradually abandoning them for a month. After the end of immobilization, a measured load on the leg is allowed, massage, physiotherapy, kinesiotherapy, physical therapy are carried out.

Results

VAS indicators showed a significant improvement in the form of a 7.5-fold reduction in pain: from 75 mm before surgery to 10 mm, as well as an improvement in the functional state of AOFAS by 2.2 times: from 36 to 80 points 20 months after surgery. By the last control visit, the patient could take more than 8000 steps a day.

The edema maintained of the operated lower limb for 3 months after surgery, significantly decreasing overnight. The control radiography showed no signs of instability, maintaining a good anatomical position of the talus implant and the tibial component of the ankle endoprosthesis. The total volume of passive and active movements in the ankle joint at the time of the last control examination is 28° , of which the back flexion is 12° plantar flexion is 16° , which can be characterized as an acceptable result compared to the normal range of motion in the joint (Fig. 7, 8).

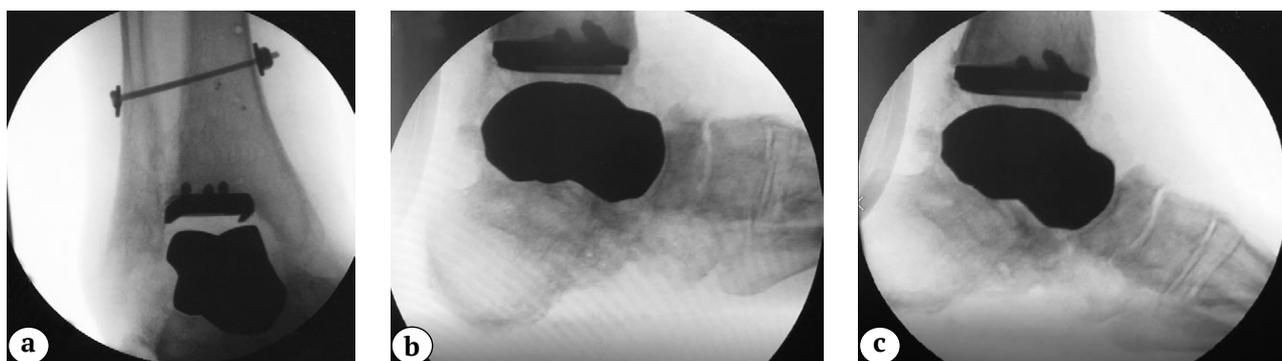


Fig. 7. Control X-rays of the ankle joint 20 months after surgery: a – AP plane, good position of hardware is noted, preservation of the ankle contours; b, c – functional X-rays in the lateral plane of the plantar and dorsal flexion: good position of the endoprosthesis components is noted, total ROM is 28°



Fig. 8. Correction of deformation, an increase in the arch of the foot

Discussion

As the clinical material accumulated, we became convinced of the need to switch from TTC arthrodesis to more modern gentle methods of treatment. The analysis of modern literature has shown the preference for endoprosthetics of the talus [12]. The method has been known since the middle of the XX century, but the results of endoprosthetics of the talus at that time were controversial due to the lack of specialized tools, technical shortcomings of implants, inconsistency of indications for surgical treatment, etc. However, over time, the endoprostheses of the talus have been improved, and today this direction is characterized by active development [13, 14]. Of course, TTC arthrodesis is a radical surgery, the effectiveness of which has been confirmed by many years of surgical practice all over the world, especially in young and active patients. Nevertheless, there is no need to once again list the numerous and insurmountable disadvantages of TTC arthrodesis.

The degree and prevalence of damage to the body of the talus and the ankle joint often do not allow performing endoprosthetics of the ankle joint. Fragmentation, the presence of huge cysts, body collapse and other lesions are the causes of this phenomenon [15]. The viability of such a large array of bone tissue as the body of the talus is doubtful. It should be noted that the extremely low potential for fusion in bonded bones even in conditions of stable fixation and when using massive bone autografts, which is an independent problem in orthopedics and traumatology [16]. All of the above poses a question to the professional community: how to reduce the traumatic nature of the surgery and improve its results? The answer is given by the analysis of publications — total talus endoprosthetics is becoming increasingly popular.

Interesting fact: in the early 50-60s of the XX century this technology was developed in Japan to facilitate the tea ceremony in patients with severe cruzarthrosis. At the same time, its effectiveness turned out to be so high that nowadays the surgery is carried out both in the entire Asia-Pacific region and in economically developed countries of the world [17]. The questions

were not resolved: what material should the implant be made of, what qualities should it have, what position in relation to the joints surrounding the talus. The evolution of the endoprosthesis of the talus has gone a difficult way. Titanium-vanadium and cobalt-chromium alloys, ceramics, etc. were offered as materials. Various designs of the talus bone were proposed, namely endoprostheses of the block with the preservation of the head, total endoprostheses, including the navicular bone [18]. To date, the optimal design is considered to be a total endoprosthesis of the talus, while the discussion about materials continues [19].

Disputes about the method of interaction of the endoprosthesis of the talus with the talo-navicular and subtalar articular surfaces do not subside. Various technologies of screw fixation, monolithic and adaptable stems for fixing these joints, different methods of processing contact surfaces (polished, unpolished) were proposed. Nowadays, the creation of a congruent surface with the listed joints and their precision polishing create compensation for the interaction at the "endoprosthesis of the talus– cartilage" border [20]. This is confirmed by our observation.

Conclusions

Despite a single observation, the result of endoprosthetics of the talus can be considered encouraging. With further improvement, this method can replace TTC arthrodesis. When planning endoprosthetics of the talus, it is necessary to assess the degree of lesion to the tibial pylon in order to establish indications for its endoprosthetics. The use of endoprosthesis of the tibial pylon allows implanting the endoprosthesis of the talus in an anatomical position, creating conditions for the favorable functioning of the talus implant, which will improve the results of treatment of patients with posttraumatic AVN of the talus.

Informed consent

Written informed consent was obtained from the patient for publication of this case report and accompanying images.

References

- Lampert C. [Ankle joint prosthesis for bone defects]. *Orthopade*. 2011;40(11):978-983. (In German). doi: 10.1007/s00132-011-1826-2.
- Cohen M.M., Kazak M. Tibiocalcaneal Arthrodesis With a Porous Tantalum Spacer and Locked Intramedullary Nail for Post-Traumatic Global Avascular Necrosis of the Talus. *J Foot Ankle Surg*. 2015;54(6):1172-1177. doi: 10.1053/j.jfas.2015.01.009.
- Magnan B., Facci E., Bartolozzi P. Traumatic loss of the talus treated with a talar body prosthesis and total ankle arthroplasty. A case report. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86(8):1778-1782. doi: 10.2106/00004623-200408000-00024.
- Gadkari K.P., Anderson J.G., Bohay D.R., Maskill J.D., Padley M.A., Behrend L.A. An Eleven-Year Follow-up of a Custom Talar Prosthesis After Open Talar Extrusion in an Adolescent Patient: A Case Report. *JBJS Case Connect*. 2013;3(4):e118. doi: 10.2106/JBJS.CC.L.00331.
- Harnroongroj T., Harnroongroj T. The Talar Body Prosthesis: Results at Ten to Thirty-six Years of Follow-up. *J Bone Joint Surg Am*. 2014;96(14):1211-1218. doi: 10.2106/JBJS.M.00377.
- Harnroongroj T., Vanadurongwan V. The talar body prosthesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1997;79(9):1313-1322. doi: 10.2106/00004623-199709000-00005.
- Taniguchi A., Takakura Y., Tanaka Y., Kurokawa H., Tomiwa K., Matsuda T. et al. An Alumina Ceramic Total Talar Prosthesis for Osteonecrosis of the Talus. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(16):1348-1353. doi: 10.2106/JBJS.N.01272.
- Regauer M., Lange M., Soldan K., Peyerl S., Baumbach S., Böcker W. et al. Development of an internally braced prosthesis for total talus replacement. *World J Orthop*. 2017;8(3):221-228. doi: 10.5312/wjo.v8.i3.221.
- Bijur P.E., Silver W., Gallagher E.J. Reliability of the visual analog scale for measurement of acute pain. *Acad Emerg Med*. 2001;8(12):1153-1157. doi: 10.1111/j.1553-2712.2001.tb01132.x.
- Kitaoka H.B., Alexander I.J., Adelaar R.S., Nunley J.A., Myerson M.S., Sanders M. Clinical rating systems for the ankle-hindfoot, midfoot, hallux, and lesser toes. *Foot Ankle Int*. 1994;15(7):349-353. doi: 10.1177/107110079401500701.
- Ibrahim T., Beiri A., Azzabi M., Best A.J., Taylor G.J., Menon D.K. Reliability and validity of the subjective component of the American Orthopaedic Foot and Ankle Society clinical rating scales. *J Foot Ankle Surg*. 2007;46(2):65-74. doi: 10.1053/j.jfas.2006.12.002.
- Rodrigues-Pinto R., Muras J., Martín Oliva X., Amado P. Total ankle replacement in patients under the age of 50. Should the indications be revised? *Foot Ankle Surg*. 2013;19(4):229-233. doi: 10.1016/j.fas.2013.05.004.
- Taniguchi A., Takakura Y., Sugimoto K., Hayashi K., Ouchi K., Kumai T. et al. The use of a ceramic talar body prosthesis in patients with aseptic necrosis of the talus. *J Bone Joint Surg Br*. 2012;94(11):1529-1533. doi: 10.1302/0301-620X.94B11.29543.
- Morash J., Walton D.M., Glazebrook M. Ankle Arthrodesis Versus Total Ankle Arthroplasty. *Foot Ankle Clin*. 2017;22(2):251-266. doi: 10.1016/j.fcl.2017.01.013.
- Giannini S., Cadossi M., Mazzotti A., Ramponi L., Belvedere C., Leardini A. Custom-Made Total Talonavicular Replacement in a Professional Rock Climber. *J Foot Ankle Surg*. 2016;55(6):1271-1275. doi: 10.1053/j.jfas.2015.04.012.
- Gross C.E., Sershon R.A., Frank J.M., Easley M.E., Holmes G.B. Jr. Treatment of Osteonecrosis of the Talus. *JBJS Rev*. 2016;4(7):e2. doi: 10.2106/JBJS.RVW.15.00087.
- Shnol H., LaPorta G.A. 3D Printed Total Talar Replacement: A Promising Treatment Option for Advanced Arthritis, Avascular Osteonecrosis, and Osteomyelitis of the Ankle. *Clin Podiatr Med Surg*. 2018;35(4):403-422. doi: 10.1016/j.cpm.2018.06.002.
- Tsukamoto S., Tanaka Y., Maegawa N., Shinohara Y., Taniguchi A., Kumai T. et al. Total talar replacement following collapse of the talar body as a complication of total ankle arthroplasty: a case report. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92(11):2115-2120. doi: 10.2106/JBJS.I.01005.
- Stevens B.W., Dolan C.M., Anderson J.G., Bukrey C.D. Custom talar prosthesis after open talar extrusion in a pediatric patient. *Foot Ankle Int*. 2007;28(8):933-938. doi: 10.3113/FAI.2007.0933.
- Takakura Y., Tanaka Y., Kumai T., Sugimoto K., Ohgushi H. Ankle arthroplasty using three generations of metal and ceramic prostheses. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(424):130-136. doi: 10.1097/01.blo.0000131246.79993.ec.

AUTHORS' INFORMATION:

Vasilii V. Kuznetsov — Cand. Sci. (Med.), Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia
 e-mail: vkuznecovniito@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-6287-8132>

Sergei M. Gudi — Cand. Sci. (Med.), Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia
e-mail: smgudinsk@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-1851-5566>

Liliya K. Skuratova — Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia
e-mail: lilipetrov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3736-3270>

Igor A. Pakhomov — Dr. Sci. (Med.), Tsivyan Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics, Novosibirsk, Russia
e-mail: pahomovigor@inbox.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1501-0677>

Authors' contribution:

Kuznetsov V.V. — development of the concept and design of an individual implant, surgical treatment of the patient, interpretation and analysis of the data obtained, editing.

Goody S.M. — collection and processing of material.

Skuratova L.K. — collection and processing of material.

Pakhomov I.A. — development of the concept and design of an individual implant, surgical treatment of the patient, interpretation and analysis of the data obtained, editing.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to be responsible for all aspects of the study in order to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the study.

Conflict of interest:

The authors declare that there is no conflict of interest.

Обзорная статья
УДК 616-018.4:615.357
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609>



Гормональная регуляция остеогенеза: обзор литературы

А.М. Мироманов, К.А. Гусев

ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Чита, Россия

Реферат

Актуальность. Эндокринная система занимает ведущее место не только в регуляции механизмов роста и развития, но и в реакциях компенсации при воздействии на организм экстремальных факторов. Скоординированная гормональная регуляция способствует правильному ответу приспособительных процессов макроорганизма, направленных на восстановление и поддержание гомеостаза. Каскад эндокринных изменений сопровождается процессами как физиологической, так и репаративной регенерации костной ткани на всех ее стадиях. **Цель исследования** — проанализировать известные к настоящему моменту механизмы гормональной регуляции физиологической и репаративной регенерации костной ткани. **Материал и методы.** Поиск и анализ научных публикаций проводился в базах данных PubMed и eLIBRARY. Глубина поиска — 10 лет. **Результаты.** В обзоре рассмотрены как фундаментальные аспекты, так и новые данные основных гистогенетических механизмов гормональной регуляции остеогенеза. Выделены пути и точки взаимодействия эндокринной и костной систем, определены основные функции гормонов в участии костного ремоделирования в разных возрастных периодах. **Заключение.** В нарушениях физиологической регуляции гормональному дисбалансу отводится ключевая роль, в то время как в условиях репаративного остеогенеза роль качественных и динамических изменений эндокринной системы изучена недостаточно. Гормональная регуляция репаративной регенерации до настоящего времени не имеет четких критериев оценки и требует дальнейшего исследования.

Ключевые слова: остеогенез, гормональная регуляция, ремоделирование, костная ткань.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Review Article
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609>



Osteogenesis Hormonal Regulation: Review

Aleksandr M. Miromanov, Kirill A. Gusev

Chita State Medical Academy, Chita, Russia

Abstract

Background. The endocrine system occupies a leading place not only in the regulation of growth and development mechanisms, but also in compensation reactions when the body is exposed to extreme factors. Coordinated hormonal regulation contributes to the correct response of the macroorganism adaptive processes, aimed at restoring and maintaining homeostasis. A cascade of endocrine changes accompanies the processes of both physiological and reparative regeneration of bone tissue at all its stages. **The aim of the study** was to analyze the currently known mechanisms of hormonal regulation of physiological and reparative bone tissue regeneration. **Materials and Methods.** The search and analysis of scientific literary sources was carried out in the electronic databases PubMed and eLIBRARY. Search depth — 10 years.

Мироманов А.М., Гусев К.А. Гормональная регуляция остеогенеза: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):120-130. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609>.

Cite as: Miromanov A.M., Gusev K.A. [Osteogenesis Hormonal Regulation: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):120-130. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1609>.

✉ Мироманов Александр Михайлович / Aleksandr M. Miromanov; e-mail: miromanov_a@mail.ru

Рукопись получена: 01.04.2021. Рукопись одобрена: 17.08.2021. Статья опубликована онлайн: 16.11.2021.
Submitted: 01.04.2021. Accepted: 17.08.2021. Published Online: 16.11.2021.

© Мироманов А.М., Гусев К.А., 2021
© Miromanov A.M., Gusev K.A., 2021

Results. The review considers both fundamental aspects and new data on the main histogenetic mechanisms of osteogenesis hormonal regulation. The ways and points of interaction of the endocrine and skeletal systems are highlighted, the main functions of hormones in the participation of bone remodeling in different age periods are determined. **Conclusion.** In violations of physiological regulation, hormonal imbalance is assigned a key role, while under conditions of reparative osteogenesis, the role of qualitative and dynamic changes in the endocrine system has been studied insufficiently. Hormonal regulation of reparative regeneration to date has no clear assessment criteria and requires further research.

Keywords: osteogenesis, hormonal regulation, remodeling, bone tissue.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

В формировании генетически детерминированного процесса регуляции механизмов компенсации на различные экстремальные факторы, воздействующие на организм человека, в числе которых может быть и перелом кости, эндокринной системе отводится одна из ведущих ролей. Именно от полноценной качественной и количественной гормональной секреции зависит адекватность и характер приспособительных процессов организма, которые обеспечивают восстановление и поддержание гомеостаза внутренней среды организма в целом [1]. Каскад эндокринных изменений сопровождается процессами как физиологической, так и репаративной регенерации костной ткани на всех ее стадиях [2, 3].

Цель исследования — проанализировать известные к настоящему моменту механизмы гормональной регуляции физиологической и репаративной регенерации костной ткани.

Материал и методы

Поиск научных публикаций осуществлялся в базах данных PubMed и eLIBRARY за период с 2010 по 2020 г. по ключевым словам: гормональная регуляция/hormonal regulation, ремоделирование/remodeling, костная ткань/bone tissue, остеогенез/osteogenesis.

Критерием включения источников в аналитическое исследование являлось наличие полного текста статьи (с указанием конкретных количественных данных). Критерии исключения — неопубликованные работы (диссертации и авторефераты), описания клинических случаев, тезисы докладов, а также учебные и методические материалы.

Результаты

Биологические процессы, происходящие в кости после перелома, контролируются сложными генетически детерминированными механизмами [4], которые включают системные и локальные факторы, взаимодействующие со многими типами клеток и направляющиеся в место повреждения или хирургического вмешательства из окружающих тканей и кровеносного русла.

Адренокортикотропный гормон

Принято считать, что адренокортикотропный гормон (АКТГ) является пусковым гормоном в реакции на травму, что обусловлено созданием приспособительной реакции организма для борьбы со стрессом [2]. Сразу после получения травмы его уровень увеличивается в 14 раз по сравнению с нормой, и пиковые значения сохраняются около 7 дней [5]. Известно, что АКТГ действует на фасцикулярную зону коры надпочечников, высвобождая глюкокортикостероиды (ГК). В свою очередь, ГК через GREs-рецепторы действуют практически на все клетки в организме, включая костную ткань. Кратковременное увеличение ГК в значительной степени ведет к повышению активности остеокластов, однако длительное повышение их уровня ведет к снижению их активности за счет индукции RANKL путем одновременного снижения ингибитора дифференцировки остеокластов — остеопротегерина (OPG). Причем ингибирующие эффекты ГК компенсируются прямым увеличением резорбтивной активности зрелых остеокластов, что в долгосрочном прогнозе приводит к снижению скорости ремоделирования кости. Важная роль ГК в период ранней стадии ремоделирования отводится регуляции асептического воспаления в области перелома. Исследования продемонстрировали, что дефицит или отсутствие ГК вызывало больший воспалительный ответ в ранние сроки перелома, что подтверждалось повышенными уровнями интерлейкина-6 (IL-6) в сыворотке крови, повышенными концентрациями IL-1 β в гематоме перелома и большим количеством Т-клеток, инфильтрирующих первичную костную мозоль. ГК оказывают прямое влияние на мезенхимальные стволовые клетки (МСК), являясь мощными индукторами специфических жировых факторов, включая C/EBP, которые впоследствии индуцируют рецептор γ (PPAR γ), определяя тем самым адипоцитарный тип дифференцировки МСК [6]. ГК ингибируют дифференцировку остеобластов за счет снижения экспрессии ключевых факторов транскрипции RUNX2 и Sp7 (Osterix или OSX), щелочной фосфатазы, остеокальцина, а также лиганда Wnt (в частности Wnt7b и Wnt10) и напротив, индуцируя ингибиторы Wnt, активируются DKK1,

WIF1 и склеростин [7]. В эксперименте установлено и негативное влияние избытка ГК на микроциркуляцию за счет влияния на экспрессию фактора, индуцируемого гипоксией (HIF1) и фактора роста эндотелия сосудов (VEGF), уменьшая объем и покрытие сосудистой сетью участка регенерации [8, 9]. Имеются доказательства зависимости качества костной мозоли в период образования каллуса, что подтверждено исследованием на экспериментальных животных (мышах). При избытке ГК отмечалось формирование костного мостика с более слабыми механическими свойствами. Следовательно, ГК могут играть защитную роль в заживлении переломов, формируя начальный воспалительный ответ и способствуя правильной трансформации хрящевой мозоли в кость [10, 11]. В условиях репаративной регенерации оценка изменений состояния уровней ГК носит только количественный характер, в то время как роль и степень их участия в той или иной стадии репаративного ремоделирования остается малоизученной.

Паратиреоидный гормон

Паратиреоидный гормон (ПТГ) при различных условиях может выступать как медиатор анаболических и катаболических эффектов в процессе ремоделирования костной ткани. Его концентрация зависит от уровня кальция и фосфора в сыворотке крови. Реализуя себя как основной регулятор кальция и фосфора в организме, ПТГ стимулирует костную резорбцию, увеличивает реабсорбцию кальция через паратиреоидный рецептор (ПТР), тем самым активизируется система PKA (протеинкиназа А и протеинкиназа С). Система PKA, активируемая цАМФ, регулирует экспрессию белков, участвующих в клеточном цикле, родственных ингибиторов киназы и RUNX2 [12], что приводит к увеличению количества остеобластов и снижению апоптоза [13]. Таким образом, ПТГ может запускать как резорбцию кости, так и остеогенез. При переломе кости наблюдается повышение его уровня с первых дней. К 14-му дню он достигает пиковых значений, превышающих нормальные в 10 раз, при этом высокие концентрации сохраняются в течение 3 нед. от момента перелома. Однако путь влияния ПТГ на МСК пока не совсем ясен — возможно, что анаболические эффекты ПТГ связаны с его воздействием на морфогенетические белки (BMP), Wnts или трансформирующий фактор роста (TGF β) через рецепторы PTHR1 и/или эндцитоз [12, 14]. Некоторые исследования показали, что ПТГ индуцирует дифференцировку МСК через сигнальный каскад BMP [15]. ПТГ влияет и на синтез остеогенных факторов роста — цитокинов, таких как инсулиноподобный фактор роста-1 (IGF-1), фактор роста фибробластов-2 (FGF-2), а также их антагонистов или протеолитических активаторов,

тем самым косвенно способствуя дифференцировке и пролиферации остеобластов и их предшественников [12]. При этом необходимо отметить, что отсутствие рецептора ПТГ в остеокластах реализует остеокластный ответ через остеобласты [16]. Однако общая реакция на ПТГ зависит от его концентрации и времени воздействия. Имея два основных ритма выделения ПТГ щитовидной железой, пульсирующего и тонизирующего, до конца не понятна роль каждого из них в поддержании гомеостаза костной ткани. Имеются исследования, показавшие, что при индуцированном ГК остеопорозе, уровень тонизирующего ПТГ снижается, при этом уровень ПТГ, высвобождаемого пульсирующим образом, увеличивается [17]. Тем не менее изменение ритма щитовидной железы не влияет на уровень остеопороза и свидетельствует о главенствующей роли непрерывных секретов ПТГ. Влияние ПТГ на кость неодинакова, о чем свидетельствуют работы, результаты которых показали, что у пациентов с первичным гиперпаратиреозом отмечается потеря костной массы в кортикальном слое, при этом трабекулярная кость остается нормальной или усиленной [18]. Следовательно, можно предположить, что существует количественный предел, повышение ПТГ выше которого будет оказывать катаболический эффект, а более низкие концентрации демонстрировать анаболические эффекты [19].

Кальцитонин (тирокальцитонин)

Кальцитонин — это гормон пептидной природы, который секретируется щитовидной железой и противодействует паратиреоидному гормону, участвуя в метаболизме кальция (Ca $^{2+}$) и фосфора. В своем скелетносохраняющем действии кальцитонин ингибирует как базальную, так и ПТГ-стимулированную резорбцию кости [20]. Показано, что прокальцитонин ингибирует дифференцировку остеокластов в культурах костного мозга [21]. Рецептор кальцитонина соединен с G-белком, который связывает Gs с аденилатциклазой и способствует образованию цАМФ в клетках-мишенях. Анализ этих клеточных линий показал, что при низкой продукции кальцитонина или отсутствии его в цитоплазме появляется новый вид мРНК, отличающийся от мРНК кальцитонина. Дальнейшие исследования доказали, что ген кальцитонина CALCA кодирует два альтернативных вида мРНК: одна транслируется в предшественник кальцитонина, а другая — в кальцитониноподобный пептид (CGRP), и отвечает за снижение экспрессии кальцитонина в клеточных линиях, которые вместо этого переходят к синтезу CGRP. В физиологических условиях обработка транскрипта гена CALCA является тканеспецифичной. Дополнительным продуктом гена CALCA является прокальцитонин — 116-аминокислотный предшественник кальцитонина.

В условиях гомеостаза экспрессия и процессинг мРНК *CALCA* в форме, которая кодирует прокальцитонин, в основном ограничивается С-клетками щитовидной железы, где белок-предшественник быстро расщепляется с образованием зрелого кальцитонина. Концентрация прокальцитонина в кровеносном русле в этих условиях очень низкая [22]. В присутствии бактериальной инфекции экспрессия гена *CALCA* индуцируется во многих органах и тканях, приводя к быстрому и существенному увеличению циркулирующих уровней прокальцитонина. Синтез прокальцитонина стимулируется непосредственно бактериальными эндотоксинами и липополисахаридами, а также медиаторами воспаления. Быстрое увеличение прокальцитонина в кровотоке специфично для бактериальной инфекции, поэтому прокальцитонин в настоящее время используется в качестве биомаркера для оценки риска сепсиса [23]. Прокальцитонин исследован и в качестве биомаркера костной и суставной инфекции, он может быть рассмотрен как предиктор остеомиелита или септического артрита [24]. В условиях репаративной регенерации концентрация кальцитонина в сыворотке крови сохраняется повышенной на всем протяжении процесса регенерации, достигая максимума в конечной стадии остеогенеза, что согласуется с процессами минерализации, происходящими в этот период.

Таким образом, степень участия гормонов щитовидной железы в репаративном остеогенезе, к сожалению, остается малоизученной.

Половые гормоны

Эстрогены и андрогены способствуют росту костной массы во время полового созревания и помогают поддерживать гомеостаз в последующем [25, 26].

По мнению некоторых исследователей, эстроген является основным системным гормоном, регулирующим метаболизм костной ткани не только у женщин, но и у мужчин [27, 28, 29]. Механизм действия эстрогена связан с антирезорбтивной функцией влияния на остеокласты, в частности на их активность и апоптоз [30]. Интерлейкин 6 (IL-6) стимулирует резорбцию кости, а эстроген блокирует синтез IL-6. Эстроген может являться антагонистом рецептору IL-6. Кроме того, эстроген ингибирует резорбцию кости путем индуцирования небольших, но кумулятивных изменений множества эстрогенозависимых регуляторных факторов, включая фактор некроза опухолей (TNF- α) и систему OPG/RANKL/RANK [31]. Физиология регуляции эстрогеном резорбции кости рассматривается через сигнальное семейство TNF, которые являются конечными эффекторами дифференцировки и функции остеокластов. Паракринный эффектор дифференцировки остеокластов, полученный из

osteoblastов, идентифицирован как рецепторный активатор NF- λ В-лиганда, который экспрессируется стромально-osteoblastными клетками. Контакт между этими клетками и клетками остеокластов позволяет RANKL связывать свой физиологический рецептор RANK, мощно стимулируя все аспекты функции остеокластов: в ответ на передачу сигналов RANKL дифференцировка остеокластов и активность увеличиваются, а апоптоз уменьшается. Стромально-osteoblastные клетки также секретируют остеопротегерин (OPG), который нейтрализует RANKL. Эстроген увеличивает синтез OPG, уменьшает колониестимулирующий фактор макрофагов (M-CSF) и RANK. Установлено, что часть эффектов эстрогена, вероятно, реализуется за счет ингибирования TNF- α в Т-клетках костного мозга [32, 33, 34, 35]. Половые стероиды вызывают более выраженное действие оси GH/IGF-1 во время роста. В частности, эстроген увеличивает секрецию GH у мальчиков и девочек, при этом эффект у мальчиков поддается коррекции при необходимости с помощью эстрогена, продуцируемого активностью ароматазы на тестостерон, а не самим тестостероном. Эстроген отвечает за эпифизное слияние у молодых мужчин и женщин. Повышение уровня эстрадиола в сыворотке предшествует менархе и связано с замедлением скорости роста и уменьшением маркеров формирования костной ткани. При этом уровни IGF-1 в этот период продолжают увеличиваться, несмотря на замедление скорости роста скелета. Максимальное увеличение содержания минералов в костях также приходится на период менархе, что ассоциируется с пиком уровня ПТТ в сыворотке, после чего уровни ПТТ начинают снижаться. Тот факт, что маркеры формирования кости коррелируют со скоростью роста, а не с увеличением костной массы, говорит о вероятном отражении статурного роста, а не о накоплении минералов в кости. Соответственно, они не могут являться важными диагностическими показателями метаболизма костной ткани при оценке подростков [36].

Исследования показали, что 12-летние подростки достигли 90% роста взрослых и 83% минеральной плотности кости (BMD), но при этом имеют только 68% веса взрослых и 58% от общего содержания минералов в костях скелета (TBMC). Данный факт свидетельствует о том, что временной период и регуляторы костного метаболизма для достижения пиковых значений этих показателей расходятся. Хотя существует общепринятое мнение, что у женщин 90% пиковой костной массы определяется возрастом 18 лет, имеются исследования, доказывающие, что созревание кости может быть гораздо более продолжительным процессом. Так, для поясничного отдела позвоночника пик костной плотности у женщин наблюдался в возрасте от 33 до 40 лет, а у мужчин — в период

с 19 до 33 лет. При этом для бедренной кости тот же показатель варьировал от 16 до 19 лет у женщин и от 19 до 21 года у мужчин. Следовательно, эстроген, имея одну из ведущих ролей в регуляции развития костной ткани, может выступать предиктором нарушения метаболизма костной ткани даже у лиц старше 25 лет [36, 37].

Часть влияния андрогенов может быть опосредована косвенным воздействием на функцию гипофиза, поскольку андрогены модулируют кинетику секреции гормона роста в период полового созревания [38]. Как тестостерон, так и дигидротестостерон стимулируют пролиферацию культивируемых предшественников остеобластов, однако механизм их влияния на остеобласты не вполне понятен [39]. Андрогенные рецепторы экспрессируются в культивируемых эпифизарных хондроцитах и хрящевых клетках ростовой пластинки, эти рецепторы обнаруживаются во всех слоях ростовой пластинки человека в период роста скелета вне зависимости от пола. Они экспрессируются стромальными клетками костного мозга предшественников остеобластов [33], а также на мегакариоцитах и эндотелиальных клетках в костном мозге [38]. Остеобластные клетки человека из кортикальной кости экспрессируют больше мРНК андрогенного рецептора и имеют большее связывание андрогенов, чем клетки из трабекулярной кости [28], вероятно, влияя на пубертатный рост или закрытие ростовых зон посредством ароматизации до эстрогена. Андрогенные рецепторы ER α и ER β обнаружены в остеобластах, хотя ранее эти данные опровергались. Последующие исследования выявили присутствие мРНК и андрогенного рецептора как в остеобластах, так и в остеоцитах. В настоящее время нет единого мнения относительно экспрессии рецепторов андрогенов и ER α , ER β во время дифференцировки остеобластов и остеоцитов или их локализации в скелете [39]. Андрогенные эффекты на кости могут опосредованно реализовываться в регуляции цитокинов и факторов роста, экспрессируемых локально в кости. Андрогены активируют TGF- β и IGF, которые стимулируют образование кости и подавляют стимулирующий остеокластогенез — IL-6. Андрогены блокируют действие гормона паращитовидной железы и IL-1, выработку простагландина (PG) E $_2$ и, напротив, стимулируют выработку IL-1 β и усиливают митогенное действие FGF в культивируемых остеобластах в эксперименте. Показано, что дигидротестостерон снижает уровень OPG, который потенциально может стимулировать активность остеокластов [40]. Действие на дифференцировку остеокластов связано со стимуляцией активатора рецепторов ядерного фактора (RANKL), экспрессируемого и секретируемого остеобластными клетками, который связывается с RANK на остео-

кластах [41]. В свою очередь, эффекты RANKL на остеокласты регулируются посредством секреции OPG. Андрогены, по-видимому, опосредованно оказывают свое защитное действие на кость и через остеобластные клетки. Дигидротестостерон непосредственно связывается с рецепторами андрогенов на остеокластах и блокирует резорбцию костей остеокластами человека. В клеточной культуре показано, что андрогены регулируют образование остеокластов, индуцированное RANKL, выживание остеокластов, экспрессию RANKL предшественниками остеобластов и зрелую функцию остеокластов, независимо от предшественников остеобластов стромы костного мозга [39]. Таким образом, андрогены, по-видимому, способны регулировать остеокластогенез как косвенно, так и непосредственно. Однако все описанные выше эффекты половых гормонов реализованы на примере исследований развития скелета, то есть на этапе физиологической регенерации.

Гормон роста

Основным компонентом так называемой оси гормона роста (GH/IGF) является соматотропный гормон (гормон роста — GH) — одноцепочечный полипептидный гормон, который секретируется пульсирующим образом передней долей гипофиза в ответ на стимуляцию гипоталамуса (GHRH) и ингибируется соматостатином (SS) [42]. Хотя GH может непосредственно влиять на клетки различных тканей, включая остеобласты и хондроциты эпифизарной зоны роста [43], GH стимулирует продольный рост кости в основном путем активации продукции «печеночного» IGF-1 [44]. IGF-1 и IGF-2 (инсулиноподобные факторы роста) представляют собой пептидные гормоны со значительным структурным сходством с инсулином, при этом IGF-2 важен для внутриутробного роста, IGF-1 регулирует рост, развитие и метаболизм костной ткани в течение всей жизни [45, 46]. В эксперименте на мышах установлено, что помимо опосредованных эффектов через IGF-1 гормон роста может непосредственно регулировать дифференцировку прехондроцитов, а также играет роль в регуляции полового диморфизма [47, 48]. Доказано, что IGF-1 реализует свои эффекты посредством взаимодействия с несколькими связывающими белками, известными как IGFBP-1-6. При этом IGFBP-1 и IGFBP-5 реализуют стимулирующее действие IGF-1 на остеобласты. Напротив, ингибирующими считаются IGFBPs-1, -2, -4 и -6; они связывают IGF-1 и предотвращают взаимодействие с IGF-1 рецептором. Например, сверхэкспрессия IGFBP-4 в остеобластах мышей приводит к снижению размера кости и сочетается с повышенным ингибированием активности IGF-1 [49]. Паратиреоидный гормон может увеличивать экспрессию IGFBP-4

[50]. Глюкокортикоиды увеличивают экспрессию ингибирующих IGFБPs-2, -4 и -6 при одновременном снижении экспрессии IGFБPs-3 и -5 [51, 52], а эффект подавления эстрогеном образования кости может быть вызван повышенной регуляцией экспрессии IGFБP-4 [53]. Локальные факторы, включая IGF, TGF- β , BMP, FGF, PDGF, интерлейкины и IGFБP протеазы, являются регуляторами экспрессии и активности IGFБP в кости [54]. IGFБP-5 способен участвовать в процессах регуляции размера и формы кости [55].

Роль местного IGF-1, действующего аутокринным и/или паракринным образом, не менее важна для функции кости. IGF-1 продуцируется скелетными тканями и хранится в минерализованном матриксе, из которого он может высвобождаться при деградации матрикса и ремоделировании кости. Без локально продуцируемых IGF пролиферация остеобластов снижается почти на 50%, что указывает на роль местного производства IGF в пролиферации базальных остеобластов [56]. Сверхэкспрессия других компонентов системы IGF, которые модулируют местную биодоступность IGF, таких как IGFБP и соответствующие им протеазы, указывает на то, что локальная продукция IGF-1 необходима для ремоделирования кости [54, 57, 58]. Кроме того, эффект гормона роста на количество остеобластов зависит от местного производства IGF-1 [59].

Дефицит ГН в детском возрасте приводит к снижению МПК и увеличению риска переломов во взрослом возрасте [60]. Многие из эффектов ГН опосредованы через IGF-1. Пациенты с нечувствительностью к ГН, например, с синдромом Ларона, вызванным мутациями ГН-рецептора, недостаточно или вообще не вырабатывают IGF-1 или IGFБP-3, что приводит к снижению продольного роста кости; низкорослость при рождении сопровождается медленным ростом на протяжении всей жизни [61]. Гистоморфометрические измерения показывают снижение скорости образования кости и ее минерализации с дефицитом IGF-1 [62]. Недавние исследования показали значительную связь между полиморфизмами в гене IGF-1 и риском остеопороза в популяции женщин в Китае [63].

Таким образом, как ГН, так и IGF-1 являются ключевыми регуляторами получения пиковой костной массы у животных и у людей [64]. Дополнительным IGF-независимым свойством гормона роста является увеличение резорбции и обменных процессов кости [45]. У пациентов с избытком ГН повышается риск переломов [65, 66, 67].

Тиреоидный гормон

Действие гормонов щитовидной железы опосредовано рецепторами (TR), которые кодируются

генами THRA и THRB [68]. Каждому из TR принадлежит несколько подтипов. Наиболее изучены TR α 1, TR α 2, TR β 1, TR β 2 рецепторы [69, 70]. Они локализованы не только на тироцитах, но и на большинстве тканей и клетках человека.

Действия тиреоидного гормона в кости сложны и поняты лишь частично; они происходят через прямые и косвенные пути во всех фазах цикла ремоделирования кости и стимулируют как образование кости, так и резорбцию [68, 71]. Остеобласты и хондроциты проявляют экспрессию как TR α , так и TR β [69, 72], но концентрация TR α 1 в десять раз превышает TR β 1 [68, 69]. TR α 1 рассматривается в качестве основного функционального медиатора трийодтиронина в скелете [69, 73, 74]. Биологическая роль TR α 2 неизвестна [75]. Дефицит или дисфункция TR α приводит к замедлению роста, задержке возраста костей, нарушениям минерализации костей и снижению МПК [76, 77]. Во время образования кости трийодтиронин (Т3) стимулирует пролиферацию, дифференцировку, апоптоз остеобластов и увеличивает экспрессию остеокальцина, коллагена типа 1, щелочной фосфатазы, металлопротеинов, IGF-1 и его рецептора (IGF-1R). Впоследствии во время резорбции кости Т3 увеличивает экспрессию важных факторов дифференцировки линии остеокласта, таких как интерлейкин 6 и простагландин E2 [74]. Кроме того, Т3 действует синергически с остеокластогенными гормонами — парацистовидным гормоном (ПТГ) и витамином D [78, 79]. Продемонстрировано, что Т3 увеличивает экспрессию мРНК лиганда активатора рецептора ядерного карра- β (RANKL) в остеобласте, который активирует RANK, присутствующий в предшественниках остеокластов. Т3 регулирует хондрогенез и минерализацию костей, стимулирует выработку IL-6 и IL-8, усиливает действие IL-1, синтез остеокальцина и коллагена типа 1, увеличивает пролиферацию, дифференцировку и апоптоз остеобластов [72, 76]. Установлено, что гормоны щитовидной железы играют ключевую роль в развитии скелета, в достижении пиковой костной массы и эффективного заживления переломов [80, 81].

Избыток гормонов щитовидной железы в детском возрасте может привести к преждевременной аккреции ростовых пластин и черепных швов и, наконец, к низкорослости и краниосиностозу [76, 80, 81]. В то время как гипертиреоз в детстве усиливает минерализацию кости и ускоряет эпифизное созревание, у взрослых он вызывает потерю кости за счет преобладающей активности остеокластов. Так, потеря минеральной плотности составляет около 10–20% преимущественно за счет кортикальной кости [75, 76]. Цикл ремоделирования кости сокращается почти на 50% (с 200 до 113 дней), а пропорции между образованием кости

и ее резорбцией нарушаются [82]. Фаза костного образования уменьшается на 2/3, что влияет на потерю более 10% минерализованной кости [83]. Вследствие этого тиреотоксикоз приводит к увеличению риска переломов [75, 76, 82]. У пациентов с гипертиреозом обнаруживаются повышенные концентрации IL-6 в сыворотке крови, тем самым стимулируя повышенную дифференцировку остеокластов. IL-6 стимулирует выработку остеокластов и может быть медиатором паращитовидного гормона на костной ткани [84]. Нарушения костного обмена, наблюдаемые при гипертиреозе, связаны с отрицательным кальциевым балансом, гиперкальциемией и гиперкальциурией [75, 84]. Прямое действие на клетки костной ткани приводит к усилению обменных процессов в кости и остеопорозу [85, 86].

У пациентов с гипотиреозом в детском возрасте отмечаются замедление или даже остановка роста, нарушения эндохондрального окостенения, задержка костного возраста [75, 76]. Гипотиреоз способствует общему гипометаболизму. Процессы формирования кости замедляются на 50%, процессы резорбции кости — на 40%. Снижаются кальциурия и концентрация в сыворотке остеокальцина, щелочной фосфатазы, но повышается концентрация паращитовидного гормона и витамина D в сыворотке [82]. Принято считать, что гипотиреоз у взрослых ухудшает обменные процессы в костной ткани, приводя к остеопорозу и повышению ломкости кости, однако имеются исследования, опровергающие это утверждение.

Таким образом, механизм влияния дефицита гормона щитовидной железы остается до конца не изученным [87, 88], как и степень участия данного гормона в репаративной регенерации.

Пролактин

Пролактин (PRL) действует на специфический рецептор (PRLR), принадлежащий к надсемейству цитокиновых рецепторов типа 1, который включает рецептор GHR и IL-1. В некоторых исследованиях показано, что PRL-рецепторы обнаружены на остеобластах [89]. Обычно остеобласты экспрессируют PRLR, хотя существуют некоторые остеобластные линии человека, которые требуют медиаторов, таких как 1,25(OH)2D3 или глюкокортикоиды для экспрессии PRLR. Кроме того, PRL усиливает резорбцию кости частично за счет увеличения активатора рецептора NF-лиганда (RANKL) и снижения экспрессии OPG остеобластами [90]. В эксперименте установлено, что в остеобластоподобных клетках, подвергшихся воздействию высоких концентраций PRL, соответствующих физиологически наблюдаемым во время беременности и лактации (то есть между 100 и 500 нг/мл), экспрессия цитокинов и молекул, участвующих в регуляции остео-

кластогенеза (то есть RANKL, ephrin-B1, TNF- α , IL-1 и циклооксигеназы-2), повышалась. При более высоких патологических концентрациях PRL подавляет уровни мРНК OPG в остеобластах, тем самым дополнительно усиливая действие RANKL на остеокласты. С другой стороны, увеличение числа остеокластов приводит к увеличению уровня кальция в крови и секреции паращитовидного гормона (ПТГ) [91]. Снижение уровня ПТГ приводит к уменьшению секреции PRL из передней части гипофиза, поскольку ПТГ ингибирует обратный захват и высвобождение дофамина (DA), который является фактором, ингибирующим PRL [92]. В дополнение к PRL-индуцированной активации остеокластов через остеобласты PRL подавляет дифференцировку преостеобластов и функции остеобластов, например экспрессию остеокальцина и активность щелочной фосфатазы (ALP). В моделях на животных установлено три основных пути влияния пролактина: за счет стимуляции абсорбции кальция в кишечнике, ингибирование синтеза половых гормонов и через прямое воздействие на клетки скелетной ткани. Влияние PRL зависит от возраста: от увеличения костной массы у растущих особей до потери костной ткани у взрослых [94, 95].

Таким образом, исходя из экспериментальных данных, пролактин при физиологических концентрациях оказывает стимулирующее воздействие на формирование кости. При увеличении значений PRL в диапазоне легкой гиперпролактинемии дополнительно стимулируют ремоделирование кости, причем резорбция кости увеличивается больше, чем образование. При высоких значениях PRL резорбция кости дополнительно стимулируется, а образование кости подавляется с последующим нарушением микроструктуры трабекулярной кости [95]. Особый интерес вызывает исследование пациентов с переломами трубчатых костей в сочетании с черепно-мозговой травмой (ЧМТ). Известно, что такое сочетание травм зачастую сопровождается усиленным ремоделированием с гипертрофическим образованием каллуса и/или гетеротопическим окостенением. При динамическом наблюдении выраженных изменений гормонов стресс-группы, таких как АКТГ и кортизол, а также гормона роста, паратиреоидного гормона, не отмечалось. Однако уровень пролактина оставался высоким с момента травмы и сохранялся таковым до 5 нед. Все пациенты с гиперпролактинемией демонстрировали сращение с формированием гипертрофической костной мозоли и/или гетеротопическое окостенение. Следовательно, пролактин не только влияет на физиологию костного обмена, но, возможно, при определенных условиях может являться одним из гуморальных факторов, участвующих в явлении усиленного остеогенеза у пациентов с ЧМТ [96].

Заключение

Механизм действия большинства гормонов достаточно изучен в отношении формирования скелета, физиологической регенерации и патологии, вызываемой нарушением выработки того или иного гормона. Основными регуляторами развития и роста в детском возрасте являются гормон роста, инсулиноподобный фактор роста 1, глюкокортикоиды и гормоны щитовидной железы. Половые гормоны отвечают за этап пубертатного роста и завершающую стадию развития скелета. Нарушение оси GH/IGF-1 вызывает синдром дефицита IGF-1 с характерной задержкой роста, снижением скорости образования костной массы и ее минерализации. Избыток ГК усиливает резорбцию кости, подавляет активность остеобластов и снижает продукцию костного матрикса, вызывая задержку роста у детей и остеопороз у взрослых. Дефицит половых стероидов приводит к высокому росту и снижению костной массы из-за нарушения эпифизарного слияния и комплексного воздействия на скелет, включая усиление резорбции кости. Пролактин является основным регулятором кальция во время беременности и лактации. Многие гормоны демонстрируют синергию в реализации своих эффектов, а некоторые, напротив, выступают антагонистами. Репаративная регенерация, отличаясь от физиологической силой и площадью происходящих процессов, по-прежнему остается малоизученной в отношении гормональной регуляции, механизмов управления и не имеет четких критериев оценки, что требует дальнейшего изучения.

Литература [References]

- Charmandari E., Tsigos C., Chrousos G. Endocrinology of the stress response. *Annu Rev Physiol.* 2005;67:259-284. doi: 10.1146/annurev.physiol.67.040403.120816.
- Дедов И.И., Мельниченко Г.А. *Эндокринология*. Москва: ГЭОТАР-Медиа; 2019. 1112 с. Dedov I.I., Melnichenko G.A. [*Endocrinology*]. Moscow: GEOTAR-Media; 2019. 1112 p. (In Russian).
- Nicholls J.J., Brassill N.J., Williams G.R., Bassett J.H.D. The skeletal consequences of thyrotoxicosis. *J Endocrinol.* 2012;213(3):209-221. doi: 10.1530/JOE-12-0059.
- Гусев К.А., Миromanov А.М., Миromanova Н.А., Витковский Ю.А. Полиморфизм гена EGFR-2073A>T и экспрессия ростового фактора EGF у больных с нарушением консолидации переломов длинных костей конечностей. *Забайкальский медицинский вестник*. 2016;3:25-29. Режим доступа: <http://zabmedvestnik.ru/arhiv-nomerov/nomer-3-za-2016-god>. Gusev K.A., Miromanov A.M., Miromanova N.A., Vitkovsky Yu.A. [Influence of polymorphism of gene EGFR-2073A>T on expression transforming growth factor EGF at patients with disturbance of consolidation of fractures of long bones of extremities]. *Zabaikal'skii meditsinskii vestnik* [The Transbaikalian Medical Bulletin]. 2016;3:25-29. Available from: <http://zabmedvestnik.ru/arhiv-nomerov/nomer-3-za-2016-god>. (In Russian).
- Корж Н.А., Дедух Н.В. Репаративная регенерация кости: современный взгляд на проблему. Стадии регенерации. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 2006;1:77-84. Korzh N.A., Dedukh N.V. [Reparative bone regeneration: a modern perspective on the problem. Regeneration stages]. *Ortopediya travmatologiya i protezirovaniye* [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]. 2006;1:77-84. (In Russian).
- Kawai M., de Paula F.J., Rosen C.J. New insights into osteoporosis: the bone-fat connection. *J Intern Med.* 2012;272(4):317-329. doi: 10.1111/j.1365-2796.2012.02564.x.
- Mak W., Shao X., Dunstan C.R., Seibel M.J., Zhou H. Biphasic glucocorticoid-dependent regulation of Wnt expression and its inhibitors in mature osteoblastic cells. *Calcif Tissue Int.* 2009;85(6):538-545. doi: 10.1007/s00223-009-9303-1.
- Hartmann K., Koenen M., Schauer S., Wittig-Blaich S., Ahmad M., Baschant U. et al. Molecular Actions of Glucocorticoids in Cartilage and Bone During Health, Disease, and Steroid Therapy. *Physiol Rev.* 2016;96(2):409-447. doi: 10.1152/physrev.00011.2015.
- Weinstein R.S., Hogan E.A., Borrelli M.J., Liachenko S., O'Brien C.A., Manolagas S.C. The Pathophysiological Sequence of Glucocorticoid-Induced Osteonecrosis of the Femoral Head in Male Mice. *Endocrinology.* 2017;158(11):3811-3831. doi: 10.1210/en.2017-00662.
- Tu J., Henneicke H., Zhang Y., Stoner S., Cheng T.L., Schindeler A. et al. Disruption of glucocorticoid signaling in chondrocytes delays metaphyseal fracture healing but does not affect normal cartilage and bone development. *Bone.* 2014;69:12-22. doi: 10.1016/j.bone.2014.08.016.
- Rapp A.E., Hachemi Y., Kemmler J., Koenen M., Tuckermann J., Ignatius A. Induced global deletion of glucocorticoid receptor impairs fracture healing. *FASEB J.* 2018;32(4):2235-2245. doi: 10.1096/fj.201700459RR.
- Jilka R.L. Molecular and cellular mechanisms of the anabolic effect of intermittent PTH. *Bone.* 2007;40:1434-1446. doi: 10.1016/j.bone.2007.03.017.
- Kim J.-M., Choi J.S., Kim Y.-H., Jin S.H., Lim S., Jang H.-J. et al. An activator of the cAMP/PKA/CREB pathway promotes osteogenesis from human mesenchymal stem cells. *J Cell Physiol.* 2013;228(3):617-626. doi: 10.1002/jcp.24171.
- Kousteni S., Bilezikian J.P. The cell biology of parathyroid hormone in osteoblasts. *Curr Osteoporos Rep.* 2008;6(2):72-76. doi: 10.1007/s11914-008-0013-9.
- Yu B., Zhao X., Yang C., Crane J., Xian L., Lu W. et al. Parathyroid hormone induces differentiation of mesenchymal stromal/stem cells by enhancing bone morphogenetic protein signaling. *J Bone Miner Res.* 2012;27(9):2001-2014. doi: 10.1002/jbmr.1663.
- Teitelbaum S.L. Bone resorption by osteoclasts. *Science.* 2000;289(5484):1504-1508. doi: 10.1126/science.289.5484.1504.
- Chiavistelli S., Giustina A., Mazziotti G. Parathyroid hormone pulsatility: physiological and clinical aspects. *Bone Res.* 2015;3:14049. doi: 10.1038/boneres.2014.49.
- Parisien M., Silverberg S.J., Shane E., de la Cruz L., Lindsay R., Bilezikian J.P. et al. The histomorphometry of bone in primary hyperparathyroidism: preservation of cancellous bone structure. *J Clin Endocrinol Metab.* 1990;70(4):930-938. doi: 10.1210/jcem-70-4-930.
- Wojda S.J., Donahue S.W. Parathyroid hormone for bone regeneration. *J Orthop Res.* 2018;36(10):2586-2594. doi:10.1002/jor.24075.

20. Hirsch P.F., Lester G.E., Talmage R.V. Calcitonin, an enigmatic hormone: does it have a function? *J Musculoskelet Neuronal Interact.* 2001;1(4):299-305.
21. Keller J., Catala-Lehnen P., Huebner A.K., Jeschke A., Heckt T., Lueth A. et al. Calcitonin controls bone formation by inhibiting the release of sphingosine 1-phosphate from osteoclasts. *Nat Commun.* 2014;5:5215. doi: 10.1038/ncomms6215.
22. Davies J. Procalcitonin. *J Clin Pathol.* 2015;68(9):675-679. doi: 10.1136/jclinpath-2014-202807.
23. Vijayan A.L., Vanimaya, Ravindran S., Saikant R., Lakshmi S., Kartik R., Manoj G. Procalcitonin: a promising diagnostic marker for sepsis and antibiotic therapy. *J Intensive Care.* 2017;5:51. doi: 10.1186/s40560-017-0246-8.
24. Shen C.-J., Wu M.-S., Lin K.-H., Lin W.-L., Chen H.-C., Wu J.-Y. et al. The use of procalcitonin in the diagnosis of bone and joint infection: a systemic review and meta-analysis. *Eur J Clin Microbiol Infect Dis.* 2013;32(6):807-814. doi: 10.1007/s10096-012-1812-6.
25. Khosla S. Update on estrogens and the skeleton. *J Clin Endocrinol Metab.* 2010;95(8):3569-3577. doi: 10.1210/jc.2010-0856.
26. Vanderschueren D., Laurent M.R., Claessens F., Gielen E., Lagerquist M.K., Vandenput L. et al. Sex steroid actions in male bone. *Endocr Rev.* 2014;35(6):906-960. doi: 10.1210/er.2014-1024.
27. Khosla S., Melton L.J. 3rd, Riggs B.L. The unitary model for estrogen deficiency and the pathogenesis of osteoporosis: is a revision needed? *J Bone Miner Res.* 2011;26(3):441-451. doi: 10.1002/jbmr.262.
28. Khosla S., Amin S., Orwoll E. Osteoporosis in men. *Endocr Rev.* 2008;29(4):441-464. doi: 10.1210/er.2008-0002.
29. Falahati-Nini A., Riggs B.L., Atkinson E.J., O'Fallon W.M., Eastell R., Khosla S. Relative contributions of testosterone and estrogen in regulating bone resorption and formation in normal elderly men. *J Clin Invest.* 2000;106(12):1553-1560. doi: 10.1172/JCI10942.
30. Manolagas S.C. Birth and death of bone cells: basic regulatory mechanisms and implications for the pathogenesis and treatment of osteoporosis. *Endocr Rev.* 2000;21(2):115-137. doi: 10.1210/edrv.21.2.0395.
31. Riggs B.L. The mechanisms of estrogen regulation of bone resorption. *J Clin Invest.* 2000;106(10):1203-1204. doi: 10.1172/JCI11468.
32. Cenci S., Weitzmann M.N., Roggia C., Namba N., Novack D., Woodruff J. et al. Estrogen deficiency induces bone loss by enhancing T-cell production of TNF-alpha. *J Clin Invest.* 2000;106(10):1229-1237. doi: 10.1172/JCI11066.
33. Hofbauer L.C., Khosla S., Dunstan C.R., Lacey D.L., Boyle W.J., Riggs B.L. The roles of osteoprotegerin and osteoprotegerin ligand in the paracrine regulation of bone resorption. *J Bone Miner Res.* 2000;15(1):2-12. doi: 10.1359/jbmr.2000.15.1.2.
34. Pacifici R. Estrogen, cytokines, and pathogenesis of postmenopausal osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 1996;11(8):1043-1051. doi: 10.1002/jbmr.5650110802.
35. Riggs B.L. The mechanisms of estrogen regulation of bone resorption. *J Clin Invest.* 2000;106(10):1203-1204. doi: 10.1172/JCI11468.
36. Hadji P., Colli E., Regidor P.-A. Bone health in estrogen-free contraception. *Osteoporos Int.* 2019;30(12):2391-2400. doi: 10.1007/s00198-019-05103-6.
37. Berger C., Goltzman D., Langsetmo L., Joseph L., Jackson S., Kreiger N. et al. Peak bone mass from longitudinal data: implications for the prevalence, pathophysiology, and diagnosis of osteoporosis. *J Bone Miner Res.* 2010;25(9):1948-1957. doi: 10.1002/jbmr.95.
38. Kerrigan J.R., Rogol A.D. The impact of gonadal steroid hormone action on growth hormone secretion during childhood and adolescence. *Endocr Rev.* 1992;13(2):281-298. doi: 10.1210/edrv-13-2-281.
39. Hofbauer L.C., Hicok K.C., Khosla S. Effects of gonadal and adrenal androgens in a novel androgen-responsive human osteoblastic cell line. *J Cell Biochem.* 1998;71(1):96-108.
40. Hofbauer L.C., Hicok K.C., Chen D., Khosla S. Regulation of osteoprotegerin production by androgens and anti-androgens in human osteoblastic lineage cells. *Eur J Endocrinol.* 2002;147(2):269-273. doi: 10.1530/eje.0.1470269.
41. Suda T., Takahashi N., Udagawa N., Jimi E., Gillespie M.T., Martin T.J. Modulation of osteoclast differentiation and function by the new members of the tumor necrosis factor receptor and ligand families. *Endocr Rev.* 1999;20(3):345-357. doi: 10.1210/edrv.20.3.0367.
42. Veldhuis J.D., Bowers C.Y. Human GH pulsatility: an ensemble property regulated by age and gender. *J Endocrinol Invest.* 2003;26(9):799-813. doi: 10.1007/BF03345229.
43. Wang J., Zhou J., Cheng C.M., Kopchick J.J., Bondy C.A. Evidence supporting dual, IGF-I-independent and IGF-I-dependent, roles for GH in promoting longitudinal bone growth. *J Endocrinol.* 2004;180(2):247-255. doi: 10.1677/joe.0.1800247.
44. Lindsey R.C., Mohan S. Skeletal Effects of Growth Hormone and Insulin-like Growth Factor-I Therapy. *Mol Cell Endocrinol.* 2016;432:44-55. doi: 10.1016/j.mce.2015.09.017.
45. Locatelli V., Bianchi V.E. Effect of GH/IGF-1 on Bone Metabolism and Osteoporosis. *Int J Endocrinol.* 2014;2014:235060. doi: 10.1155/2014/235060.
46. Yakar S., Courtland H.-W., Clemmons D. IGF-1 and bone: New discoveries from mouse models. *J Bone Miner Res.* 2010;25(12):2543-2552. doi: 10.1002/jbmr.234.
47. Singhal V., Bouxsein M.L., Faugere M.-C., DiGirolamo D.J. Osteoblast-restricted Disruption of the Growth Hormone Receptor in Mice Results in Sexually Dimorphic Skeletal Phenotypes. *Bone Res.* 2013;1(1): 85-97. doi: 10.4248/BR201301006.
48. Wu S., Yang W., De Luca F. Insulin-Like Growth Factor-Independent Effects of Growth Hormone on Growth Plate Chondrogenesis and Longitudinal Bone Growth. *Endocrinology.* 2015;156(7):2541-2551. doi: 10.1210/en.2014-1983.
49. Zhang M., Faugere M.-C., Malluche H., Rosen C.J., Chernauek S.D., Clemens T.L. Paracrine overexpression of IGFBP-4 in osteoblasts of transgenic mice decreases bone turnover and causes global growth retardation. *J Bone Miner Res.* 2003;18(5):836-843. doi: 10.1359/jbmr.2003.18.5.836.
50. Honda Y., Landale E.C., Strong D.D., Baylink D.J., Mohan S. Recombinant synthesis of insulin-like growth factor-binding protein-4 (IGFBP-4): Development, validation, and application of a radioimmunoassay for IGFBP-4 in human serum and other biological fluids. *J Clin Endocrinol Metab.* 1996;81(4):1389-1396. doi: 10.1210/jcem.81.4.8636339.
51. Chevalley T., Strong D.D., Mohan S., Baylink D., Linkhart T.A. Evidence for a role for insulin-like growth factor binding proteins in glucocorticoid inhibition of normal human osteoblast-like cell proliferation. *Eur J Endocrinol.* 1996;134(5):591-601. doi: 10.1530/eje.0.1340591.

52. Gabbitas B., Canalis E. Cortisol enhances the transcription of insulin-like growth factor-binding protein-6 in cultured osteoblasts. *Endocrinology*. 1996;137(5):1687-1692. doi: 10.1210/endo.137.5.8612502.
53. Denger S., Bähr-Ivacevic T., Brand H., Reid G., Blake J., Seifert M. et al. Transcriptome profiling of estrogen-regulated genes in human primary osteoblasts reveals an osteoblast-specific regulation of the insulin-like growth factor binding protein 4 gene. *Mol Endocrinol*. 2008;22(2):361-379. doi: 10.1210/me.2007-0292.
54. Qin X., Wergedal J.E., Rehage M., Tran K., Newton J., Lam P. et al. Pregnancy-associated plasma protein-A increases osteoblast proliferation in vitro and bone formation in vivo. *Endocrinology*. 2006;147(12):5653-5661. doi: 10.1210/en.2006-1055.
55. Christians J.K., de Zwaan D.R., Fung S.H.Y. Pregnancy associated plasma protein A2 (PAPP-A2) affects bone size and shape and contributes to natural variation in postnatal growth in mice. *PLoS One*. 2013;8(2):e56260. doi: 10.1371/journal.pone.0056260.
58. Mohan S., Bautista C.M., Wergedal J., Baylink D.J. Isolation of an inhibitory insulin-like growth factor (IGF) binding protein from bone cell-conditioned medium: a potential local regulator of IGF action. *Proc Natl Acad Sci USA*. 1989;86(21):8338-8342. doi: 10.1073/pnas.86.21.8338.
57. Devlin R.D., Du Z., Buccilli V., Jorgetti V., Canalis E. Transgenic mice overexpressing insulin-like growth factor binding protein-5 display transiently decreased osteoblastic function and osteopenia. *Endocrinology*. 2002;143(10):3955-3962. doi: 10.1210/en.2002-220129.
58. Zhao G., Monier-Faugere M.C., Langub M.C., Geng Z., Nakayama T., Pike J.W. et al. Targeted overexpression of insulin-like growth factor I to osteoblasts of transgenic mice: increased trabecular bone volume without increased osteoblast proliferation. *Endocrinology*. 2000;141(7):2674-2682. doi: 10.1210/endo.141.7.7585.
59. DiGirolamo D.J., Mukherjee A., Fulzele K., Gan Y., Cao X., Frank S.J. et al. Mode of growth hormone action in osteoblasts. *J Biol Chem*. 2007;282(43):31666-31674. doi: 10.1074/jbc.M705219200.
60. Simpson H., Savine R., Sönksen P., Bengtsson B.A., Carlsson L., Christiansen J.S. et al. Growth hormone replacement therapy for adults: into the new millennium. *Growth Horm IGF Res*. 2002;12(1):1-33. doi: 10.1054/ghir.2001.0263.
61. Laron Z., Kauli R. Fifty seven years of follow-up of the Israeli cohort of Laron Syndrome patients-From discovery to treatment. *Growth Horm IGF Res*. 2016;28:53-56. doi: 10.1016/j.ghir.2015.08.004.
62. Bikle D., Majumdar S., Laib A., Powell-Braxton L., Rosen C., Beamer W. et al. The skeletal structure of insulin-like growth factor I-deficient mice. *J Bone Miner Res*. 2001;16(12):2320-2329. doi: 10.1359/jbmr.2001.16.12.2320.
63. Zhang W., Zhang L.C., Chen H., Tang P.F., Zhang L.H. Association between polymorphisms in insulin-like growth factor-1 and risk of osteoporosis. *Genet Mol Res*. 2015;14(3):7655-7660. doi: 10.4238/2015.July.13.10.
64. Thomas J.D.J., Monson J.P. Adult GH deficiency throughout lifetime. *Eur J Endocrinol*. 2009;161(1):S97-S106. doi: 10.1530/EJE-09-0258.
65. Claessen K.M., Kroon H.M., Pereira A.M., Appelman-Dijkstra N.M., Verstegen M.J., Kloppenburg M. et al. Progression of vertebral fractures despite long-term biochemical control of acromegaly: a prospective follow-up study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2013;98(12):4808-4815. doi: 10.1210/jc.2013-2695.
66. Mazziotti G., Bianchi A., Porcelli T., Mormando M., Maffezzoni F., Cristiano A. et al. Vertebral fractures in patients with acromegaly: a 3-year prospective study. *J Clin Endocrinol Metab*. 2013;98(8):3402-3410. doi: 10.1210/jc.2013-1460.
67. Mormando M., Nasto L.A., Bianchi A., Mazziotti G., Giampietro A., Pola E. et al. GH receptor isoforms and skeletal fragility in acromegaly. *Eur J Endocrinol*. 2014;171(2):237-245. doi: 10.1530/EJE-14-0205.
68. Nicholls J.J., Brassill M.J., Williams G.R., Bassett J.H. The skeletal consequences of thyrotoxicosis. *J Endocrinol*. 2012;213(3):209-221. doi: 10.1530/JOE-12-0059.
69. Gorka J., Taylor-Gjevre R.M., Arnason T. Metabolic and clinical consequences of hyperthyroidism on bone density. *Int J Endocrinol*. 2013;2013:638727. doi: 10.1155/2013/638727.
70. Harvey C.B., Bassett J.H., Maruvada P., Yen P.M., Williams G.R. The rat thyroid hormone receptor (TR) Deltabeta3 displays cell-, TR isoform-, and thyroid hormone response element-specific actions. *Endocrinology*. 2007;148(4):1764-1773. doi: 10.1210/en.2006-1248.
71. Gouveia C.H. [The molecular and structural effects of thyroid hormone in bones]. *Arq Bras Endocrinol Metabol*. 2004;48(1):183-195. (In Portuguese). doi: 10.1590/s0004-27302004000100021.
72. Wexler J.A., Sharretts J. Thyroid and bone. *Endocrinol Metab Clin North Am*. 2007;36(3):673-705, vi. doi: 10.1016/j.ecl.2007.04.005.
73. O'Shea P.J., Bassett J.H., Sriskantharajah S., Ying H., Cheng S.Y., Williams G.R. Contrasting skeletal phenotypes in mice with an identical mutation targeted to thyroid hormone receptor alpha1 or beta. *Mol Endocrinol*. 2005;19(12):3045-3059. doi: 10.1210/me.2005-0224.
74. Bassett J.H., Williams G.R. The skeletal phenotypes of TRalpha and TRbeta mutant mice. *J Mol Endocrinol*. 2009;42(4):269-282. doi: 10.1677/JME-08-0142.
75. Harvey C.B., O'Shea P.J., Scott A.J., Robson H., Siebler T., Shalet S.M. et al. Molecular mechanisms of thyroid hormone effects on bone growth and function. *Genet Mol Metab*. 2002;75(1):17-30. doi: 10.1006/mgme.2001.3268.
76. Bassett J.H., Williams G.R. The molecular actions of thyroid hormone in bone. *Trends Endocrinol Metab*. 2003;14(8):356-364. doi: 10.1016/s1043-2760(03)00144-9.
77. Gauthier K., Plateroti M., Harvey C.B., Williams G.R., Weiss R.E., Refetoff S. et al. Genetic analysis reveals different functions for the products of the thyroid hormone receptor alpha locus. *Mol Cell Biol*. 2001;21(14):4748-4760. doi: 10.1128/MCB.21.14.4748-4760.2001.
79. Gu W.X., Stern P.H., Madison L.D., Du G.G. Mutual up-regulation of thyroid hormone and parathyroid hormone receptors in rat osteoblastic osteosarcoma 17/2.8 cells. *Endocrinology*. 2001;142(1):157-164. doi: 10.1210/endo.142.1.7905.
79. Gruber R., Czerwenka K., Wolf F., Ho G.M., Willheim M., Peterlik M. Expression of the vitamin D receptor, of estrogen and thyroid hormone receptor alpha- and beta-isoforms, and of the androgen receptor in cultures of native mouse bone marrow and of stromal/osteoblastic cells. *Bone*. 1999;24(5):465-473. doi: 10.1016/s8756-3282(99)00017-4.
80. Bassett J.H., Williams G.R. Critical role of the hypothalamic-pituitary-thyroid axis in bone. *Bone*. 2008;43(3):418-426. doi: 10.1016/j.bone.2008.05.007.
81. Bassett J., Williams G. Role of Thyroid Hormones in Skeletal Development and Bone Maintenance. *Endocrine Reviews*. 2016;37(2):135-187. doi: 10.1210/er.2015-1106.

82. Kosińska A., Syrenicz A., Kosiński B., Garanty-Bogacka B., Syrenicz M., Gromniak E. [Osteoporosis in thyroid diseases]. *Endokrynol Pol.* 2005;56(2):185-193. (In Polish).
83. Hyppönen E., Läärä E., Reunanen A., Järvelin M.R., Virtanen S.M. Intake of vitamin D and risk of type 1 diabetes: a birth-cohort study. *Lancet.* 2001;358(9292):1500-1503. doi: 10.1016/S0140-6736(01)06580-1.
84. Reddy P.A., Harinarayan C.V., Sachan A., Suresh V., Rajagopal G. Bone disease in thyrotoxicosis. *Indian J Med Res.* 2012;135(3):277-286.
85. Abe E., Marians R., Yu W., Wu X., Ando T., Li Y. et al. TSH is a negative regulator of skeletal remodelling. *Cell.* 2003;115(2):151-162. doi: 10.1016/S0092-8674(03)00771-2.
86. Tsai J., Janson A., Bucht E., Kindmark H., Marcus C., Stark A. et al. Weak evidence of thyrotropin receptors in primary cultures of human osteoblast-like cells. *Calcif Tissue Int.* 2004;74(5):486-491. doi: 10.1007/s00223-003-0108-3.
87. Vestergaard P., Rejnmark L., Mosekilde L. Influence of hyper- and hypothyroidism, and the effects of treatment with antithyroid drugs and levothyroxine on fracture risk. *Calcif Tissue Int.* 2005;77(3):139-144. doi: 10.1007/s00223-005-0068-x.
88. González-Rodríguez L.A., Felici-Giovanini M.E., Haddock L. Thyroid dysfunction in an adult female population: A population-based study of Latin American Vertebral Osteoporosis Study (LAVOS) – Puerto Rico site. *P R Health Sci J.* 2013;32(2):57-62.
89. Clement-Lacroix P., Ormandy C., Lepescheux L., Ammann P., Damotte D., Goffin V. et al. Osteoblasts are a new target for prolactin: analysis of bone formation in prolactin receptor knockout mice. *Endocrinology.* 1999;140(1):96-105. doi: 10.1210/endo.140.1.6436.
90. Charoenphandhu N., Tudpor K., Thongchote K., Saengamart W., Puntheeranurak S., Krishnamra N. High-calcium diet modulates effects of long-term prolactin exposure on the cortical bone calcium content in ovariectomized rats. *Am J Physiol Endocrinol Metab.* 2007;292(2):E443-452. doi: 10.1152/ajpendo.00333.2006.
91. Holt E., Lupsa B., Lee G., Bassyouni H., Peery H.E. *Goodman's Basic Medical Endocrinology*, 5th edn. Elsevier; 2021. 552 p.
92. Momsen G., Schwarz P. A mathematical/physiological model of parathyroid hormone secretion in response to blood-ionized calcium lowering in vivo. *Scand J Clin Lab Invest.* 1997;57(5):381-394. doi: 10.3109/00365519709084585.
93. Krishnamra N., Seemoung J. Effects of acute and long-term administration of prolactin on bone 45Ca uptake, calcium deposit, and calcium resorption in weaned, young, and mature rats. *Can J Physiol Pharmacol.* 1996;74(10):1157-1165.
94. Thongchote K., Charoenphandhu N., Krishnamra N. High physiological prolactin induced by pituitary transplantation decreases BMD and BMC in the femoral metaphysis, but not in the diaphysis of adult female rats. *J Physiol Sci.* 2008;58(1):39-45. doi: 10.2170/physiolsci.RP015007.
95. Mazziotti G., Frara S., Giustina A. Pituitary Diseases and Bone. *Endocr Rev.* 2018;39(4):440-488. doi: 10.1210/er.2018-00005.
96. Wildburger R., Zarkovic N., Tonkovic G., Skoric T., Frech S., Hartleb M. et al. Post-traumatic hormonal disturbances: prolactin as a link between head injury and enhanced osteogenesis. *J Endocrinol Invest.* 1998;21(2):78-86. doi: 10.1007/BF03350319.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Миromanov Александр Михайлович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Чита, Россия
e-mail: miromanov_a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>

Гусев Кирилл Аркадьевич — канд. мед. наук, ассистент кафедры травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «Читинская государственная медицинская академия» Минздрава России, г. Чита, Россия
e-mail: kirill.gusev.86@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3375-9956>

Заявленный вклад авторов

Миromanov А.М. — идея и разработка концепции обзора, подбор, анализ и интерпретация результатов поиска публикаций по теме статьи, окончательная редакция.

Гусев К.А. — поиск, анализ, описание публикаций, написание текста статьи.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS' INFORMATION:

Aleksandr M. Miromanov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Chita State Medical Academy, Chita, Russia
e-mail: miromanov_a@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1432-1844>

Kirill A. Gusev — Cand. Sci. (Med.), Chita State Medical Academy, Chita, Russia
e-mail: kirill.gusev.86@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0003-3375-9956>



Обзорная статья
УДК 616.728.3-007.248
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1580>

Полногеномные исследования остеоартроза коленного сустава: обзор литературы

В.Б. Новаков^{1,2}, О.Н. Новакова², М.И. Чурносков²

¹ ОГБУЗ «Городская больница № 2 г. Белгорода», г. Белгород, Россия

² ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет»
Минобрнауки России, г. Белгород, Россия

Реферат

Актуальность. Остеоартроз (ОА) коленного сустава — это многофакторное заболевание, являющееся результатом взаимодействия множества средовых, эпигенетических и генетических факторов риска, причем на долю последних приходится от 40 до 65%. Генетические основы ОА коленного сустава на основе полногеномного поиска ассоциаций (GWAS) активно изучаются многими научными коллективами мира. Полученные результаты часто противоречивы и неоднозначны, что касается и проведенных репликативных исследований ОА коленного сустава. Это диктует необходимость проведения дополнительных репликативных исследований в различных популяциях, в том числе в России. **Материал и методы.** Поиск публикаций был выполнен в электронных базах PubMed, PubMedCentral, eLIBRARY, в каталоге GWAS за период с 2008 г. по настоящее время по ключевым словам: остеоартроз коленного сустава (knee osteoarthritis), GWAS-исследования (GWAS studies), гены-кандидаты (candidate genes). **Результаты.** За период с 2008 по 2021 г. выполнено 15 полногеномных исследований ОА коленного сустава (8 GWAS, 6 метаанализов GWAS данных, 1 исследование — сочетание GWAS и метаанализа GWAS данных), в результате которых установлено 78 полиморфных локусов, ассоциированных с риском развития остеоартроза коленного сустава при $p \leq 5 \times 10^{-8}$. Подавляющее большинство этих локусов (62 из 78 SNPs, 79%) показали GWAS-значимые ассоциации с ОА в метаанализах GWAS данных и только 16 локусов (21%) — в GWAS-исследованиях. Почти 95% GWAS-значимых для ОА коленного сустава локусов (74 SNPs) выявлены на выборках европеоидного происхождения. 21 из 78 GWAS-значимых SNPs ассоциированы с ОА коленного сустава изолированной локализации, а 57 SNPs — с ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка). Все полногеномные исследования ОА коленного сустава и метаанализы GWAS данных проведены за рубежом на выборках из различных зарубежных популяций, причем в эти исследования выборки из Российской Федерации не были включены. Лишь два GWAS-значимых для ОА полиморфных локуса (rs143384 гена *GDF5* для ОА коленного сустава изолированной локализации и rs3771501 гена *TGFA* для ОА любой локализации) реплицированы на полногеномном уровне значимости ($p \leq 5 \times 10^{-8}$) в двух различных исследованиях. **Заключение.** Полученные материалы о GWAS-значимых локусах могут быть использованы как при отборе полиморфизмов при репликативных исследованиях ОА в различных популяциях России, так и для расширения представлений о молекулярно-генетических механизмах развития заболевания.

Ключевые слова: остеоартроз коленного сустава, GWAS, полногеномный поиск ассоциаций, гены-кандидаты.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И. Полногеномные исследования остеоартроза коленного сустава: обзор литературы. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):131-144. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1580>.

Cite as: Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I. [Genome-wide Studies of Knee Osteoarthritis: Review]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):131-144. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2021-27-1580>.

Новаков Виталий Борисович / Vitaly B. Novakov; v.novakov@bk.ru

Рукопись получена: 18.01.2021. Рукопись одобрена: 06.08.2021. Статья опубликована онлайн: 27.10.2021.
Submitted: 18.01.2021. Accepted: 06.08.2021. Published Online: 27.10.2021.

© Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И., 2021
© Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I., 2021



Genome-wide Studies of knee Osteoarthritis: Review

Vitaly B. Novakov^{1,2}, Olga N. Novakova², Mikhail I. Churnosov²

¹ City Hospital No. 2 of Belgorod, Belgorod, Russia

² Belgorod National Research University, Belgorod, Russia

Abstract

Background. Knee osteoarthritis (OA) is a multifactorial disease resulting from the interaction of many environmental, epigenetic and genetic risk factors, and the latter account for 40% to 65%. Genetic bases of the knee OA based on genome-wide association study (GWAS) are being actively studied by many scientific teams around the world. At the same time, the results obtained are often contradictory and ambiguous, as for the conducted replicative studies of knee OA. This dictates the need for additional replicative studies in various populations, including populations of Russia. The aim of the study was to analyze genome-wide studies of knee OA and to establish GWAS-significant polymorphic loci associated with OA. **Materials and Methods.** The search for publications was carried out in the electronic databases PubMed, PubMedCentral, eLIBRARY, in the GWAS catalog for the period from 2008 to the present by the keywords: knee osteoarthritis, GWAS studies, candidate genes. **Results.** Firstly, for the period from 2008 to 2021, 15 genome-wide studies of knee OA were performed (8 GWAS, 6 meta-analyses of GWAS data, 1 study — a combination of GWAS and meta-analysis of GWAS data), as a result of which 78 polymorphic loci were found associated with the risk of developing osteoarthritis of the knee joint at $p \leq 5 \times 10^{-8}$. Secondly, the vast majority of these loci (62 out of 78 SNPs, 79%) showed GWAS-significant associations with OA in meta-analyses of GWAS data and only 16 loci (21%) in GWAS studies. Thirdly, almost 95% of GWAS-significant loci for knee OA (74 SNPs) were found in samples of Caucasian origin. Fourthly, 21 out of 78 GWAS-significant SNPs are associated with isolated knee OA, and 57 SNPs are associated with knee, hip and hand OA (mixed sample). Fifth, all genome-wide studies of knee OA and meta-analyses of GWAS data were carried out abroad on samples from various foreign populations, and samples from the Russian Federation were not included in these studies. Sixth, only two GWAS-significant polymorphic loci for OA (rs143384 of the *GDF5* gene for knee OA isolated localization and rs3771501 of the *TGFA* gene for OA of any localization) were replicated at the whole genome level of significance ($p \leq 5 \times 10^{-8}$) in two different studies. **Conclusion.** The main genome-wide studies of knee OA were reviewed and GWAS-significant polymorphisms associated with OA were identified. The obtained materials on GWAS-significant loci can be used both in the selection of polymorphisms in replicative studies of OA in various populations of Russia, and for expanding the understanding of the molecular genetic mechanisms of the disease development.

Keywords: knee osteoarthritis, GWAS, genome-wide study, candidate genes.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Остеоартроз (ОА) является наиболее распространенным заболеванием суставов, которое чаще всего поражает тазобедренный и коленный суставы, позвоночник и мелкие суставы кисти и стопы [1]. ОА вызывает потерю суставного хряща, образование остеофитов, изменения в субхондральной кости и синовит. Распространенность ОА неуклонно растет во всем мире, что связывают с увеличением продолжительности жизни населения, ростом ожирения, а также с низким качеством лечебно-профилактических мероприятий [2, 3]. По данным ВОЗ, 9,6% мужчин и 18,0% женщин старше 60 лет во всем мире имеют симптоматический ОА [4]. Распространенность ОА среди жителей России в возрасте 18 лет и старше составляет 13% [5].

ОА приводит к существенному снижению работоспособности и инвалидизации людей тру-

доспособного возраста [6]. Во всем мире с каждым годом наблюдается неуклонное увеличение материальных затрат как со стороны пациентов, так и государства на тотальное эндопротезирование суставов [7]. Согласно данным отечественных и зарубежных ученых, доля пациентов, не удовлетворенных исходом тотального эндопротезирования коленного сустава, может составлять 17–25% [8, 9, 10, 11, 12, 13]. При этом ревизионные вмешательства в течение первых 2–5 лет после первичного эндопротезирования проводятся в 60–80% случаев [14, 15]. Поэтому хотя тотальное эндопротезирование и признают одним из эффективных методов лечения дегенеративных, системных и посттравматических заболеваний коленного сустава [10], статистика говорит о том, что современные технологии эндопротезирования не позволяют в полной мере решить данную проблему. Это диктует необходимость даль-

нейшего развития и совершенствования подходов к решению этой проблемы, в том числе с использованием генетических данных.

Остеоартроз — это многофакторное заболевание, являющееся результатом взаимодействия множества средовых, эпигенетических и генетических факторов риска [16], причем на долю генетической компоненты приходится от 40 до 65% [1, 17]. В настоящее время значительное количество зарубежных исследователей [18, 19, 20, 21, 22, 23] и ряд отечественных ученых [24, 25, 26, 27, 28, 29] занимаются изучением генетических основ возникновения, развития, прогрессирования остеоартроза коленного сустава.

При изучении вклада генетических факторов в формирование и развитие многих многофакторных заболеваний, к которым относится и остеоартроз [30], используется полногеномный поиск ассоциаций (GWAS) [31]. Генетические основы ОА на основе GWAS активно изучаются различными научными коллективами. При этом следует отметить, что полученные данные неоднозначны, нередко противоречивы и имеют низкую воспроизводимость в других популяциях мира.

Цель работы — провести анализ имеющихся полногеномных исследований ОА коленного сустава и установить GWAS-значимые полиморфные локусы, ассоциированные с ОА коленного сустава.

Материал и методы

Поиск англо- и русскоязычных публикаций по полногеномным, а также репликативным исследованиям ОА коленного сустава за период с 2008 г. по настоящее время был выполнен в каталоге GWAS, в электронных базах данных PubMed, PubMedCentral и eLIBRARY по ключевым словам: остеоартроз коленного сустава (knee osteoarthritis), GWAS-исследования (GWAS studies), гены-кандидаты (candidate genes).

Результаты

На момент написания обзора (апрель 2021 г.) в каталоге полногеномных исследований National Human Genome Research Institute (GWAS) (<https://www.ebi.ac.uk/gwas/>) представлены результаты 24 работ, посвященных ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки, в результате которых выявлено более 250 GWAS-значимых однонуклеотидных полиморфизмов (SNPs), ассоциированных с развитием ОА. Стоит отметить, что 15 из 24 исследований посвящены изучению роли генетических факторов в развитии ОА коленного сустава [18, 19, 20, 21, 22, 23, 32, 33, 34, 35, 36, 37, 38, 39, 40], из которых 8 работ являются «классическими» GWAS-исследованиями [19, 20, 21, 32, 33, 35, 38, 39], 6 — метаанализами GWAS-данных [18, 22, 23, 30, 37, 40], в одной работе представлены

результаты как полногеномного исследования ОА коленного сустава, так и метаанализа GWAS-данных [34]. Из 15 полногеномных исследований ОА коленного сустава в 7 работах рассматривался только ОА изолированной локализации, в 5 работах — ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка) и в 3 работах изучался как ОА коленного сустава изолированной локализации, так и ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка). В результате этих исследований выявлено 78 SNPs, GWAS-значимых для ОА.

Полногеномные исследования остеоартрита коленного сустава изолированной локализации

В результате 10 проведенных к настоящему времени полногеномных исследований ОА коленного сустава изолированной локализации (5 GWAS, 4 метаанализа GWAS-данных, 1 исследование — сочетание GWAS и метаанализа GWAS-данных) статистически значимые данные были получены в 7 исследованиях (2 GWAS, 4 метаанализа GWAS-данных, 1 исследование — сочетание GWAS и метаанализа GWAS-данных).

Первое GWAS-исследование ОА коленного сустава было опубликовано А.М. Valdes с соавторами в 2008 г. [33]. В данной работе на выборках из 1534 больных ОА коленного сустава и 2620 индивидуумов контрольной группы европейского происхождения (из стран Европы и США) наиболее значимая ассоциация установлена для rs4140564 гена *PTGS2* с ОА коленного сустава ($p = 6,9 \times 10^{-07}$).

В работе Y. Miyamoto с соавторами на выборках японцев из 740 больных ОА коленного сустава и 1289 индивидуумов контрольной группы был установлен полиморфный локус rs7639618 гена *DVWA*, показавший наиболее значимые ассоциации с ОА ($p = 7,3 \times 10^{-08}$) [32].

В рамках GWAS-исследования М. Nakajima с соавторами, в общей сложности включающего около 4800 японцев и 2000 европейцев, был выявлен однонуклеотидный полиморфизм (rs7775228), ассоциированный с ОА коленного сустава у японцев [34].

Первый этап GWAS-исследования консорциума arcOGEN (Arthritis Research UK Osteoarthritis Genetics), включающий изучение 514898 SNPs на выборках из 3177 больных ОА коленного и тазобедренного суставов и 4894 человек контрольной группы, имеющих европейское происхождение, а также репликативные исследования (*in silico* анализ 44449 участников и *de novo* анализ 14534 больных и контроля) не выявили статистически значимых ($p \leq 5 \times 10^{-08}$) ассоциаций [38].

Второй этап крупномасштабного GWAS-исследования консорциума arcOGEN, выполненного на выборках из 7410 больных ОА, 80% из ко-

торых получили тотальное эндопротезирование, и 11 009 индивидуумов контрольной группы, а также репликативные исследования (выполнены на выборках из 7473 больных ОА и 42 938 индивидуумов контроля европейского происхождения) позволили выявить статистически значимые ассоциации полиморфизма rs12107036 с тотальным эндопротезированием у больных ОА коленного сустава ($p = 6,71 \times 10^{-08}$) [39].

M.S. Yau с соавторами провели GWAS-исследование ОА у европейцев северо-американского происхождения (3898 больных ОА коленного сустава и 3168 индивидуумов контрольной группы), которое включало в себя 1-й этап исследования на выборках OAI (Osteoarthritis Initiative) и JoCo (Johnston County Osteoarthritis Project) (2672 больных и 1776 человек контроля), а также 2-й этап исследования (репликация проведена на выборках MOST (Multicenter Osteoarthritis Study) и GO Genetics of Osteoarthritis Study) (1226 больных ОА и 1392 человека контрольной группы) [19]. При объединении двух этапов исследования не было выявлено статистически значимых ($p < 5 \times 10^{-8}$) ассоциаций с ОА коленного сустава. Наиболее достоверный уровень значимости был установлен для rs4867568 гена *LSP1P3* ($p = 3,02 \times 10^{-06}$). Также были выявлены ассоциации ОА коленного сустава с ранее установленными локусами (rs143383, rs835487 и rs8044769), но уровень значимости для них не достиг полногеномного ($p < 5 \times 10^{-8}$).

Метаанализы GWAS-данных остеоартрита коленного сустава изолированной локализации

Метаанализ GWAS-данных M. Nakajima с соавторами на выборках из европейцев и японцев выявил однонуклеотидный полиморфизм (rs10947262), показавший значимые ассоциации с ОА коленного сустава ($p = 5,1 \times 10^{-09}$) [34].

В работе E. Evangelou с соавторами в результате метаанализа 4 GWAS-исследований на выборках из 6709 больных ОА коленного сустава и 44439 индивидуумов контрольной группы были установлены еще два полиморфных локуса rs4730250 гена *DUS4L* и rs10953541 гена *BCAP29*, которые ассоциированы с ОА коленного сустава у лиц европеоидного происхождения ($p = 9,17 \times 10^{-09}$ и $3,90 \times 10^{-08}$ соответственно) [37].

Метаанализ GWAS-данных Y. Liu с соавторами, проведенный на выборке из 1217 афроамериканцев с ОА коленного сустава, выявил значимые ассоциации аллеля С локуса LINC01006 (rs7792864) с данным заболеванием. Ассоциации пяти других однонуклеотидных полиморфизмов (rs145965284, rs78571182, rs76983122, rs4920343, rs9783397) с ОА коленного сустава достигали уровня значимости, близкого к полногеномному ($p = 5 \times 10^{-08}$) [40]. Этой же группой ученых было проведено репликатив-

ное исследование 12 SNPs, показавших значимые ассоциации с ОА в европейских популяциях в ранее проведенном исследовании [39]. Установлено, что ни один из рассмотренных ранее SNPs не ассоциирован с ОА коленного сустава у афроамериканцев [40].

В самом крупном на сегодняшний день (апрель 2021) метаанализе GWAS-данных (изучена выборка из 17 151 больных ОА тазобедренного сустава, 23 877 пациентов с ОА коленного сустава и около 562 000 индивидуумов контрольной группы) U. Styrkarsdottir с соавторами выявлены 22 полиморфных локуса, ассоциированные с ОА, 16 из которых были новыми (12 SNPs для ОА тазобедренного сустава и 4 SNPs для ОА коленного сустава: rs2061026, rs1078301, rs1060105, rs34195470) [22].

В метаанализе GWAS-данных I. Tachmazidou с соавторами (рассматривалась выборка из 77 052 больных ОА коленного сустава, ОА тазобедренного сустава, ОА коленного и/или тазобедренного суставов, ОА любой локализации и 378 169 индивидуумов контрольной группы) установлены статистически значимые ($p < 5 \times 10^{-8}$) ассоциации с ОА коленного сустава 9 SNPs, причем 7 SNPs были новыми [23].

Таким образом, в результате 7 полногеномных исследований (2 GWAS, 4 метаанализа GWAS-данных, 1 исследование — сочетание GWAS и метаанализа GWAS-данных) было выявлено 21 SNP, ассоциированных с ОА коленного сустава изолированной локализации. Следует отметить, что, во-первых, подавляющее большинство этих ОА-значимых локусов — 18 SNPs (85%) установлены в результате метаанализов GWAS-данных и лишь 3 SNPs показали связь с ОА коленного сустава изолированной локализации в GWAS-исследованиях. Во-вторых, 17 из 21 GWAS-значимых для ОА коленного сустава полиморфных локусов (более 80%) были установлены на выборках европеоидного происхождения, и лишь 4 SNPs выявлены на смешанных выборках (европейцы, японцы, афроамериканцы). В-третьих, установлен один локус rs143384 гена *GDF5*, показавший значимые ассоциации с ОА коленного сустава в двух метаанализах GWAS-данных для европейских популяций. Следует отметить достаточно высокий уровень значимости этих ассоциаций — $p = 4,77 \times 10^{-23}$ [23] и $p = 1,40 \times 10^{-19}$ [22].

С помощью современных мировых баз по функциональной геномике [41] нами изучены функциональные эффекты полиморфного локуса rs143384 гена *GDF5*: регуляторный потенциал (использовалась онлайн программа HaploReg v 4.1 (<http://archive.broadinstitute.org/mammals/haploreg/haploreg.php>), влияние полиморфизма на экспрессию и альтернативный сплайсинг генов

(использовались данные проекта Genotype-Tissue Expression (GTEx) (<http://www.gtexportal.org/>)). Установлено, что полиморфизм rs143384, расположенный в 5'-UTR области гена *GDF5*, имеет выраженный регуляторный потенциал: находится в эволюционно консервативном участке ДНК, регионе мотива ДНК, являющегося сайтом связывания с транскрипционным фактором *Ascl2*, в области гистонов, маркирующих промоторы и энхансеры в различных тканях и органах, имеющих патогенетическую значимость для ОА (первичные клетки остеобластов, фибробласты, жировая ткань и т.д.), в регионе гиперчувствительности к ДНКазе 1 в 16 культурах клеток/тканях (клетки предшественники нейронов, фибробласты и т.д.). Согласно данным GTEx проекта выявлено, что полиморфизм rs143384 значимо ассоциирован с уровнем экспрессии 21 гена (*CEP250*, *CPNE1*, *EDEM2*, *EIF6*, *EPB41L1*, *ERGIC3*, *FAM83C*, *FER1L4*, *GDF5*, *MAP1LC3A*, *MMP24*, *MMP24-AS1*, *MYH7B*, *NFS1*, *NORAD*, *PROCR*, *RP4-614O4.13*, *RPL36P4*, *SCAND1*, *TRPC4AP*, *UQCC1*) в более чем 20 органах и тканях, в том числе патогенетически значимых для развития ОА: *UQCC1* и *RPL36P4* в фибробластах ($p = 2,7E-50$ и $p = 1,3E-10$ соответственно), *GDF5* в щитовидной железе ($p = 1,2E-10$), *CPNE1* в крови ($p = 3,5E-11$), *CPNE1* в жировой ткани ($p = 1,4E-10$) и т.д. Также локус rs143384 связан с уровнем альтернативного сплайсинга транскриптов 8 генов (*CEP250*, *EIF6*, *ERGIC3*, *FER1L4*, *GSS*, *RBM39*, *TRPC4AP*, *UQCC1*) в разных органах и тканях и в том числе, вовлеченных в патофизиологию ОА: *UQCC1* в скелетных мышцах и большеберцовом нерве ($p = 5,6E-65$ и $p = 1,0E-9$ соответственно), *ERGIC3* в подкожной жировой клетчатке ($p = 8,7E-10$) и т.д.

Следует отметить, что GWAS-значимый «рисковый» для ОА коленного сустава изолированной локализации аллель А rs143384 гена *GDF5* (OR = 1,1) [22, 23] разнонаправленно ассоциирован с транскрипционной активностью и альтернативным сплайсингом разных генов. Так, данный аллель связан с низкой экспрессией генов *MAP1LC3A* ($\beta = -0,097...-0,16$), *RPL36P4* ($\beta = -0,26...-0,40$), *GDF5* ($\beta = -0,14...-0,45$) и др., высокой транскрипционной активностью генов *CPNE1* ($\beta = 0,19-0,26$), *PROCR* ($\beta = 0,11-0,16$), *FAM83C* ($\beta = 0,13-0,23$), *UQCC1* ($\beta = 0,12-0,51$) и др., высоким уровнем альтернативного сплайсинга генов *CEP250* ($\beta = 0,27-0,48$), *ERGIC3* ($\beta = 0,24-0,49$), *TRPC4AP* ($\beta = 0,23-0,27$) и др., низким уровнем альтернативного сплайсинга генов *FER1L4* ($\beta = -0,34...-0,42$), *UQCC1* ($\beta = -0,28...-0,71$) и др., низкой афинностью регуляторного мотива ДНК к фактору транскрипции *Ascl2* ($\Delta LOD = -1,0$).

Таким образом, полиморфный локус rs143384 гена *GDF5* характеризуется выраженными эпигенетическими эффектами, ассоциирован с уровнем

экспрессии и альтернативного сплайсинга более 20 различных генов в разных органах и тканях организма, и в том числе вовлеченных в патогенез ОА коленного сустава, что может быть медико-биологической основой ассоциаций данного полиморфного локуса с заболеванием, установленных в полногеномных исследованиях.

Генетические исследования остеоартрита коленного, тазобедренного суставов и суставов руки, выполненные на смешанных выборках

К настоящему времени проведено 8 полногеномных исследований ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки на смешанных выборках больных (4 GWAS и 4 метаанализа GWAS-данных).

В исследовании Н.Ж. Kerkhof с соавторами, выполненном на выборках европейского происхождения в объеме 1341 больного ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки, а также 3496 индивидуумов контрольной группы, был установлен минорный аллель С rs3815148 гена *COG5* (7q22), являющийся фактором риска ОА коленного сустава и/или кисти ($p = 8 \times 10^{-08}$) [35]. Также выявлено, что данный SNP находится в неравновесии по сцеплению с rs3757713, который связан с уровнями экспрессии гена *GPR22* в культуре клеток лимфоцитов ($p = 4 \times 10^{-12}$).

GWAS-исследование консорциума arcOGEN позволило выявить статистически значимые ассоциации пяти полиморфных локусов с остеоартрозом при необходимом уровне значимости $p < 5 \times 10^{-8}$ [39]. Наиболее достоверные ассоциации с ОА у больных, получивших тотальное эндопротезирование коленного и тазобедренного суставов, установлены для rs6976 гена *GLT8D1* ($p = 7,24 \times 10^{-11}$), находящегося в неравновесии по сцеплению с rs11177 гена *GNL3*, который также показал значимые ассоциации с ОА. Следует отметить, что в данной работе реплицирован на полногеномном уровне значимости GWAS-значимый для ОА коленного сустава изолированной локализации полиморфизм rs12107036 гена *TP63*.

В работе Е. Casalone с соавторами на выборках из 23 304 больных ОА коленного и/или тазобедренного сустава после тотального эндопротезирования (ТЭП), и 99 406 человек контрольной группы выявлен rs10116772 гена *GLIS3*, ассоциированный с ОА коленного и/или тазобедренного суставов у больных после ТЭП [21].

В GWAS-исследовании Е. Zengini с соавторами (рассматривалась выборка из 30 727 больных ОА и 297 191 человек контрольной группы) были установлены 5 новых GWAS-значимых локусов, ассоциированных с ОА: rs2820436, rs375575359, rs11335718, rs3771501, rs116882138 [20].

Метаанализы GWAS-данных по остеоартриту коленного, тазобедренного суставов и суставов руки, полученные на смешанных выборках

Опираясь на результаты ранее проведенного GWAS-исследования консорциумом arcOGEN [38], A.G. Day-Williams с соавторами выполнили метаанализ GWAS-данных на выборках из 19041 больного ОА и 24504 индивидуумов контрольной группы европейского происхождения, в результате которого был обнаружен полиморфный локус rs11842874 гена *MCF2L*, ассоциированный с ОА ($p = 2,1 \times 10^{-08}$) [36].

Метаанализ данных репликативных исследований на выборках консорциума arcOGEN, UK Biobank и deCODE, в общей сложности включающих 23425 больных ОА и 236814 индивидуумов контрольной группы, выполненный S. Hackinger с соавторами, выявил rs12901071, находящийся в интроне гена *SMAD3*, ассоциированный с ОА ($p = 3,12 \times 10^{-10}$) [18].

В метаанализе GWAS-данных U. Styrkarsdottir с соавторами выявлено 8 SNPs, ассоциированных с ОА любой локализации [22], из которых 3 SNPs (rs2061026, rs1078301, rs143384) также показали GWAS-значимые ассоциации с ОА коленного сустава изолированной локализации.

Крупномасштабный метаанализ GWAS-данных I. Tachmazidou с соавторами установил 43 SNPs, GWAS-значимых для ОА: 9 SNPs ассоциированы с ОА коленного сустава изолированной локализации, 8 SNPs с ОА коленного и/или тазобедренного суставов, 26 SNPs — с ОА любой локализации [23].

Таким образом, в результате 8 полногеномных исследований (4 GWAS-исследования и 4 метаанализа GWAS-данных) установлено 57 однонуклеотидных полиморфизмов, ассоциированных с ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка). Стоит отметить, что, во-первых, более 77% GWAS-значимых локусов (44 SNPs), ассоциированных с ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка), было выявлено в метаанализах GWAS-данных, 13 SNPs установлены в результате 4 GWAS-исследований. Во-вторых, абсолютно все полиморфные локусы, ассоциированные с ОА, установлены на выборках европеоидного происхождения. В-третьих, полиморфизм rs3771501 гена *TGFA* показал GWAS-значимые ассоциации с ОА любой локализации как в GWAS-исследовании E. Zengini с соавторами, так и в метаанализе GWAS-исследований I. Tachmazidou с соавторами.

В основе установленных на полногеномном уровне значимости ($p < 5 \times 10^{-08}$) ассоциаций полиморфного маркера rs3771501 гена *TGFA* с ОА могут лежать его значимые функциональные эффекты. Материалы, представленные в базе данных

HaploReg (v 4.1) свидетельствуют о важном регуляторном потенциале rs3771501 гена *TGFA*, ассоциированного с развитием ОА. Выявлено, что полиморфный локус rs3771501, расположенный в интроне гена *TGFA*, находится в эволюционно консервативном участке, регионе гистона H3K4me1, маркирующего энхансеры в различных тканях и органах, в том числе играющих важную роль в патогенезе ОА (культура клеток хондроцитов, в тканях головного мозга и т.д.). С помощью онлайн программы GTEXportal *in silico* выявлена связь полиморфизма rs3771501 с уровнем экспрессии гена *TGFA* в коре головного мозга и гипоталамусе ($p = 2,9E-11$ и $p = 8,5E-09$ соответственно), в большеберцовом нерве ($p = 1,6E-04$) и т.д. При этом рисковый для ОА аллель А rs3771501 (OR = 1,05) [23] ассоциирован с низкой транскрипционной активностью гена *TGFA* (в базе данных GTEX проекта коэффициент линейной регрессии представлен для референсного аллеля G rs3771501, $\beta = 0,09-0,31$).

Таким образом, генетический полиморфизм rs3771501 гена *TGFA* имеет значимые функциональные эффекты демонстрирует выраженный эпигенетический потенциал, ассоциирован с уровнем экспрессии гена *TGFA* в тканях и органах, имеющих важную роль в патогенезе ОА. Это, возможно, и определяет установленную связь изученного полиморфизма с ОА в полногеномных исследованиях.

Итоговые результаты по GWAS-значимым полиморфным локусам, ассоциированным с ОА коленного сустава, приведены в таблицах 1 и 2 (представлены данные по ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки, полученные на смешанных выборках). Стоит отметить, что, во-первых, за период с 2008 по 2021 г. выполнено 15 полногеномных исследований ОА коленного сустава (8 GWAS, 6 метаанализов GWAS-данных, 1 исследование — сочетание GWAS и метаанализа GWAS-данных), в результате которых установлено 78 полиморфных локусов, ассоциированных с риском развития остеоартроза коленного сустава при $p \leq 5 \times 10^{-08}$. Во-вторых, подавляющее большинство этих локусов (62 из 78 SNPs, 79%) показали GWAS-значимые ассоциации с ОА в метаанализах GWAS-данных и только 16 локусов (21%) — в GWAS-исследованиях. В-третьих, почти 95% GWAS-значимых для ОА коленного сустава локусов (74 SNPs) выявлены на выборках европеоидного происхождения. В-четвертых, 21 из 78 GWAS-значимых SNPs ассоциированы с ОА коленного сустава изолированной локализации, а 57 SNPs — с ОА коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка). В-пятых, все полногеномные исследования ОА коленного сустава

и метаанализы GWAS-данных проведены за рубежом на выборках из различных зарубежных популяций, причем в эти исследования выборки из Российской Федерации не были включены. В-шестых, лишь два GWAS-значимых для ОА полиморфных локуса (rs143384 гена *GDF5* для ОА коленного сустава изолированной локализации и rs3771501 гена *TGFA* для ОА любой локализации) реплицированы на полногеномном уровне значимости ($p \leq 5 \times 10^{-8}$) в двух различных исследованиях (см. табл. 1, 2). Стоит отметить, что в этих исследованиях «рисковое» значение для развития ОА имеют аллель А rs3771501 гена *TGFA* (OR = 1,05) и аллель А rs143384 гена *GDF5* (OR = 1,10). Согласно результатам нашего *in silico* анализа, эти полиморфные локусы демонстрируют выраженные функциональные эффекты (имеют значимый регуляторный потенциал, связаны с уровнем экспрессии и альтернативного сплайсинга разных генов в различных органах и тканях, в том числе вовлеченных

в патофизиологию ОА). В-седьмых, полученные GWAS-данные указывают на наличие двух регионов хромосом (6p21.32 и 7q22.3), в которых располагается наибольшее количество GWAS-значимых для ОА полиморфных локусов — по 3 SNPs в каждом: 6p21.32 (rs10947262, rs7775228, rs9277552) и 7q22.3 (rs4730250, rs10953541, rs3815148). В-восьмых, при увеличении объема исследуемых выборок больных и контроля количество выявленных GWAS-значимых полиморфизмов, ассоциированных с ОА, также возрастает. Так, например, в первых GWAS-исследованиях, проведенных в среднем на выборках около 6 тыс. больных и контроля, выявлялись 1-2 GWAS-значимых локуса [32, 33], в то время как в метаанализах GWAS-данных ОА коленного сустава последних лет, выполненных на выборках около 500 тыс. больных и 450 тыс. контроля, было установлено уже 43 GWAS-значимых полиморфизма, девять из которых ассоциированы с ОА коленного сустава изолированной локализации [23].

Таблица 1

Однонуклеотидные полиморфизмы, ассоциированные с остеоартритом коленного сустава изолированной локализации по данным полногеномных исследований

№ п/п	Полиморфизм	Локус	Ген	Локализация ОА	OR (95% CI)	p	Популяция	Источник
$p \leq 5 \times 10^{-8}$								
1	rs7639618-T	3p24.3	<i>DVWA</i>	ОАК	1,54 (1,32–1,81)	$7,3 \times 10^{-8}$	Японская	[32]*
2	rs10947262-C	6p21.32	<i>BTNL2, TSBP1-AS1</i>	ОАК	1,31 (1,20–1,44)	$5,1 \times 10^{-9}$	Японская Европейская	[34]**
3	rs7775228-C	6p21.32	<i>HLA-DQB1</i>	ОАК	1,34 (1,21–1,49)	$2,43 \times 10^{-8}$	Японская	[34]*
4	rs4730250-G	7q22.3	<i>DUS4L</i>	ОАК	1,17 (1,11–1,24)	$9,17 \times 10^{-9}$	Европейская	[37]**
5	rs10953541-T	7q22.3	<i>BCAP29</i>	ОАК	1,17 (1,10–1,23)	$3,90 \times 10^{-8}$		
6	rs12107036-G	3q28	<i>TP63</i>	ТЭП ОАК у женщин	1,21 (1,13–1,29)	$6,71 \times 10^{-8}$	Европейская	[39]*
7	rs7792864-C	7q36.3	<i>LINC01006</i>	ОАК	2,35 (1,77–3,13)	$4,11 \times 10^{-9}$	Афроамериканская	[40]**
8	rs2061026-A	2p22.3	<i>LTBP1</i>	ОАК	1,06 (1,05–1,09)	$1,40 \times 10^{-11}$		
9	rs1078301-T	9q32	<i>COL27A1, KIF12</i>	ОАК	1,07 (1,05–1,10)	$1,40 \times 10^{-10}$		
10	rs1060105-C	12q24.31	<i>SBNO1</i>	ОАК	1,07 (1,04–1,10)	$1,90 \times 10^{-8}$	Европейская	[22]**
11	rs34195470-G	16q22.1	<i>WWP2</i>	ОАК	1,07 (1,05–1,09)	$2,70 \times 10^{-11}$		
12	rs143384-A	20q11.22	<i>GDF5</i>	ОАК	1,10 (1,07–1,12)	$1,40 \times 10^{-19}$		
13	rs12470967-A	2q32.3	<i>AC098872.1</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	$1,50 \times 10^{-8}$		
14	rs35611929-A	5q14.1	<i>AP3B1</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	$1,21 \times 10^{-8}$	Европейская	[23]**
15	rs56116847-A	12q24.31	<i>SBNO1</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	$3,19 \times 10^{-10}$		

Окончание таблицы 1

№ п/п	Полиморфизм	Локус	Ген	Локализация ОА	OR (95% CI)	p	Популяция	Источник
16	rs35912128-AT	15q21.2	<i>USP8</i>	ОАК	1,08 (1,05–1,11)	2,18×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[23]**
17	rs4775006-A	15q21.3	<i>POLR2M, ALDH1A2</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	8,40×10 ⁻¹⁰		
18	rs6499244-A	16q22.1	<i>NFAT5</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	3,88×10 ⁻¹¹		
19	rs35087650-ATT	17p13.3	<i>SMG6</i>	ОАК	1,07 (1,05–1,1)	1,18×10 ⁻⁰⁹		
20	rs8067763-G	17q24.3	<i>ROCR, AC005144.1</i>	ОАК	1,06 (1,04–1,08)	2,39×10 ⁻⁰⁹		
21	rs143384-A	20q11.22	<i>GDF5</i>	ОАК	1,10 (1,08–1,12)	4,77×10 ⁻²³		

ОА — остеоартроз; ОАК — остеоартроз коленного сустава; ТЭП — тотальное эндопротезирование; * — GWAS-исследование; ** — метаанализ GWAS-данных.

Таблица 2

Однонуклеотидные полиморфизмы, ассоциированные с остеоартритом коленного, тазобедренного суставов и суставов руки (смешанная выборка) по данным полногеномных исследований

№ п/п	Полиморфизм	Локус	Ген	Локализация ОА	OR (95% CI)	p	Популяция	Источник
p ≤ 5 × 10⁻⁰⁸								
1	rs3815148-C	7q22.3	<i>GPR22, COG5</i>	ОАК и/или ОАР	1,14 (1,09–1,19)	8,0×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[35]*
2	rs11842874-A	13q34	<i>MCF2L</i>	ОА	1,17 (1,11–1,23)	2,1×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[36]**
3	rs6976-T	3p21.1	<i>GLT8D1</i>	ТЭП ОА	1,12 (1,08–1,16)	7,24×10 ⁻¹¹	Европейская	[39]*
4	rs6976-T	3p21.1	<i>GLT8D1</i>	ОА	1,09 (1,06–1,12)	6,56×10 ⁻⁰⁹		
5	rs11177-A	3p21.1	<i>GNL3</i>	ТЭП ОА	1,12 (1,08–1,16)	1,25×10 ⁻¹⁰		
6	rs11177-A	3p21.1	<i>GNL3</i>	ОА	1,09 (1,06–1,12)	5,13×10 ⁻⁰⁹		
7	rs10948172-G	6p21.1	<i>SUPT3H, CDC5L</i>	ОА мужчины	1,14 (1,09–1,20)	7,92×10 ⁻⁰⁸		
8	rs8044769-C	16q12.2	<i>FTO</i>	ОА женщины	1,11 (1,07–1,15)	6,85×10 ⁻⁰⁸		
9	rs12901071	15q22.33	<i>SMAD3</i>	ОА	1,08 (1,05–1,11)	3,12×10 ⁻¹⁰	Европейская	[18]**
10	rs10116772-A	9p24.2	<i>GLIS3</i>	ТЭП ОАК и/или ОАТБ	0,97 (0,96–0,98)	3,7×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[21]*
11	rs2820436-C	1q41	<i>ZC3H11B</i>	ОА#+ ОА установлен в больнице	0,93 (0,91–0,96)	2,01×10 ⁻⁰⁹	Европейская	[20]*
12	rs3771501-G	2p13.3	<i>TGFA</i>	ОА#+ ОА установлен пациентом	0,94 (0,92–0,96)	1,66×10 ⁻⁰⁸		
13	rs11335718-A	4q21.21	<i>ANXA3</i>	ОАК+ ОА установлен пациентом	1,11 (1,07–1,16)	4,26×10 ⁻⁰⁸		

Продолжение таблицы 2

№ п/п	Полиморфизм	Локус	Ген	Локализация ОА	OR (95% CI)	p	Популяция	Источник
14	rs116882138-A	9p21.2	<i>MOB3B, EQTN</i>	ОАК+ОАТБ и/или ОАК установлены в больнице	1,34 (1,21–1,49)	5,09×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[20]*
15	rs375575359-C	19q13.12	<i>ZNF345</i>	ОАК+ОА установлен пациентом	1,21 (1,14–1,30)	7,54×10 ⁻⁰⁹		
16	rs2126643-C	1p21.1	<i>COL11A1</i>	ОА#	1,05	5,4×10 ⁻¹⁰	Европейская	[22]**
17	rs2785988-A	1q41	–	ОА#	1,05	4,5×10 ⁻¹¹		
18	rs2061026-A	2p22.3	<i>LTBP1</i>	ОА#	1,05	4,7×10 ⁻¹⁰		
19	rs1800562-G	6p22.2	<i>HFE</i>	ОА#	1,39	7,6×10 ⁻¹¹		
20	rs1078301-T	9q32	–	ОА#	1,05	1,4×10 ⁻¹⁰		
21	rs12901372-C	15q22.33	<i>SMAD3</i>	ОА#	1,04	9,5×10 ⁻⁰⁹		
22	rs143384-A	20q11.22	<i>GDF5</i>	ОА#	1,05	2,1×10 ⁻¹⁰		
23	rs117018441-T	22q13.2	<i>CHADL</i>	ОА#	2,84	9,1×10 ⁻¹⁸		
24	ТAAAAAAAAA AAAAAAAA	1	–	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	1,05×10 ⁻⁰⁸	Европейская	[23]**
25	C	1	–	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	2,54×10 ⁻⁰⁸		
26	rs2820443 -C	1q41	<i>ZC3H11B</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,06 (1,04–1,07)	6,01×10 ⁻¹¹		
27	rs10218792-G	1q44	<i>KIF26B</i>	ОА#	1,04 (1,02–1,05)	2,03×10 ⁻⁰⁸		
28	rs3771501-A	2p13.3	<i>TGFA</i>	ОА#	1,05 (1,03–1,06)	4,24×10 ⁻¹⁶		
29	rs2061027-A	2p22.3	<i>LTBP1</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	3,16×10 ⁻¹³		
30	rs62182810-A	2q33.2	<i>RAPH1</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	1,65×10 ⁻⁰⁹		
31	rs62262139-A	3p21.31	<i>RBM6</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	9,09×10 ⁻¹¹		
32	rs34811474-G	4p15.2	<i>ANAPC4</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	2,17×10 ⁻⁰⁹		
33	rs11732213-T	4p16.3	<i>SLBP</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,06 (1,04–1,08)	8,81×10 ⁻¹⁰		
34	rs13107325- T	4q24	<i>SLC39A8</i>	ОА#	1,10 (1,07–1,12)	8,29×10 ⁻¹⁹		
35	rs3884606-G	5q35.1	<i>FGF18</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,04 (1,03–1,06)	8,25×10 ⁻⁰⁹		
36	rs115740542-C	6p22.2	<i>HIST1H2BC</i>	ОА#	1,06 (1,04–1,08)	8,59×10 ⁻⁰⁹		
37	rs9277552-C	6p21.32	<i>HLA-DPB1</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,06 (1,04–1,08)	2,37×10 ⁻¹⁰		
38	rs12154055-G	6p21.1	<i>CDC5L</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,04)	2,71×10 ⁻⁰⁸		
39	rs11409738-TA	7q21.3	<i>DYNC111</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	2,13×10 ⁻¹⁰		
40	rs330050-G	8p23.1	AC022784.1	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	1,93×10 ⁻¹¹		
41	rs10974438 -A	9p24.2	<i>GLIS3</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	1,34×10 ⁻⁰⁸		
42	rs919642-T	9q32	<i>COL27A1, KIF12</i>	ОА#	1,05 (1,04–1,06)	8,55×10 ⁻¹⁵		
43	rs17659798 -A	11p14.1	<i>AC090833.1</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,06 (1,04–1,07)	2,06×10 ⁻¹⁰		
44	rs11031191 -T	11p14.1	<i>MPPED2-AS1</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	1,42×10 ⁻⁰⁸		

№ п/п	Полиморфизм	Локус	Ген	Локализация ОА	OR (95% CI)	<i>p</i>	Популяция	Источник
45	rs1149620 -T	11q13.5	<i>TSKU</i>	ОА#	1,04 (1,02–1,05)	$6,93 \times 10^{-10}$	Европейская	[23]**
46	rs317630 -T	12q15	<i>CPSF6</i>	ОА#	1,04 (1,02–1,05)	$1,97 \times 10^{-08}$		
47	rs11105466 -A	12q21.33	<i>AC084200.1</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,04 (1,03–1,06)	$2,15 \times 10^{-08}$		
48	rs2171126-T	12q22	<i>CRADD</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,05)	$9,07 \times 10^{-10}$		
49	rs35206230-T	15q24.1	<i>LMAN1L, CSK</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	$1,48 \times 10^{-12}$		
50	rs9930333-G	16q12.2	<i>FTO</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,05 (1,03–1,06)	$1,52 \times 10^{-09}$		
51	rs1126464 -G	16q24.3	<i>DPEP1</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,06)	$1,56 \times 10^{-10}$		
52	rs2953013 -C	17q11.2	<i>NF1</i>	ОАК и/или ОАТБ	1,05 (1,04–1,07)	$3,07 \times 10^{-10}$		
53	rs547116051-AC	17q21.31	<i>MAPT</i>	ОА#	1,83 (1,49–2,26)	$1,50 \times 10^{-08}$		
54	rs10502437 -G	18q11.2	<i>TMEM241</i>	ОА#	1,03 (1,02–1,04)	$2,50 \times 10^{-08}$		
55	rs1560707-T	19p13.2	<i>SLC44A2</i>	ОА#	1,04 (1,03–1,05)	$1,35 \times 10^{-15}$		
56	rs75621460 -A	19q13.2	<i>TGFB1</i>	ОА#	1,16 (1,12–1,20)	$1,62 \times 10^{-15}$		
57	rs528981060 -A	22q13.2	<i>SCUBE1</i>	ОА#	1,68 (1,40–2,02)	$2,37 \times 10^{-08}$		

ОА — остеоартроз; ОАК — остеоартроз коленного сустава; ОАТБ — остеоартроз тазобедренного сустава; ОАР — остеоартроз суставов руки; ТЭП — тотальное эндопротезирование; ОА# — остеоартроз любой локализации; * — GWAS-исследование; ** — метаанализ GWAS-данных.

Наряду с полногеномными исследованиями ОА важное значение имеет проведение репликативных исследований, которые позволяют установить роль конкретных GWAS-значимых для ОА полиморфных маркеров (из широкого списка около 80 SNPs ассоциированных с ОА на полногеномном уровне) в формировании заболевания в отдельных популяциях мира, в том числе и популяциях России, характеризующихся своеобразием популяционно-генетических характеристик, факторов среды обитания и др. Следует отметить, что к настоящему времени в проведенных репликативных исследованиях ОА, лишь для единичных полиморфных локусов подтверждены ассоциации с данным заболеванием [42, 43, 44, 45, 46, 47, 48].

Репликативное исследование I. Meulenbelt с соавторами [42], выполненное на выборках из 2602 больных ОА коленного и тазобедренного суставов и 2747 индивидуумов контрольной группы европеоидного происхождения, показало, что ни один из трех рассмотренных полиморфных локусов (rs7639618, rs11718863 и rs9864422 гена *DVWA*) не имеет значимых ассоциаций с ОА (полиморфные локусы rs7639618 и rs11718863 выявляе-

ны в результате GWAS-исследования Y. Miyamoto с соавторами (2008)). Однако при включении авторами в исследование выборки из японской и китайской популяций (1300 больных ОА и 2637 человек контрольной группы) было установлено, что полиморфный локус rs7639618 гена *DVWA* ассоциирован с ОА коленного сустава ($p = 2,7 \times 10^{-05}$). Репликативное исследование 2 SNPs (rs10947262 гена *BTNL2*, rs7775228 гена *HLA-DQB1*) (ассоциированы с ОА коленного сустава у японцев и европейцев в исследовании M. Nakajima с соавторами), выполненном A.M. Valdes с соавторами [45], не показало значимых ассоциаций с ОА коленного сустава на выборках европеоидного происхождения, включающих 5749 больных ОА коленного сустава и 6408 индивидуумов контрольной группы. В работе D. Shi с соавторами изучена выборка около 2500 больных и контроля. Не выявлены ассоциации двух этих же полиморфных локусов (rs10947262 гена *BTNL2*, rs7775228 гена *HLA-DQB1*) с развитием ОА у китайцев и австралийцев. Но при включении в исследование выборки европейского происхождения значимые ассоциации с ОА коленного сустава были выявлены только для 1 SNP

(rs10947262 гена *BTNL2*, $p = 3 \times 10^{-08}$) [43]. В репликативном исследовании J. Dai с соавторами [47], проведенном на выборках китайцев (890 больных ОА и 844 индивидуумов контрольной группы), посвященном изучению роли полиморфного генетического маркера rs8044769 гена *FTO* в развитии ОА, не установлено значимых ассоциаций с данной патологией. В репликативном исследовании, проведенном T. Zhao с соавторами, изучена выборка из 2556 больных ОА и 1688 человек контроля [48]. Это позволило установить, что из 9 рассмотренных полиморфных локусов с развитием ОА коленного сустава был ассоциирован только rs3884606 гена *FGF18* у китайцев (данный полиморфный локус выявлен в результате метаанализа GWAS-данных I. Tachmazidou с соавторами) [23].

В Российской Федерации исследования молекулярно-генетических основ ОА в основном направлены на изучение роли полиморфизмов различных групп генов-кандидатов в формировании ОА: изучались гены матриксных металлопротеиназ [24, 26, 28], антиоксидантных ферментов [25, 27], рецептора витамина D [26], агреггана [29] и т.д. В литературе представлены результаты лишь одного репликативного исследования GWAS-значимых SNPs в одной из популяций России — республики Башкортостан [49]. Авторы на выборках из 156 женщин с ОА и 161 индивидууме контроля выявили значимые ассоциации полиморфных локусов rs835787 (*CHST11*), rs4836732 (*ASTN2*), rs7639618 (*DVWA*), rs2302061 (*DOT1L*) с ОА в целом. Стоит отметить, что три из четырех полиморфизмов (rs835787, rs4836732, rs2302061) были установлены ранее в GWAS-исследованиях ОА тазобедренного сустава [39, 50]. Для полиморфных маркеров rs6976 гена *GLT8D1* и rs11842874 гена *MCF2L* в этом исследовании не выявлено значимых ассоциаций с ОА (rs6976 установлен в GWAS-исследовании).

Заключение

Таким образом, следует отметить, что генетические основы ОА коленного сустава на основе полногеномного поиска ассоциаций активно изучаются многими зарубежными научными коллективами мира. При этом полученные результаты часто противоречивы и неоднозначны. Этот же вывод касается и проведенных к настоящему времени репликативных исследований. Выше указанные обстоятельства диктуют необходимость проведения дополнительных репликативных исследований в различных популяциях, в том числе в Российской Федерации, характеризующихся значительной этно-территориальной вариабельностью, с целью выявления конкретных GWAS-значимых полиморфных маркеров генов-кандидатов, ассоциированных с ОА в данных отдельных популяциях и их дальнейшего ис-

пользования в практической медицине для формирования среди населения на доклиническом этапе групп риска по развитию ОА и с последующей реализацией в этих группах мероприятий по профилактике ОА.

Литература [References]

- Zengini E., Finan C., Wilkinson J.M. The Genetic Epidemiological Landscape of Hip and Knee Osteoarthritis: Where Are We Now and Where Are We Going? *J Rheumatol.* 2016;43(2):260-266. doi: 10.3899/jrheum.150710.
- Arden N., Blanco F., Cooper C., Guermazi A., Hayashi D., Hunter D. Atlas of Osteoarthritis. London: Springer, 2014. pp. 11-19. doi: 10.1007/978-1-910315-16-3.
- Park J., Mendy A., Vieira E.R. Various Types of Arthritis in the United States: Prevalence and Age-Related Trends From 1999 to 2014. *Am J Public Health.* 2018;108(2):256-258. doi: 10.2105/AJPH.2017.304179.
- World Health Organization, Department of Chronic Diseases and Health Promotion. Chronic rheumatic conditions. Geneva: World Health Organization. Режим доступа: <http://www.who.int/chp/topics/rheumatic/en/>
- Галушко Е.А., Насонов Е.Л. Распространённость ревматических заболеваний в России. *Альманах клинической медицины.* 2018;46(1):32-39. doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39.
- Galushko E.A., Nasonov E.L. [The prevalence of rheumatic diseases in Russia]. *Al'manah klinicheskoy meditsiny* [Almanac of Clinical Medicine]. 2018;46(1):32-39. (In Russian). doi: 10.18786/2072-0505-2018-46-1-32-39.
- Cross M., Smith E., Hoy D., Nolte S., Ackerman I., Fransen M. et al. The global burden of hip and knee osteoarthritis: estimates from the global burden of disease 2010 study. *Ann Rheum Dis.* 2014;73(7):1323-1330. doi: 10.1136/annrheumdis-2013-204763.
- Weinstein A.M., Rome B.N., Reichmann W.M., Collins J.E., Burbine S.A., Thornhill T.S. et al. Estimating the burden of total knee replacement in the United States. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(5):385-392. doi: 10.2106/JBJS.L.00206.
- Мальшев Е.Е., Павлов Д.В., Горбатов Р.О. Эндопротезирование коленного сустава после переломов проксимального отдела большеберцовой кости. *Травматология и ортопедия России.* 2016;(1):65-73. doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-65-73.
- Malyshev E.E., Pavlov D.V., Gorbatov R.O. [Total knee arthroplasty after proximal tibia fracture] *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and orthopedics of Russia]. 2016;(1):65-73. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2016-0-1-65-73.
- Карякин Н.Н., Мальшев Е.Е., Горбатов Р.О., Ротич Д.К. Эндопротезирование коленного сустава с применением индивидуальных направлятелей, созданных с помощью технологий 3D-печати. *Травматология и ортопедия России.* 2017;23(3):110-118. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-110-118.
- Karyakin N.N., Malyshev E.E., Gorbatov R.O., Rotich G.K. [3D Printing Technique for Patient-Specific Instrumentation in Total Knee Arthroplasty]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(3):110-118. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-3-110-118.
- Мурьев В.Ю., Алексеев С.С., Елизаров П.М., Куковенко Г.А., Деринг А.А., Хаптагаев Т.Б. Оценка болевого синдрома у пациентов после эндопротезирования коленного сустава.

- Травматология и ортопедия России*. 2019;25(2):19-30. doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-19-30.
- Murylev V.Yu., Alekseev S.S., Elizarov P.M., Kukovenko G.A., Dering A.A., Khaptagaev T.H. [Evaluation of Pain Syndrome in Patients after Total Knee Replacement]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russian]. 2019;25(2):19-30. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2019-25-2-19-30.
11. Lunebourg A., Parratte S., Ollivier M., Garcia-Parra K., Argenson J. Lower function, quality of life, and survival rate after total knee arthroplasty for posttraumatic arthritis than for primary arthritis. *Acta Orthop*. 2015; 86(2):189-194. doi: 10.3109/17453674.2014.979723.
 12. Shan L., Shan B., Suzuki A., Nouh F., Saxena A. Intermediate and long-term quality of life after total knee replacement: a systematic review and meta-analysis. *J Bone Joint Surg Am*. 2015;97(2):156-168. doi: 10.2106/JBJS.M.00372.
 13. Canovas F., Dagneaux L. Quality of life after total knee arthroplasty. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2018;104(1):41-46. doi: 10.1016/j.otsr.2017.04.017.
 14. Scott C.E., Howie C.R., Macdonald D., Biant L.C. Predicting dissatisfaction following total knee replacement: a prospective study of 1217 patients. *J Bone Joint Surg Br*. 2010;92(9):1253-1258. doi: 10.1302/0301-620X.92B9.24394.
 15. Hofmann S., Seitlinger G., Djahani O., Pietsch M. The painful knee after TKA: a diagnostic algorithm for failure analysis. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2011;19(9):1442-1452. doi: 10.1007/s00167-011-1634-6.
 16. Новаков В.Б., Новакова О.Н., Чурносков М.И. Факторы риска и молекулярные основы этиопатогенеза остеоартроза коленного сустава (обзор литературы). *Гений ортопедии*. 2021;27(1):112-120. doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-112-120. Novakov V.B., Novakova O.N., Churnosov M.I. [Risk factors and molecular entities of the etiopathogenesis of the knee osteoarthritis (literature review)]. *Genij ortopedii*. 2021;27(1):112-120. (In Russian). doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-1-112-120.
 17. Evangelou E., Kerkhof H.J., Styrkarsdottir U., Ntzani E.E., Bos S.D., Esko T. et al. A meta-analysis of genome-wide association studies identifies novel variants associated with osteoarthritis of the hip. *Ann Rheum Dis*. 2014;73(12):2130-2136. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-203114.
 18. Hackinger S., Trajanoska K., Styrkarsdottir U., Zengini E., Steinberg J., Ritchie G.R.S. et al. Evaluation of shared genetic a etiology between osteoarthritis and bone mineral density identifies SMAD3 as a novel osteoarthritis risk locus. *Hum Mol Genet*. 2017;26(19):3850-3858. doi: 10.1093/hmg/ddx285.
 19. Yau M.S., Yerges-Armstrong L.M., Liu Y., Lewis C.E., Duggan D.J., Renner J.B. et al. Genome-Wide Association Study of Radiographic Knee Osteoarthritis in North American Caucasians. *Arthritis Rheumatol*. 2017;69(2):343-351. doi: 10.1002/art.39932.
 20. Zengini E., Hatzikotoulas K., Tachmazidou I., Steinberg J., Hartwig F.P., Southam L. et al. Genome-wide analyses using UK Biobank data provide insights into the genetic architecture of osteoarthritis. *Nat Genet*. 2018;50(4):549-558. doi: 10.1038/s41588-018-0079-y.
 21. Casalone E., Tachmazidou I., Zengini E., Hatzikotoulas K., Hackinger S., Suveges D. et al. A novel variant in GLIS3 is associated with osteoarthritis. *Ann Rheum Dis*. 2018;77(4):620-623. doi: 10.1136/annrheumdis-2017-211848.
 22. Styrkarsdottir U., Lund S.H., Thorleifsson G., Zink F., Stefansson O.A., Sigurdsson J.K. et al. Meta-analysis of Icelandic and UK data sets identifies missense variants in SMO, IL11, COL11A1 and 13 more new loci associated with osteoarthritis. *Nat Genet*. 2018;50(12):1681-1687. doi: 10.1038/s41588-018-0247-0.
 23. Tachmazidou I., Hatzikotoulas K., Southam L., Esparza-Gordillo J., Haberland V., Zheng J. et al. Identification of new therapeutic targets for osteoarthritis through genome-wide analyses of UK Biobank data. *Nat Genet*. 2019;51(2):230-236. doi: 10.1038/s41588-018-0327-1.
 24. Забелло Т.В., Миromanov А.М., Миromanova Н.А. Генетические аспекты развития остеоартроза. *Фундаментальные исследования*. 2015;(1):1970-1976. Zabello T.V., Miromanov A.M., Miromanova N.A. [Genetic aspects of development of an osteoarthritis]. *Fundamental'nye issledovaniya* [Fundamental research]. 2015;(1):1970-1976. (In Russian).
 25. Внуков В.В., Панина С.Б., Милютин Н.П., Кролевец И.В., Забродин М.А. Исследование взаимосвязи между полиморфизмами генов антиоксидантных ферментов и их активность при посттравматическом остеоартрозе коленного сустава. *Бюллетень экспериментальной биологии и медицины*. 2016;161(1):88-91. Vnukov V.V., Panina S.B., Milyutina N.P., Krolevets I.V., Zabrodin M.A. [Analysis of the relationship between antioxidant enzyme gene polymorphisms and their activity in post-traumatic gonarthrosis]. *Byulleten' eksperimental'noi biologii i meditsiny* [Bulletin of Experimental Biology and Medicine]. 2016;161(1):88-91. (In Russian).
 26. Хусаинова Р.И., Тюрин А.В., Шаповалова Д.А., Хуснутдинова Э.К. Генетические маркеры остеоартрита у женщин с недифференцированной дисплазией соединительной ткани. *Генетика*. 2017;53(7):816-826. doi: 10.1134/S1022795417060072. Khusainova R.I., Tyurin A.V., Shapovalova D.A., Khusnutdinova E.K. [Search for Osteoarthritis Genetic Markers in Women with Undifferentiated Connective Tissue Dysplasia]. *Genetika* [Russian Journal of Genetics]. 2017;53(7):816-826. (In Russian). doi: 10.1134/S1022795417060072.
 27. Внуков В.В., Кролевец И.В., Панина С.Б., Милютин Н.П., Ананян А.А., Плотников А.А., Забродин М.А. Ассоциация полиморфных маркеров генов полисинтаз с развитием посттравматического гонартроза у жителей Ростовской области. *Экологическая генетика*. 2015;13(3):15-22. doi:10.17816/ecogen13315-22. Vnukov V.V., Krolevets I.V., Panina S.B., Milyutina N.P., Ananyan A.A., Plotnikov A.A., Zabrodin M.A. [The association between no-synthases gene polymorphisms and post-traumatic knee osteoarthritis development among Rostov region residents]. *Ekologicheskaya genetika* [Ecological genetics]. 2017;13(3):15-22. (In Russian). doi: 10.17816/ecogen13315-22.
 28. Панина С.Б., Кролевец И.В., Милютин Н.П., Ананян А.А., Забродин М.А., Внуков В.В. Провоспалительные медиаторы и полиморфизм генов MMP1 и MMP12 при посттравматическом гонартрозе. *Клиническая медицина*. 2018;96(1):60-65. doi: 10.18821/0023-2149-2018-96-1-60-65. Panina S.B., Krolevets I.V., Milyutina N.P., Ananyan A.A., Zabrodin M.A., Vnukov V.V. [Proinflammatory mediators and gene polymorphism of MMP1 and MMP12 in post-traumatic knee osteoarthritis]. *Klinicheskaya meditsina* [Clinical medicine]. 2018;96(1):60-65. (In Russian). doi: 10.18821/0023-2149-2018-96-1-60-65.

29. Шаповалова Д.А., Тюрин А.В., Литвинов С.С., Хуснудинова Э.К., Хусаинова Р.И. Роль полиморфного локуса VNTR гена агрекана в развитии остеоартроза у женщин. *Вавиловский журнал генетики и селекции*. 2018;22(7):865-872. doi: 10.18699/VJ18.427. Shapovalova D.A., Tyurin A.V., Litvinov S.S., Khusnutdinova E.K., Khusainova R.I. [The role of vntr aggregan gene polymorphism in the development of osteoarthritis in women]. *Vavilovskii zhurnal genetiki i selektsii* [Journal of Genetics and Breeding]. 2018;22(7):865-872. (In Russian). doi: 10.18699/VJ18.427.
30. Стребкова Е.А., Алексеева Л.И. Остеоартроз и ожирение. *Научно-практическая ревматология*. 2015;53(5):542-552. doi: 10.14412/1995-4484-2015-542-552. Strebkova E.A., Alekseeva L.I. [Osteoarthritis and obesity]. *Nauchno-prakticheskaya revmatologiya* [Rheumatology Science and Practice]. 2015;53(5):542-552. (In Russian). doi: 10.14412/1995-4484-2015-542-552.
31. Dehghan A. Genome-Wide Association Studies. *Methods Mol Biol*. 2018;1793:37-49. doi: 10.1007/978-1-4939-7868-7_4.
32. Miyamoto Y., Shi D., Nakajima M., Ozaki K., Sudo A., Kotani A. et al. Common variants in DVWA on chromosome 3p24.3 are associated with susceptibility to knee osteoarthritis. *Nat Genet*. 2008;40(8):994-998. doi: 10.1038/ng.176.
33. Valdes A.M., Loughlin J., Timms K.M., van Meurs J.J., Southam L., Doherty S. et al. Genome-wide association scan identifies a prostaglandin-endoperoxide synthase 2 variant involved in risk of knee osteoarthritis. *Am J Hum Genet*. 2008;82(6):1231-1240. doi: 10.1016/j.ajhg.2008.04.006.
34. Nakajima M., Takahashi A., Kou I., Rodriguez-Fontenla C., Gomez-Reino J.J., Furuichi T. et al. New sequence variants in HLA class II/III region associated with susceptibility to knee osteoarthritis identified by genome-wide association study. *PLoS One*. 2010;5(3):e9723. doi: 10.1371/journal.pone.0009723.
35. Kerkhof H.J., Lories R.J., Meulenbelt I., Jonsdottir I., Valdes A.M., Arp P. et al. A genome-wide association study identifies an osteoarthritis susceptibility locus on chromosome 7q22. *Arthritis Rheum*. 2010;62(2):499-510. doi: 10.1002/art.27184.
36. Day-Williams A.G., Southam L., Panoutsopoulou K., Rayner N.W., Esko T., Estrada K. et al. A variant in MCF2L is associated with osteoarthritis. *Am J Hum Genet*. 2011;89(3):446-50. doi: 10.1016/j.ajhg.2011.08.001.
37. Evangelou E., Valdes A.M., Kerkhof H.J., Stykarsdottir U., Zhu Y., Meulenbelt I. et al. Meta-analysis of genome-wide association studies confirms a susceptibility locus for knee osteoarthritis on chromosome 7q22. *Ann Rheum Dis*. 2011;70(2):349-355. doi: 10.1136/ard.2010.132787.
38. Panoutsopoulou K., Southam L., Elliott K.S., Wrayner N., Zhai G., Beazley C. et al. Insights into the genetic architecture of osteoarthritis from stage 1 of the arcOGEN study. *Ann Rheum Dis*. 2011;70(5):864-867. doi: 10.1136/ard.2010.141473.
39. arcOGEN Consortium, arcOGEN Collaborators, Zeggini E., Panoutsopoulou K., Southam L., Rayner N.W., Day-Williams A.G., Lopes M.C. et al. Identification of new susceptibility loci for osteoarthritis (arcOGEN): a genome-wide association study. *Lancet*. 2012;380(9844):815-823. doi: 10.1016/S0140-6736(12)60681-3.
40. Liu Y., Yau M., Yerges-Armstrong L.M., Duggan D.J., Renner J.B., Hochberg M.C. et al. Genetic Determinants of Radiographic Knee Osteoarthritis in African Americans. *J Rheumatol*. 2017;44(11):1652-1658. doi: 10.3899/jrheum.161488.
41. Решетников Е.А. Поиск ассоциаций генов-кандидатов, дифференциально экспрессирующихся в плаценте, с риском развития плацентарной недостаточности с синдромом задержки роста плода. *Научные результаты биомедицинских исследований*. 2020;6(3):338-349. doi: 10.18413/2658-6533-2020-6-3-0-5. Reshetnikov E.A. [Study of associations of candidate genes differentially expressing in the placenta with the development of placental insufficiency with fetal growth restriction]. *Nauchnye rezultaty biomeditsinskih issledovaniy* [Research Results in Biomedicine]. 2020;6(3):338-349. (In Russian). doi: 10.18413/2658-6533-2020-6-3-0-5.
42. Meulenbelt I., Chapman K., Dieguez-Gonzalez R., Shi D., Tsezou A., Dai J. et al. Large replication study and meta-analyses of DVWA as an osteoarthritis susceptibility locus in European and Asian populations. *Hum Mol Genet*. 2009;18(8):1518-1523. doi: 10.1093/hmg/ddp053.
43. Shi D., Zheng Q., Chen D., Zhu L., Qin A., Fan J. et al. Association of single-nucleotide polymorphisms in HLA class II/III region with knee osteoarthritis. *Osteoarthritis Cartilage*. 2010;18(11):1454-1457. doi: 10.1016/j.joca.2010.07.009.
44. Nakajima M., Shi D., Dai J., Tsezou A., Zheng M., Norman P.E. et al. Replication studies in various ethnic populations do not support the association of the HIF-2 α SNP rs17039192 with knee osteoarthritis. *Nat Med*. 2011;17(1):26-27; author reply 27-9. doi: 10.1038/nm0111-26.
45. Valdes A.M., Stykarsdottir U., Doherty M., Morris D.L., Mangino M., Tamm A. et al. Large scale replication study of the association between HLA class II/BTNL2 variants and osteoarthritis of the knee in European-descent populations. *PLoS One*. 2011;6(8):e23371. doi: 10.1371/journal.pone.0023371.
46. Nakajima M., Shi D., Dai J., Tsezou A., Zheng M., Norman P.E. et al. A large-scale replication study for the association of rs17039192 in HIF-2 α with knee osteoarthritis. *J Orthop Res*. 2012;30(8): 1244-1248. doi: 10.1002/jor.22063.
47. Dai J., Ying P., Shi D., Hou H., Sun Y., Xu Z. et al. FTO variant is not associated with osteoarthritis in the Chinese Han population: replication study for a genome-wide association study identified risk loci. *J Orthop Surg Res*. 2018;13(1):65. doi: 10.1186/s13018-018-0769-2.
48. Zhao T., Zhao J., Ma C., Wei J., Wei B., Liu J. Evaluation of Relationship Between Common Variants in FGF18 Gene and Knee Osteoarthritis Susceptibility. *Arch Med Res*. 2020;51(1):76-81. doi: 10.1016/j.arcmed.
49. Шаповалова Д.А., Тюрин А.В., Хусаинова Р.И. Репликативный анализ полиморфных локусов генов ассоциированных с остеоартрозом по результатам полногеномных исследований. *Доклады Башкирского университета*. 2018;3(4):477-482. Shapovalova D.A., Tyurin A.V., Khusainova R.I. [Replicative analysis of polymorphic loci associated with osteoarthritis based on the full genomic studies results]. *Doklady Bashkirskogo universiteta* [Reports of the Bashkir University]. 2018;3(4): 477-482. (In Russian).
50. Evangelou E., Valdes A.M., Castano-Betancourt M.C., Doherty M., Doherty S., Esko T. et al. The DOT1L rs12982744 polymorphism is associated with osteoarthritis of the hip with genome-wide statistical significance in males. *Ann Rheum Dis*. 2013;72(7):1264-1265. doi: 10.1136/annrheumdis-2012-203182.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Новаков Виталий Борисович — врач травматолог-ортопед, ОГБУЗ «Городская больница № 2 г. Белгорода»; аспирант медицинского института, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, г. Белгород, Россия
e-mail: v.novakov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5337-2156>

Новакова Ольга Николаевна — канд. биол. наук, доцент кафедры медико-биологических дисциплин медицинского института, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, г. Белгород, Россия
e-mail: litovkina@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2700-1284>

Чурносов Михаил Иванович — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой медико-биологических дисциплин медицинского института, ФГАОУ ВО «Белгородский государственный национальный исследовательский университет» Минобрнауки России, г. Белгород, Россия
e-mail: churnosov@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1254-6134>

AUTHORS' INFORMATION:

Vitaly B. Novakov — City Hospital No. 2 of Belgorod, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia
e-mail: v.novakov@bk.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5337-2156>

Olga N. Novakova — Cand. Sci. (Biol.), Belgorod National Research University, Belgorod, Russia
e-mail: litovkina@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-2700-1284>

Mikhail I. Churnosov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Belgorod National Research University, Belgorod, Russia
e-mail: churnosov@bsu.edu.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1254-6134>

Заявленный вклад авторов

Новаков В.Б. — поиск и анализ публикаций по теме обзора, написание текста статьи.

Новакова О.Н. — поиск литературы, анализ и обработка материала, подготовка текста статьи.

Чурносов М.И. — разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для практических врачей
УДК 616.717.11-009.2
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1620>



Дискинезия лопатки

Ж.Ю. Пилипсон¹, Д.О. Ильин^{1,2}, А.Н. Логвинов¹, А.В. Фролов^{1,2}, И.А. Васильев^{1,2},
Д.А. Бессонов^{1,2}, Е.Е. Ачкасов³, А.В. Королев^{1,2}

¹ Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия

² ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов», г. Москва, Россия

³ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия

Реферат

Под дискинезией лопатки (ДЛ) понимают любое нарушение ее статичного положения или кинематики во время движений в плечевом суставе. Правильная ориентация лопатки связана с тонусом крепящихся к ней мышц. Распространенность дискинезии лопатки велика среди пациентов с субакромиальным импинджмент-синдромом, частичными разрывами вращательной манжеты, нестабильностью плечевого сустава и повреждениями SLAP. Дискинезия лопатки может быть вызвана целым спектром причин: верхний перекрестный синдром и предрасполагающие к нему поструральные адаптации, неврологические нарушения. Однако инструментальная диагностика дискинезии лопатки затруднена, что делает основным методом ее выявления клинические тесты. В данной лекции подробно описаны этиология дискинезии лопатки, классификация, диагностические тесты и способы лечения. Выявление дискинезии лопатки и определение ее типа у пациентов с патологиями плечевого сустава позволяет сформировать оптимальный протокол реабилитационной терапии, включающий способы миофасциального релиза, пассивную и активную растяжку спазмированных и тренировку слабых мышечных групп, направленные на коррекцию поструральных нарушений, патологии плечелопаточного ритма, восстановление нормальной биомеханики гленоумерального сустава.

Ключевые слова: дискинезия лопатки, плечевой сустав, биомеханика плечевого сустава, вращательная манжета, субакромиальный импинджмент-синдром.

Источник финансирования: без спонсорской поддержки.

For practical physicians
<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1620>



Scapula Dyskinesia

Zhanna Yu. Pilipson¹, Dmitrii O. Il'in^{1,2}, Aleksei N. Logvinov¹, Aleksandr V. Frolov^{1,2},
Ivan A. Vasiliev^{1,2}, Dmitrii A. Bessonov^{1,2}, Evgenii E. Achkasov³, Andrey V. Korolev^{1,2}

¹ European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia

² RUDN University, Moscow, Russia

³ Sechenov University, Moscow, Russia

Abstract

Scapular dyskinesia is any alteration of its static position or kinematics during movements in the shoulder joint. The correct scapula orientation is associated with the tone of the muscles attached to it. The prevalence of scapular dyskinesia is high among patients with subacromial impingement syndrome, partial rotator cuff tears, shoulder joint instability

Пилипсон Ж.Ю., Ильин Д.О., Логвинов А.Н., Фролов А.В., Васильев И.А., Бессонов Д.А., Ачкасов Е.Е., Королев А.В. Дискинезия лопатки. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):145-154. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1620>.

Cite as: Pilipson Zh.Yu., Il'in D.O., Logvinov A.N., Frolov A.V., Vasiliev I.A., Bessonov D.A., Achkasov E.E., Korolev A.V. [Scapula Dyskinesia]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):145-154. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1620>.

✉ Логвинов Алексей Николаевич / Aleksei N. Logvinov; e-mail: logvinov09@gmail.com

Рукопись получена: 15.04.2021. Рукопись одобрена: 21.07.2021. Статья опубликована онлайн: 30.11.2021.
Submitted: 15.04.2021. Accepted: 21.07.2021. Published Online: 30.11.2021.

© Пилипсон Ж.Ю., Ильин Д.О., Логвинов А.Н., Фролов А.В., Васильев И.А., Бессонов Д.А., Ачкасов Е.Е., Королев А.В., 2021
© Pilipson Zh.Yu., Il'in D.O., Logvinov A.N., Frolov A.V., Vasiliev I.A., Bessonov D.A., Achkasov E.E., Korolev A.V., 2021

and SLAP injuries. Scapular dyskinesis can be caused by a whole range of factors, including upper cross syndrome and postural adaptations predisposing to it, neurological disorders. However, instrumental diagnosis of scapular dyskinesis is difficult, which makes the use of clinical tests the main method of its detection. In this lecture, the etiology of scapular dyskinesis, classification, diagnostic tests and treatment methods are analyzed in detail. The detection of scapular dyskinesis and its type determination in patients with shoulder joint pathologies allows us to form an optimal rehabilitation therapy protocol, including techniques of myofascial release, passive and active stretching of spasmodic and training of weak muscle groups aimed at correcting postural disorders, pathology of the scapulohumeral rhythm, restoration of the glenohumeral joint normal biomechanics.

Keywords: scapular dyskinesis, shoulder joint, shoulder joint biomechanics, rotator cuff, subacromial impingement syndrome.

Funding: no funding or sponsorship was received.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Под дискинезией лопатки (ДЛ) понимают любое нарушение ее статичного положения или кинематики во время движений в плечевом суставе [1, 2]. Плечевой пояс крепится к осевому скелету через грудинно-ключичный сустав [3, 4]. Поэтому правильная ориентация лопатки в пространстве как в покое, так и при движениях в значительной степени связана с нормальным тонусом крепящихся к ней мышц. Гленоид является стабильным основанием для работы плечевого сустава, а также важным звеном кинетической цепи, в которой нижние конечности и корпус выполняют роль генераторов силы, а верхняя конечность — роль регулятора силы [1, 5, 6]. У пациентов с различной патологией плечевого сустава, такими как субакромиальный импинджмент-синдром (САИС), нестабильность плечевого сустава, разрывы сухожилий вращательной манжеты или суставной губы, отмечаются нарушения положения и движений лопатки [1, 7, 8, 9].

W.B. Kibler описал критерии правильного положения лопатки: по задней поверхности грудной клетки на уровне от T2 до T7, на одинаковом удалении от позвоночника (приблизительно 7,5 см), плоско у реберной дуги, в положении 40° внутренней ротации и 10° переднего наклона, без выстояния нижних или медиальных ее отделов [10].

Основные движения лопатки по F. Struyf с соавторами [11]:

1. Ротация:

– вокруг сагиттальной оси во фронтальной плоскости — верхняя (верхняя порция трапециевидной мышцы, передняя зубчатая мышца) и нижняя ротация (леватор лопатки, ромбовидные мышцы, малая грудная мышца);

– вокруг фронтальной оси в сагиттальной плоскости — передний и задний наклон (малая грудная и передняя зубчатая мышцы соответственно);

– вокруг вертикальной оси в горизонтальной плоскости — наружная ротация (ромбовидные

мышцы) и внутренняя ротация (передняя зубчатая мышца).

2. Трансляция:

– элевация — движение вверх по грудной клетке (верхняя порция трапециевидной мышцы, элеватор лопатки);

– депрессия — движения вниз по грудной клетке (нижняя порция трапециевидной мышцы);

– ретракция — движение к позвоночнику (ромбовидные мышцы, средняя порция трапециевидной мышцы);

– протракция — движение от позвоночника (передняя зубчатая мышца).

Для осущестления ключевых движений в плечевом суставе необходима содружественная работа гленоумерального и лопаточно-грудного суставов — плечелопаточный ритм (ПЛР) (табл. 1).

В исследовании V.T. Inman с соавторами данное соотношение составляет соответственно 2:1 — на 2° движений в гленоумеральном суставе приходится 1° движений в лопаточно-грудном суставе [8].

В работе S.K. Lee с соавторами проведен более детальный анализ ПЛР при помощи 3D-трекинг-программы с использованием инфракрасных камер и датчиков, крепящихся на проекцию лопатки и плечевой кости. В работе выявлено, что статистически значимой разницы между ПЛР доминантной и недоминантной конечностей нет [12].

В. Lee с соавторами при помощи флюороскопических изображений детально рассмотрели кинематику лопатки и ПЛР, сравнив их при пассивных и активных движениях в плечевом суставе и выполнив измерения во время подъема верхней конечности и при ее опускании [13]. В работе также описаны измерения не только верхней ротации лопатки, но и ее заднего наклона и наружной ротации. Коллеги выявили приблизительные данные по значениям ПЛР во время элевации верхней конечности, которые составили в среднем 3,50±0,17. Значимой разницы между измерениями активных и пассивных движений специалисты не обнаружили.

Таблица 1

Плечелопаточный ритм по В. Lee с соавторами [13]

Угол отведения в плечевом суставе	Соответствующие углы движений в гленоумеральном и лопаточно-грудном суставах
0–30°	Гленоумеральный 20° Лопаточно-грудной (верхняя ротация) 8–11° Лопаточно-грудной (задний наклон) 0° Лопаточно-грудной (наружная ротация) 0°
30–60°	Гленоумеральный 20–40° Лопаточно-грудной (верхняя ротация) 11–23° Лопаточно-грудной (задний наклон) 1,7–4,6° Лопаточно-грудной (наружная ротация) 1,2–2,5°
60–90°	Гленоумеральный 40–60° Лопаточно-грудной (верхняя ротация) 23–29° Лопаточно-грудной (задний наклон) 4,6–7,5° Лопаточно-грудной (наружная ротация) 2,5–3,3°
90–120°	Гленоумеральный 60–90° Лопаточно-грудной (верхняя ротация) 29–38° Лопаточно-грудной (задний наклон) 7,5–14,0° Лопаточно-грудной (наружная ротация) 3,3–5,3°

Классификация дискинезии лопатки

Наиболее популярной является классификация дискинезии лопатки, предложенная W.B. Kibler с соавторами [14]:

- тип 1 (нижняя дисфункция — tilted scapula): выстояние нижнего угла лопатки над грудной клеткой сзади (передний наклон в сагиттальной плоскости);

- тип 2 (медиальная дисфункция — winging scapula): выстояние всего медиального края лопатки над грудной клеткой сзади (внутренняя ротация лопатки);

- тип 3 (верхняя дисфункция — shrug): ранняя элевация или чрезмерная верхняя ротация лопатки во время элевации верхней конечности.

Отдельная категория комбинированной дискинезии лопатки — SICK scapula (Scapular malpositioning, Inferior medial border prominence, Coracoid pain and malposition and dysKinesis of scapular movement) встречается преимущественно у атлетов бросковых видов спорта и считается перегрузочным состоянием. Клинически проявляется передним наклоном лопатки, ее протракцией, а также ранней элевацией при отведении плеча [6].

Эпидемиология и этиология дискинезии лопатки

Дискинезия лопатки часто отмечается у атлетов, занимающихся спортом, предполагающим движения в плечевом суставе выше горизонтального уровня — теннис, волейбол, плавание, метательные виды спорта. Так, J. Preziosi Standoli с соавторами, изучив кинематику плечевых суставов 661 пловца элитного уровня, обнаружили бессимптомную ДЛ у 8,5% [15]. Распространенность ДЛ выше у спортсменов, работающих выше горизонтального уровня, нежели чем у остальных, ввиду необходимости использования полного объема движений в плечевом суставе, зачастую на высокой скорости [16].

Дискинезия лопатки является многофакторным состоянием. Причинами развития ДЛ могут являться неврологические факторы, мышечный дисбаланс, патология непосредственно плечевого сустава, постуральные нарушения [17].

W.B. Kibler с соавторами и J.B. Berthold с соавторами в своих работах выявили неврологические причины, способствующие формированию ДЛ типа 2, такие как повреждение длинного грудного нерва, цервикальная радикулопатия [9, 18].

Согласно работам S. Gumina с соавторами, а также К. Otoshi с соавторами, постуральные адаптации, в частности гиперкифоз грудного отдела позвоночника, способны оказывать косвенное влияние на неправильное положение лопатки и, как следствие, возможное развитие САИС [19, 20].

Наиболее частой причиной развития ДЛ, по мнению W.B. Kibler с соавторами, считается мышечный дисбаланс — укорочение одной группы мышц при нетренированности и слабости другой [9]. Так, укорочение малой грудной мышцы упоминается в литературе как фактор, ограничивающий задний наклон лопатки и ее наружную ротацию [21, 22]. В то же время слабость, к примеру, передней зубчатой мышцы, приводит к снижению верхней ротации лопатки при одновременном увеличении внутренней ее ротации [23, 24].

Диагностика дискинезии лопатки

Задачами клинического осмотра является выявление наличия или отсутствия ДЛ в положении покоя (визуально при осмотре сзади и сбоку — выстояние нижнего угла лопатки, ее медиального края), а также при движениях в плечевом суставе. Помимо этого важно применить динамические маневры для оценки эффекта коррекции дискинезии при САИС. Это позволит выявить влияние дискинезии лопатки на симптомы у пациента и верно построить последовательную программу реабилитационного лечения.

При пальпации малой грудной мышцы и короткой головки двуглавой мышцы плеча будет определяться их чувствительность ввиду укорочения, в то же время при движениях в плечевом суставе боль в проекции вышеуказанных мышц может отсутствовать. При мануальной максимальной ретракции лопатки врачом, а также при отведении плеча примерно на 40–50° может возникать ощущение чувствительности и напряженности данных мышц. M. Kluepfer с соавторами предложили следующий относительный метод оценки укорочения малой грудной мышцы — пациенту необходимо встать, прижавшись спиной к стене, врач измеряет расстояние от стены до переднего края акромиона с обеих сторон и оценивает разницу в сантиметрах [25] (рис. 1).

S.S. Burkhart с соавторами составили схему оценки комбинированной ДЛ SICK scapula в положении пациента стоя с опущенными вдоль туловища руками [6], по которой определяется наличие болевого синдрома в указанных анатомических областях, параметры ДЛ данного типа — *infera* или опущение лопатки в сантиметрах (по верхнемедиальному углу лопатки), степень протракции лопатки в сравнении с невовлеченной стороной, а также степень ее отведения.



Рис. 1. Определение дискинезии лопатки путем измерения расстояния между задним краем акромиона и стеной в положении пациента стоя и лежа на спине

Fig. 1. Determination of scapular dyskinesia by measuring the distance between the posterior edge of the acromion and the wall in the standing and lying on the back

Альтернативный метод определения переднего наклона лопатки как одного из проявлений ДЛ в покое описали J.D. Borstad и P.M. Ludewig [26]. В работе предложено измерять длину малой грудной мышцы пациента в покое в положении лежа на спине (от края 4-го ребра до нижнемедиального края клювовидного отростка), после чего вычислять так называемый индекс малой грудной мышцы (ИМГ) ввиду возможной вариабельности измерений в зависимости от роста человека. ИМГ вычислялся путем деления полученной длины малой грудной мышцы на рост человека и последующего умножения полученной суммы на 100. Согласно авторам, ИМГ определял укорочение малой грудной мышцы при результате 7,65 или ниже.

Оценка динамической стабильности лопатки была впервые предложена в работе P. McClure с соавторами [27]. Она включает в себя нагрузочный тест на мышцы-стабилизаторы лопатки и определение их утомляемости при движениях в плечевом суставе с утяжелителями в обеих руках (1,4 кг при массе пациента до 68,1 кг и 2,2 кг при массе пациента более 68,1 кг) [21, 24, 23, 27]. Пациенту предлагается выполнить от 3–5 до 10 повторений сгибания в обоих плечевых суставах (рис. 2). Выстояние любой части медиального края лопатки оценивается как наличие ДЛ (признак «yes») или ее отсутствие (признак «no»).

Компенсаторные тесты особенно актуальны при диагностике САИС. Наиболее показательными и достоверными являются тест ассистированного движения лопатки (*scapular assistance test* — SAT) и тест ретракции лопатки (*scapular retraction test* — SRT) [14].



Рис. 2. Тест на дискинезию лопатки по McClure

Fig. 2. McClure scapular dyskinesis test

При выполнении теста ассистированного движения лопатки врач оказывает мягкое давление на медиальный край лопатки для ее дополнительной верхней ротации и заднего наклона при выполнении пациентом отведения верхней конечности, тем самым несколько увеличивая субакромиальное пространство и выявляя роль дефицита верхней ротации лопатки и переднего ее наклона в формировании болевого синдрома при САИС. Тест ретракции лопатки выполняется в положении пациента стоя или сидя. Пациент выполняет элевацию верхней конечности, при этом исследующий мануально осуществляет ретракцию и задний наклон лопатки. Тест считается положительным, если при его выполнении уменьшается интенсивность боли [14].

Лечение дискинезии лопатки

Все типы дискинезии лопатки, включая SICK scapula, требуют специфической реабилитационной терапии с индивидуальной программой для каждого пациента в зависимости от клинических

проявлений. Восстановительное лечение включает пассивные мероприятия (ручной или инструментальный релиз укороченных и напряженных мышц, устранение триггерных точек, электромиостимуляция), а также активные мероприятия — специфические упражнения на растяжку укороченных структур и силовую тренировку ослабленных мышечных групп.

Малая грудная мышца

Способы растяжки малой грудной мышцы делятся на пассивные и активные. При пассивной растяжке (cools stretch) в положении пациента лежа на спине врач осуществляет наружную ротацию больного плеча с небольшим отведением с фиксацией лопатки. Активная растяжка малой грудной мышцы осуществляется в положении пациента стоя у стены с отведением плеча 150° и разогнутым локтевым суставом [28].

М.М. Reinold с соавторами, а также S.S. Burkhart с соавторами являются сторонниками следующих техник растяжки малой грудной мышцы [6, 29]:

1. Пассивной (без помощи врача) — в положении пациента лежа на спине со свернутым и уложенным вдоль грудного отдела позвоночника полотенцем и отведенными верхними конечностями с постепенным увеличением угла отведения до 150° (рис. 3). Пассивная растяжка на каждом угле отведения удерживается от 30 до 60 сек.

2. При возможности активной растяжки используют растяжку «90/90», предполагающую отведение плеча на 90° в сочетании со сгибанием в локтевом суставе на 90° в положении пациента стоя у стены с упором в стену предплечьем и ладонью вовлеченной верхней конечности (рис. 4).

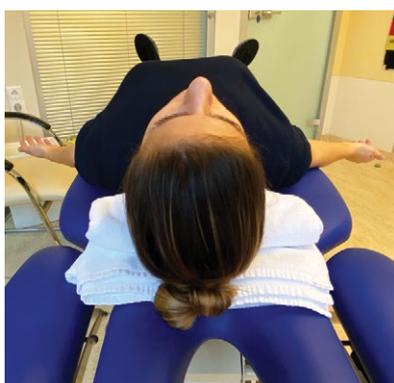


Рис. 3. Растяжка малой грудной мышцы в положении лежа на спине с валиком вдоль грудного отдела позвоночника по М.М. Reinold и S.S. Burkhart

Fig. 3. Stretching of the *pectoralis minor* muscle in the supine position with a roller along the thoracic spine according to M.M. Reinold and S.S. Burkhart



Рис. 4. Растяжка малой грудной мышцы в положении 90/90 стоя у стены или в петлях TRX

Fig. 4. Stretching of the pectoralis minor muscle in the 90/90 position standing against a wall or in TRX loops

Трапецевидная мышца

Тренировка трапецевидной мышцы (баланс верхней, средней и нижней ее порций) также предлагается специалистами в различных вариациях. А.М. Cools с соавторами особое внимание уделяют укреплению данной мышечной группы: флексия верхней конечности лежа на здоровом боку (опционально с утяжелителями при прогрессе тренировок), наружная ротация с утяжелением лежа на здоровом боку (рис. 5), а также горизонтальное отведение с наружной ротацией плеча лежа на животе с утяжелением (рис. 6). Данные упражнения оптимальны для восстановления баланса между верхней и нижней порциями трапецевидной мышцы [30]. В то же время флексия верхней конечности в положении лежа на здоровом боку (опционно — с утяжелителями при прогрессии тренировки), наружная ротация с утяжелением лежа на неповлеченном боку и билатеральное разгибание верхних конечностей с утяжелением лежа на животе указаны как наиболее эффективные для коррекции дисбаланса между верхней и средней порциями трапецевидной мышцы.

R.A. Ekstrom с соавторами отметили наибольшую электромиографическую активность нижней порции трапецевидной мышцы при выполнении горизонтального отведения лежа на животе в сочетании с наружной ротацией (горизонтального упражнения «full can»), а также горизонтального отведения на 120° (ровно по ходу направления волокон нижней порции) [31].



Рис. 5. Наружная ротация в положении лежа на здоровом боку с утяжелением

Fig. 5. Sidelying external rotation



Рис. 6. Горизонтальное отведение в сочетании с наружной ротацией с утяжелением

Fig. 6. Horizontal abduction in combination with external rotation and weighting

По мнению М.М. Reinold, наиболее эффективным силовым упражнением, направленным на баланс сил различных пучков трапецевидной мышцы, является билатеральная наружная ротация в положении стоя при 0° отведения с резиновым эспандером перед грудной клеткой (W-exercise), акцент при этом делается на ретракции лопаток и заднем их наклоне [29] (рис. 7).



Рис. 7. Билатеральная наружная ротация в положении стоя при 0° отведения плеча с эспандером перед грудной клеткой для укрепления нижней порции трапециевидной мышцы и подостной мышцы (W-exercise)

Fig. 7. Bilateral external rotation in a standing position at 0° shoulder abduction with an expander in front of the chest to strengthen the lower portion of the trapezius muscle and the infraspinatus muscle (W-exercise)

Передняя зубчатая мышца

М.М. Reinold с соавторами в своей работе отметили, что данная мышца особенно важна для кинематики лопатки, поскольку отвечает за все компоненты нормального ее движения в трех плоскостях — верхнюю и наружную ротации, задний наклон [32].

Передняя зубчатая мышца также помогает стабилизировать медиальный край лопатки и нижний ее угол, тем самым предотвращая внутреннюю ротацию лопатки и передний наклон. Электромиографическая активность передней зубчатой мышцы увеличивается при элевации верхней конечности, однако при наличии у пациента САИС рекомендовано выполнение упражнений для укрепления передней зубчатой мышцы при меньших углах отведения, активность мышцы при которых также велика.

Некоторыми авторами описаны наиболее эффективные упражнения для укрепления передней зубчатой мышцы, самыми распространенными из которых являются «отжимания плюс» (push-up plus) — отжимания с выпрямленными локтевыми суставами исключительно за счет протракции лопаток — от стены в положении на четвереньках, а также классические «отжимания плюс» с выпрямленными коленными суставами [33, 34]. В литературе была отмечена более высокая электромиографическая активность мышцы при более горизонтальном положении тулови-

ща, то есть при наибольшем влиянии гравитации [32]. Согласно исследованиям S.Y. Jeong с соавторами и S. Kim с соавторами, электромиографическая активность передней зубчатой мышцы также при «отжиманиях плюс» на нестабильных поверхностях выше, нежели на стабильных [35, 36].

М.J. Decker с соавторами сравнили несколько групп упражнений для выявления максимально направленных на увеличение силы передней зубчатой мышцы. При электромиографии они обнаружили наибольшую активность мышцы при выполнении вышеупомянутого упражнения «отжимания плюс», или push-up plus, а также при «динамических обниманиях» (dynamic hugs) [37] (рис. 8).



Рис. 8. Динамические обнимания с резиновым эспандером

Fig. 8. Dynamic hugs with a rubber expander

Согласно исследованиям R.A. Ekstrom с соавторами, для максимальной активности передней зубчатой мышцы необходимо обязательное сочетание протракции и верхней ротации лопатки [31]. Данные условия достигаются при выполнении упражнения «динамические удары» с резиновым эспандером и флексией 120°, когда в исходном положении пациента верхняя конечность находится в состоянии приведения, а далее осуществляются горизонтальное приведение, элевация верхней конечности и разгибание в локтевых суставах с последующей протракцией лопатки.

Ромбовидные мышцы

Ромбовидные мышцы выполняют роль стабилизаторов медиального края лопатки, осуществляя ее ретракцию. R. Paine и M.L. Voight рекомендовали выполнение упражнения тяги на

ромбовидные мышцы (low row) при использовании резинового эспандера, зафиксированного на уровне живота на стабильном основании с необ-

ходимостью повторений от 10 до 20 раз, по 3 подхода при удержании сведения лопаток по 3 сек. [38] (рис. 9).



Рис. 9. Упражнение тяги на ромбовидные мышцы с резиновым эспандером
Fig. 9. Low-row exercise on rhomboid muscles with a rubber expander

Заключение

Клиническая оценка нарушений кинематики плечевого сустава необходима для определения тактики лечения различных патологий плечевого сустава. Инструментальная диагностика ДЛ затруднительна, основным методом ее выявления является использование клинических тестов. Выявление ДЛ и определение ее типа у пациентов с патологией плечевого сустава позволяют сформировать оптимальный протокол реабилитации, включающий техники миофасциального релиза, пассивную и активную растяжку спазмированных и тренировку слабых мышечных групп, направленные на коррекцию постуральных нарушений, патологии плечелопаточного ритма, восстановление нормальной биомеханики гленоумерального сустава.

Информированное согласие

Маскирование фотографий не проведено в связи с тем, что объектами фотографий являются не пациенты, а сотрудники Европейской клиники спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO) инструктор ЛФК Н.М. Попков и врач-реабилитолог Ж.Ю. Пилипсон, которые дали свое согласие на публикацию изображений без маскирования.

Литература [References]

1. Kibler W.B., Ludewig P.M., McClure P.W., Michener L.A., Bak K., Sciascia A.D. Clinical implications of scapular dyskinesis in shoulder injury: the 2013 consensus statement from the 'Scapular Summit'. *Br J Sports Med.* 2013;47(14):877-885. doi: 10.1136/bjsports-2013-092425.
2. Longo U.G., Petrillo S., Candela V., Rizzello G., Loppini M., Maffulli N. et al. Arthroscopic rotator cuff repair with and without subacromial decompression is safe and effective: a clinical study. *BMC Musculoskelet Disord.* 2020;21(1):24. doi: 10.1186/s12891-019-3032-z.
3. Dhawan R., Singh R.A., Tins B., Hay S.M. Sternoclavicular joint. *Shoulder Elbow.* 2018;10(4):296-305. doi: 10.1177/1758573218756880.
4. Van Tongel A., De Wilde L. Sternoclavicular joint injuries: a literature review. *Muscles Ligaments Tendons J.* 2012;1(3):100-105.
5. Kibler W.B., Sciascia A. Current concepts: scapular dyskinesis. *Br J Sports Med.* 2010;44(5):300-305. doi: 10.1136/bjism.2009.058834.
6. Burkhart S.S., Morgan C.D., Kibler W.B. The disabled throwing shoulder: spectrum of pathology Part III: The SICK scapula, scapular dyskinesis, the kinetic chain, and rehabilitation. *Arthroscopy.* 2003;19(6):641-661. doi: 10.1016/s0749-8063(03)00389-x.
7. Huang T.S., Ou H.L., Huang C.Y., Lin J.J. Specific kinematics and associated muscle activation in individuals with scapular dyskinesis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(8):1227-1234. doi: 10.1016/j.jse.2014.12.022.
8. Inman V.T., Saunders J.B., Abbott L.C. Observations of the function of the shoulder joint. 1944. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(330):3-12. doi: 10.1097/00003086-199609000-00002.

9. Kibler W.B., Sciascia A., Wilkes T. Scapular dyskinesis and its relation to shoulder injury. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(6):364-372. doi: 10.5435/JAAOS-20-06-364.
10. Kibler W.B. The role of the scapula in athletic shoulder function. *Am J Sports Med.* 1998;26(2):325-337. doi: 10.1177/03635465980260022801.
11. Struyf F., Nijs J., Baeyens J.P., Mottram S., Meeusen R. Scapular positioning and movement in unimpaired shoulders, shoulder impingement syndrome, and glenohumeral instability. *Scand J Med Sci Sports.* 2011;21(3):352-358. doi: 10.1111/j.1600-0838.2010.01274.x.
12. Lee S.K., Yang D.S., Kim H.Y., Choy W.S. A comparison of 3D scapular kinematics between dominant and nondominant shoulders during multiplanar arm motion. *Indian J Orthop.* 2013;47(2):135-142. doi: 10.4103/0019-5413.108882.
13. Lee B., Kim D., Jang Y., Jin H. Three-dimensional in vivo scapular kinematics and scapulohumeral rhythm: a comparison between active and passive motion. *J Shoulder Elbow Surg.* 2020;29(1):185-194. doi: 10.1016/j.jse.2019.05.036.
14. Kibler W.B., Uhl T.L., Maddux J.W., Brooks P.V., Zeller B., McMullen J. Qualitative clinical evaluation of scapular dysfunction: a reliability study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2002;11(6):550-556. doi: 10.1067/mse.2002.126766.
15. Preziosi Standoli J., Fratolocchi F., Candela V., Preziosi Standoli T., Giannicola G., Bonifazi M. et al. Scapular Dyskinesis in Young, Asymptomatic Elite Swimmers. *Orthop J Sports Med.* 2018;6(1):2325967117750814. doi: 10.1177/2325967117750814.
16. Miller A.H., Evans K., Adams R., Waddington G., Witchalls J. Shoulder injury in water polo: A systematic review of incidence and intrinsic risk factors. *J Sci Med Sport.* 2018;21(4):368-377. doi: 10.1016/j.jsams.2017.08.015.
17. Longo U.G., Ambrogioni L.R., Berton A., Candela V., Massaroni C., Carnevale A. et al. Scapular Dyskinesis: From Basic Science to Ultimate Treatment. *Int J Environ Res Public Health.* 2020;17(8):2974. doi: 10.3390/ijerph17113810.
18. Berthold J.B., Burg T.M., Nussbaum R.P. Long Thoracic Nerve Injury Caused by Overhead Weight Lifting Leading to Scapular Dyskinesis and Medial Scapular Winging. *J Am Osteopath Assoc.* 2017;117(2):133-137. doi: 10.7556/jaoa.2017.025.
19. Gumina S., Di Giorgio G., Postacchini F., Postacchini R. Subacromial space in adult patients with thoracic hyperkyphosis and in healthy volunteers. *Chir Organi Mov.* 2008;91(2):93-96. doi: 10.1007/s12306-007-0016-1.
20. Otoshi K., Takegami M., Sekiguchi M., Onishi Y., Yamazaki S., Otani K. et al. Association between kyphosis and subacromial impingement syndrome: LOHAS study. *J Shoulder Elbow Surg.* 2014;23(12):e300-e307. doi: 10.1016/j.jse.2014.04.010.
21. Provencher M.T., Kirby H., McDonald L.S., Golijanin P., Gross D., Campbell K.J. et al. Surgical Release of the Pectoralis Minor Tendon for Scapular Dyskinesia and Shoulder Pain. *Am J Sports Med.* 2017;45(1):173-178. doi: 10.1177/0363546516664720.
22. Umehara J., Nakamura M., Nishishita S., Tanaka H., Kusano K., Ichihashi N. Scapular kinematic alterations during arm elevation with decrease in pectoralis minor stiffness after stretching in healthy individuals. *J Shoulder Elbow Surg.* 2018;27(7):1214-1220. doi: 10.1016/j.jse.2018.02.037.
23. Pires E.D., Camargo P.R. Analysis of the kinetic chain in asymptomatic individuals with and without scapular dyskinesis. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2018;54:8-15. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2018.02.017.
24. Uga D., Nakazawa R., Sakamoto M. Strength and muscle activity of shoulder external rotation of subjects with and without scapular dyskinesis. *J Phys Ther Sci.* 2016;28(4):1100-1105. doi: 10.1589/jpts.28.1100.
25. Kluemper M., Uhl T., Hazelrigg H. Effect of stretching and strengthening shoulder muscles on forward shoulder posture in competitive swimmers. *J Sports Rehabil.* 2006;15(1):58-70. doi: 10.1123/jsr.15.1.58.
26. Borstad J.D., Ludewig P.M. The effect of long versus short pectoralis minor resting length on scapular kinematics in healthy individuals. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2005;35(4):227-238. doi: 10.2519/jospt.2005.35.4.227.
27. McClure P., Tate A.R., Kareha S., Irwin D., Zlupko E. A clinical method for identifying scapular dyskinesis, part 1: reliability. *J Athl Train.* 2009;44(2):160-164. doi: 10.4085/1062-6050-44.2.160.
28. Ellenbecker T.S., Cools A. Rehabilitation of shoulder impingement syndrome and rotator cuff injuries: an evidence-based review. *Br J Sports Med.* 2010;44(5):319-327. doi: 10.1136/bjsm.2009.058875.
29. Reinold M.M., Gill T.J., Wilk K.E., Andrews J.R. Current concepts in the evaluation and treatment of the shoulder in overhead throwing athletes, part 2: injury prevention and treatment. *Sports Health.* 2010;2(2):101-115. doi: 10.1177/1941738110362518.
30. Cools A.M., Dewitte V., Lanszweert F., Notebaert D., Roets A., Soetens B. et al. Rehabilitation of Scapular Muscle Balance. *Am J Sports Med.* 2007;35(10):1744-1751. doi: 10.1177/0363546507303560.
31. Ekstrom R.A., Donatelli R.A., Soderberg G.L. Surface electromyographic analysis of exercises for the trapezius and serratus anterior muscles. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2003;33(5):247-258. doi: 10.2519/jospt.2003.33.5.247.
32. Reinold M.M., Escamilla R.F., Wilk K.E. Current concepts in the scientific and clinical rationale behind exercises for glenohumeral and scapulothoracic musculature. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(2):105-117. doi: 10.2519/jospt.2009.2835.
33. Ludewig P.M., Reynolds J.F. The association of scapular kinematics and glenohumeral joint pathologies. *J Orthop Sports Phys Ther.* 2009;39(2):90-104. doi: 10.2519/jospt.2009.2808.
34. Escamilla R.F., Yamashiro K., Paulos L., Andrews J.R. Shouldermuscleactivityandfunctionincommonshoulder rehabilitation exercises. *Sports Med.* 2009;39(8):663-685. doi: 10.2165/00007256-200939080-00004.
35. Jeong S.Y., Chung S.H., Shim J.H. Comparison of Upper Trapezius, Anterior Deltoid and Serratus Anterior Muscle Activity during Push-up plus Exercise on Slings and a Stable Surface. *J Phys Ther Sci.* 2014;26(6):937-939. doi: 10.1589/jpts.26.937.
36. Kim S., Kwon O., Kim S., Park K., Choung S., Weon J. Serratus anterior muscle activation during knee push-up plus exercise performed on static stable, static unstable, and oscillating unstable surfaces in healthy subjects. *Physical Therapy in Sport.* 2014;15(1):20-25. doi: 10.1016/j.ptsp.2013.01.001.
37. Decker M.J., Hintermeister R.A., Faber K.J., Hawkins R.J. Serratus anterior muscle activity during selected rehabilitation exercises. *Am J Sports Med.* 1999;27:784-791. doi: 10.1177/03635465990270061601.
38. Paine R., Voight M.L. The role of the scapula. *Int J Sports Phys Ther.* 2013;8:617-629.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Пилипсон Жанна Юрьевна — врач-реабилитолог, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия
e-mail: zhpilipson@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1412-9986>

Ильин Дмитрий Олегович — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO); ассистент кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО РУДН, г. Москва, Россия
e-mail: ilyinshoulder@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2493-4601>

Логвинов Алексей Николаевич — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия
e-mail: logvinov09@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3235-5407>

Фролов Александр Владимирович — канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO); доцент кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО РУДН, г. Москва, Россия
e-mail: a.frolov1980@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2973-8303>

Васильев Иван Андреевич — ординатор кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО РУДН; врач-стажер, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия
e-mail: ivasilev@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1163-950X>

Бессонов Дмитрий Александрович — ординатор кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО РУДН; врач-стажер, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO), г. Москва, Россия
e-mail: dbessonov@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0532-9847>

Ачкасов Евгений Евгеньевич — д-р мед. наук, профессор, заведующий кафедрой лечебной физкультуры и спортивной медицины, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет)» Минздрава России, г. Москва, Россия
e-mail: achkasov_e_e@staff.sechenov.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9964-5199>

Королев Андрей Вадимович — д-р мед. наук, профессор, врач травматолог-ортопед, Европейская клиника спортивной травматологии и ортопедии (ECSTO); профессор кафедры травматологии и ортопедии, ФГАОУ ВО РУДН, г. Москва, Россия
e-mail: akorolev@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8769-9963>

Заявленный вклад авторов

Все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

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

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS' INFORMATION:

Zhanna Yu. Pilipson — European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia
e-mail: zhpilipson@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1412-9986>

Dmitrii O. Il'in — Cand. Sci. (Med.), European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO); RUDN University, Moscow, Russia
e-mail: ilyinshoulder@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-2493-4601>

Aleksei N. Logvinov — Cand. Sci. (Med.), European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia
e-mail: logvinov09@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0003-3235-5407>

Aleksandr V. Frolov — Cand. Sci. (Med.), European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO); RUDN University, Moscow, Russia
e-mail: a.frolov1980@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-2973-8303>

Ivan A. Vasiliev — RUDN University; European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia
e-mail: ivasilev@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-1163-950X>

Dmitrii A. Bessonov — RUDN University; European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO), Moscow, Russia
e-mail: dbessonov@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-0532-9847>

Evgenii E. Achkasov — Dr. Sci. (Med.), Professor, Sechenov University, Moscow, Russia
e-mail: achkasov_e_e@staff.sechenov.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9964-5199>

Andrey V. Korolev — Dr. Sci. (Med.), Professor, European Clinic of Sports Traumatology and Orthopedics (ECSTO); RUDN University, Moscow, Russia
e-mail: akorolev@emcmos.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8769-9963>



Инструментальная диагностика и предоперационное планирование артроскопии тазобедренного сустава при фемороацетабулярном импинджмент-синдроме: лекция

О.Е. Богопольский

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Фемороацетабулярный импинджмент (ФАИ) по своей сути является механическим конфликтом, возникающим при взаимодействии края вертлужной впадины с головкой и шейкой бедренной кости и сопровождающимся клиническими проявлениями. В основе этого конфликта, как правило, лежит одно- или двусторонний анатомический дефект костей, обуславливающий неправильную форму тазобедренного сустава (ТБС) врожденной или приобретенной этиологии. Базовым инструментом лучевой диагностики патологии области ТБС традиционно считается рентгенография, выполненная в прямой проекции и в положении Dunn 45° с наружной ротацией 40°, позволяющая оценить анатомо-морфологическое строение образующих сустав поверхностей и их взаимоотношение. Выявление выраженных деформаций ТБС может потребовать проведения компьютерной томографии. Для оценки состояния мягкотканых структур ТБС, повреждения которых часто встречаются у пациентов с ФАИ, используется магнитно-резонансная томография или магнитно-резонансная артрография. Современным методом лечения пациентов с ФАИ является артроскопия ТБС, к неоспоримым преимуществам которой можно отнести малую травматичность операции, низкий уровень интраоперационных осложнений и короткий послеоперационный реабилитационный период. Для ее успешного проведения необходимо учитывать сложность выполнения, длительность, потребность в хорошей технической оснащенности процесса и высокий уровень мастерства оперирующего врача. Однако данная операция имеет ряд ограничений, что необходимо учитывать при отборе пациентов.

Ключевые слова: артроскопия тазобедренного сустава, фемороацетабулярный импинджмент, повреждение суставной губы, лучевые методы диагностики.

Источник финансирования: исследование проведено без спонсорской поддержки.

Богопольский О.Е. Инструментальная диагностика и предоперационное планирование артроскопии тазобедренного сустава при фемороацетабулярном импинджмент-синдроме: лекция. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):155-168. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1636>.

Cite as: Bogopolskiy O.E. [Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):155-168. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1636>.

Богопольский Олег Евгеньевич / Oleg E. Bogopolskiy; e-mail: 9202211@gmail.com

Рукопись получена: 18.06.2021. Рукопись одобрена: 16.11.2021. Статья опубликована онлайн: 30.11.2021. Submitted: 18.06.2021. Accepted: 16.11.2021. Published Online: 30.11.2021.

Instrumental Diagnosis and Preoperative Planning of Hip Arthroscopy in Femoroacetabular Impingement Syndrome: Lecture

Oleg E. Bogopolskiy

*Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics,
St. Petersburg, Russia*

Abstract

Femoroacetabular impingement syndrome (FAI) is essentially a mechanical conflict that occurs when the acetabulum edge of the pelvic bone interacts with femur head and neck with clinical symptoms. In a basis of this conflict, as a rule, is a single or bilateral anatomical bone defect that causes an irregular shape of the hip joint with congenital or acquired etiology. Radiography, performed in a direct projection and in 45° Dunn position with external rotation of 40°, is traditionally considered as basic tool for the radiological diagnosis of hip joint pathology. It allows to assess the anatomical and morphological structure of joint surfaces and their relationship. Detection of severe hip deformations may require computed tomography (CT). Magnetic resonance imaging (MRI) or magnetic resonance arthrography (MRA) is used to assess the condition of soft tissue structures of hip joint, its damage is often found in patients with FAI. The modern method of treating patients with FAI is hip arthroscopy, the undeniable advantage of which is low traumatic nature of the operation, low level of intraoperative complications and short postoperative rehabilitation period. For its successful implementation, it is necessary to take into account the complexity of performing hip arthroscopy, its duration, the necessity for good technical equipment and a high skill level of the operating surgeon. However, this operation has a number of limitations, which must be taken into account when selecting patients.

Keywords: hip arthroscopy, femoroacetabular impingement syndrome, acetabulum labrum rupture.

Funding: no funding or sponsorship was received for this study.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

Введение

Сложность выполнения артроскопии тазобедренного сустава (ТБС), в том числе при фемороацетабулярном импинджменте (ФАИ), ее длительность и потребность в высокой технической оснащенности в значительной степени окупается ее малой травматичностью, низким уровнем интраоперационных осложнений и быстрой реабилитацией пациента в послеоперационном периоде.

В середине XX в. на основании исследований трупных суставов считалось, что выполнение артроскопических операций на ТБС не перспективно из-за невозможности полноценного осмотра полости вертлужной впадины и головки бедренной кости [1]. Дальнейшее развитие знаний об анатомии, биомеханике и патологии ТБС, а также развитие техники и стремление минимизировать операционную травму привели к значительному распространению артроскопии ТБС и расширению показаний к ее применению [2, 3, 4, 5]. Однако при выполнении артроскопии ТБС имеются ограничения при коррекции внутрисуставной патологии [6]. Расширение возможностей данной операции может быть достигнуто за счет

применения медиальных доступов, однако это сопряжено с высоким риском повреждения сосудов и нервов [7]. Выросло количество операций, проводимых не только молодым пациентам, но и лицам старше 60 лет [4, 5]. Особенно возросла частота и роль артроскопии в лечении повреждений суставной губы и коррекции ФАИ [2, 8].

Существенный рост числа операций закономерно вызвал увеличение числа пациентов, которые по разным причинам оказались не довольны достигнутым результатом лечения, что потребовало повторных оперативных вмешательств. Частота повторных операций после артроскопии ТБС, по данным различных авторов, варьирует в широком диапазоне от 1,3% до 50,0% и более [9, 10, 11, 12, 13]. Наиболее частой причиной ревизионных операций является сохраняющийся импинджмент между головкой/шейкой бедренной кости и вертлужной впадиной [14].

Этиология и патогенез

В настоящее время ФАИ рассматривается как патологический процесс, обусловленный хронической механической травматизацией суставной губы, хряща и края вертлужной впадины голов-

кой или шейкой бедренной кости в результате неправильного их морфологического строения, проявляющийся болевым синдромом и зачастую ограничением движений [15, 16]. Необходимо подчеркнуть актуальность именно клинического проявления заболевания, так как наличие деформации головки бедренной кости или вертлужной впадины без клинического проявления не может быть отнесено к заболеванию, а может считаться лишь предрасполагающими факторами [15].

Асферичность суставных поверхностей может иметь место как со стороны внутрисуставного отдела бедренной кости в виде шеечно-головочных деформаций, так и со стороны вертлужной впадины. Однако чаще наблюдается смешанный тип деформаций [17, 18].

Деформация внутрисуставного отдела бедренной кости, приводящая к импинджменту и названная сам-деформацией (от англ. сам — кулак), является чаще всего следствием перенесенных в детском возрасте заболеваний, таких как эпифизиолиз головки бедренной кости, болезнь Легга–Кельве–Пертеса, или может быть следствием полученных травм, развившихся посттравматических деформаций или изменений в результате постоянных избыточных нагрузок [19, 20].

Нарушения строения вертлужной впадины носят в подавляющем большинстве врожденный характер, проявляющийся в виде недопокрытия или, наоборот, избыточного покрытия головки бедренной кости, а также выступающей передней стенки вертлужной впадины [21]. При обследовании пациента с ФАИ, кроме рутинного сбора анамнеза и осмотра пациента с проведением мануальных тестов, выполняется лучевая диагностика для выявления и оценки имеющихся патологических изменений в тазобедренном суставе.

Лучевая диагностика

Рентгенография

Традиционно диагностика патологии области ТБС начинается с рентгенографии, которая позволяет оценить морфологическое строение образующих сустав поверхностей и их взаимоотношение. Для выявления патологии различных отделов ТБС были разработаны и подробно описаны многочисленные укладки и правила их выполнения как в отечественной [22, 23, 24], так и в зарубежной литературе [25, 26, 27, 28, 29].

Рентгенологическое обследование пациента с ФАИ начинается с выполнения обзорного снимка таза в прямой проекции в положении стоя с внутренней ротацией обеих стоп на 15°. При вы-

полнении данного исследования важно не допускать ротации таза [24, 25, 26, 27]. При правильно выполненной рентгенографии таза средняя линия крестца и лонного сочленения находятся на одной линии, а «фигуры слезы» и запирающие отверстия симметричны. Выполнение рентгенограммы в положении стоя позволяет рассчитать точное значение высоты суставной щели, оценить соответствие центра ротации головки бедренной кости и вертлужной впадины, положение переднего и заднего краев вертлужной впадины в зависимости от индивидуальных пояснично-тазовых взаимоотношений [30].

Высота суставной щели является косвенным показателем износа суставного хряща и должна быть не менее 2 мм. При меньшей высоте суставной щели резко ухудшается прогноз исхода оперативного лечения [12], особенно если визуализируется неравномерное сужение суставной щели, чаще всего в латеральном отделе [31].

Рентгенологическая диагностика патологии вертлужной впадины. Наиболее важными критериями оценки анатомии вертлужной впадины являются центрально-краевой угол, предложенный Wiberg в 1939 г. и модифицированный S. Ogata в 1990 г., передний центрально-краевой угол (угол Lequesne) и угол наклона крыши вертлужной впадины (угол Tönnis).

Для определения истинного значения латерального покрытия головки бедренной кости рассчитывается латеральный центрально-краевой угол Wiberg (LCEA) в модификации S. Ogata [32]. Для построения этого угла на обзорной рентгенограмме таза проводят прямую линию, проходящую через основания «фигур слезы». Вторую линию проводят через центр головки бедренной кости, перпендикулярно первой линии. Третья линия проходит от центра головки по латеральному краю склерозированной части суставной поверхности. Угол Wiberg, образованный второй и третьей линиями — острый угол, который в норме составляет от 25° до 35° (рис. 1). Избыточный угол более 35° свидетельствует о pincer-деформации вертлужной впадины и может быть причиной импинджмента. Вариантом строения вертлужной впадины с избыточным покрытием являются глубокая вертлужная впадина и протрузия. Данный тип строения вертлужной впадины не является противопоказанием, но не благоприятен для выполнения артроскопии, с точки зрения технических сложностей и исхода [33]. Промежуточное значение от 20° до 25° считается пограничной дисплазией, а величина менее 20° — уже показатель дисплазии.

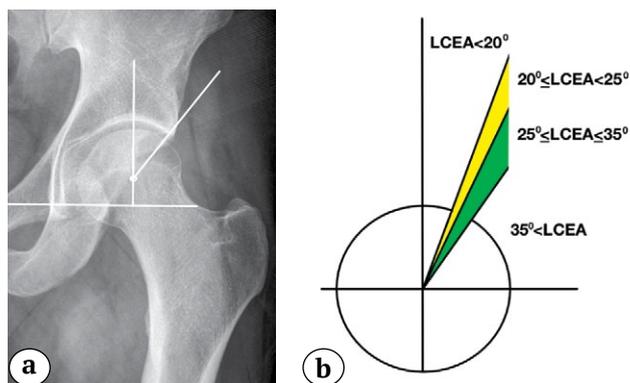


Рис. 1. Определение латерального центрально-краевого угла (LCEA) (показан левый тазобедренный сустав):

a — определение угла Wiberg в модификации Ogata; b — варианты строения вертлужной впадины в зависимости от угла LCEA

Fig. 1. Determination of the lateral center-edge angle (LCEA) (left hip joint):

a — determination of Wiberg angle in Ogata modification; b — variants of acetabulum structure depending on the LCEA

Многочисленные исследования показали хорошие результаты артроскопии у пациентов с ФАИ на фоне пограничной дисплазии вертлужной впадины при условии шва суставной губы и восстановления целостности капсулы сустава [34]. Но стоит помнить, что каждый миллиметр резекции края вертлужной впадины при восстановлении суставной губы уменьшает величину угла LCEA примерно на 1° [35]. При выявлении у пациента истинной дисплазии стоит отдавать предпочтение выполнению периацетабулярной остеотомии, возможно, с одновременной артроскопической коррекцией внутрисуставных повреждений и деформаций [36].

Выполнение рентгенограммы в прямой проекции в положении пациента стоя позволяет выявить нарушения фронтального баланса таза и при различии в длине нижних конечностей может выявить перегрузку латерального отдела сустава даже при нормальной величине угла Wiberg.

Важным показателем правильности анатомического строения вертлужной впадины является угол Tönnis. Для определения этого угла на обзорной рентгенограмме таза, выполненной в положении стоя, проводят прямую линию, проходящую через основания «фигур слезы». Вторую линию проводят через медиальный край склерозированной части крыши вертлужной впадины параллельно первой линии. Третья линия проходит от медиального края склерозированной час-

ти крыши вертлужной впадины до латерального края. Острый угол между второй и третьей линиями и есть угол наклона крыши вертлужной впадины (рис. 2a). В норме он должен составлять от 0° до 10° . Угол Tönnis меньше 0° свидетельствует о деформации типа Pincer вертлужной впадины или же о глубокой вертлужной впадине или протрузии. Угол Tönnis больше 10° является одним из признаков дисплазии ТБС (рис. 2b). В этом случае стоит обратить внимание на совпадении центров ротации головки бедренной кости и вертлужной впадины. Не стоит прибегать к артроскопии ТБС при выявлении несоответствия друг другу центров ротации, т.к. в данной ситуации это свидетельствует о подвывихе и нестабильности сустава и/или о значительном локальном износе хряща.

Важным диагностическим моментом является оценка соотношения переднего и заднего краев вертлужной впадины. В норме на рентгенограмме таза передний и задний края вертлужной впадины не пересекаются, а задний край проходит через центр ротации головки бедренной кости. Одним из вариантов строения является пересечение передней и задней стенками с правильной ориентацией задней стенки, названный признаком перекреста (cross-over sign). В этой ситуации имеет место выступающий передне-верхний край вертлужной впадины, снижающий объем сгибания и внутренней ротации в суставе. Однако чаще при наличии

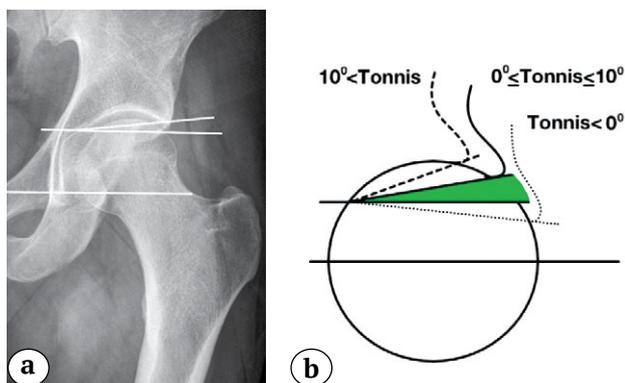


Рис. 2. Определение угла Tönnis (a); варианты строения вертлужной впадины в зависимости от угла Tönnis (b)

Fig. 2. Determination of Tönnis angle (a); variants of the acetabulum structure depending on Tönnis angle (b)

пересечения передней и задней стенок встречается ретроверсия вертлужной впадины. При этом визуализируется знак перекреста, а задняя стенка вертлужной впадины расположена медиальнее

центра ротации головки бедренной кости [37, 38]. Нередко при ретроверсии вертлужной впадины можно увидеть выступающую седалищную ость (рис. 3) [39, 40].

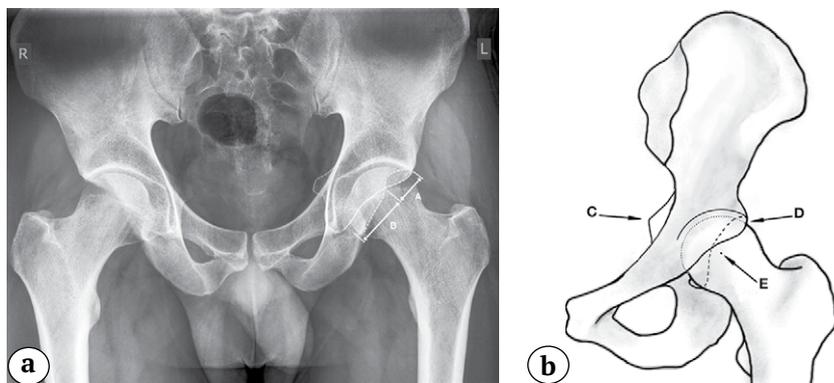


Рис. 3. Двухсторонняя ретроверсия вертлужной впадины:

a — индекс ретроверсии = $A/(A+B) \times 100$;

b — схематичное изображение ретроверсии вертлужной впадины.

C — седалищная ость; D — передний край вертлужной впадины; E — центр ротации, пунктиром обозначена задняя стенка вертлужной впадины, проходящая медиальнее центра ротации головки

Fig. 3. Bilateral acetabulum retroversion:

a — retroversion index = $A/(A+B) \times 100$;

b — schematic view of acetabulum retroversion.

C — sciatic spine; D — anterior edge of the acetabulum; E — center of rotation, dotted line indicates posterior wall of the acetabulum, passing medial to the rotation center

В литературе не удалось найти точное значение индекса ретроверсии (отношение расстояния от верхнего края вертлужной впадины до пересечения переднего и заднего краев впадины к общей длине вертлужной впадины и умноженное на 100), при котором выполнение артроскопии противопоказано. Однако отдельные исследования, в которых изучались результаты феморопластики в условиях ретроверсии вертлужной впадины, показали плохие результаты в 33,8% наблюдений [41]. В другом исследовании был получен хороший результат у пациентов с величиной средней ретроверсии 35,1% [42]. Вероятно, вопрос об ограничении показаний к артроскопии при ретроверсии вертлужной впадины должен рассматриваться не только исходя из величины индекса ретроверсии, но и на основании других анатомических факторов, в т.ч. угла сферичности головки бедренной кости.

При анализе анатомии ТБС необходимо оценить строение переднего отдела вертлужной впадины. Для этого выполняется рентгенография сустава в проекции «ложного» профиля. На рентгенограмме определяют передний центрально-краевой угол (угол Lequesne) по методике, идентичной определению латерального центрально-краевого угла. По мере накопления клинических наблюдений было сформировано разделение: передний цент-

рально-краевой угол в норме составляет 25° , угол в диапазоне $20-25^\circ$ является пограничной дисплазией, а угол менее 20° расценивается как дисплазия. J.R. Crockarell Jr. с соавторами полагают считать нормой для переднего центрально-краевого угла 17° и более [43].

Дополнительно на рентгенограмме ложного профиля необходимо оценить строение передней нижней ости подвздошной кости (anterior inferior iliac spine — AIIS), которая может создавать условия для подостного импинджмента при 2-м или 3-ем типе строения [44].

Рентгенологическая диагностика нарушения сферичности головки бедренной кости. В 2002 г. Н.Р. Nötzli с соавторами предложили метод определения деформации головки бедренной кости с использованием коронарного среза МРТ [45]. Однако этот метод применим и для рентгенограмм [46]. Сферичность головки рассчитывается путем измерения угла между линией, проведенной через центр шейки и головки бедренной кости, и второй линией, проведенной от центра головки бедренной кости к точке окончания сферичности головки, где начинается выступающая часть с большим радиусом (R), чем радиус (r) головки. Угол сферичности назван углом альфа (α), и в литературе приводятся различные его значения в норме (рис. 4).

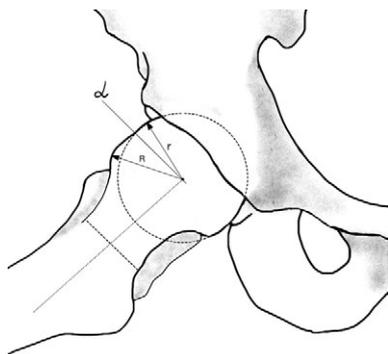


Рис. 4.
Определение угла α
Fig. 4.
Determination of the α angle

Н.Р. Nötzli с соавторами определили среднее нормальное значение угла α в 42° , С.В. Pfirrmann с соавторами и J. Zhou с соавторами — в 55° [47, 48]. К.К. Gosvig с соавторами рекомендовали определять не только нормальный угол α , но и пограничные значения, при которых в сочетании с другими факторами возможно проявление клинической картины импинджмента [49]. Нормальный угол α был определен для мужчин равным или меньше 68° , для женщин — 50° . Пограничные значения были определены от 69° до 82° для мужчин и от 51° до 56° для женщин. Некоторые исследования выявляют значительное совпадение между диапазоном значений угла α как у пациентов с симптомами ФАИ, так и в контрольной группе без клинических проявлений [50] или показывают относительно слабую дифференцировку симптоматической и бессимптомной групп в зависимости

от угла α , определяя средние значения в группе сравнения равными $47,0 \pm 2,0^\circ$, а в группе с клиническими проявлениями — $67,4 \pm 8,0^\circ$ [51].

Учитывая, что чаще всего сат-деформация головки/шейки бедренной кости локализуется в промежутке 11:45–2:45 условного циферблата для правого ТБС и 9:15–12:15 условного циферблата для левого ТБС, необходимо оценить сферичность передне-верхнего отдела головки/шейки бедренной кости [52, 53], даже если на снимке таза в прямой проекции нет данных о нарушении сферичности головки (рис. 5а). С этой целью выполняются рентгенограммы по Dunn 45° с наружной ротацией бедра на 40° (рис. 5б) и измеряется угол сферичности головки бедренной кости.

Выполнение стандартной укладки по Dunn 45° подразумевает сгибание в бедре под углом 45° , отведение на 20° и нейтральное положение стопы [54, 55, 56]. Однако в литературе зачастую выполнение укладки по Dunn 45° в классическом варианте заменяется на выполнение этой укладки с ротацией 40° . При сгибании в ТБС на 45° и наружной ротации бедра на 40° выявление деформации улучшается [57]. Иногда возникает ситуация, когда при измерении угла α мы получаем значение меньше 50 – 55° , однако визуально можно определить снижение сферичности головки бедренной кости (рис. 6а). В этой ситуации будет полезно измерение офсетного коэффициента (отношение расстояния между параллельными линиями оси шейки, которые проводятся по краю шейки и краю

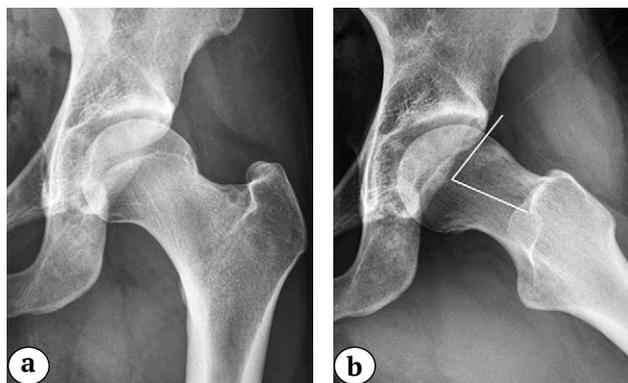


Рис. 5. Деформация передне-верхнего отдела головки/шейки бедренной кости:
а — рентгенограмма левого ТБС без признаков сат-деформации;
б — рентгенограмма левого ТБС в положении по Dunn 45° с ротацией 40°

Fig. 5. Deformation of the anterior superior part of femoral head/neck:
а — left hip X-ray without signs of cam-deformity;
б — left hip X-ray in 45° Dunn position with rotation 40°

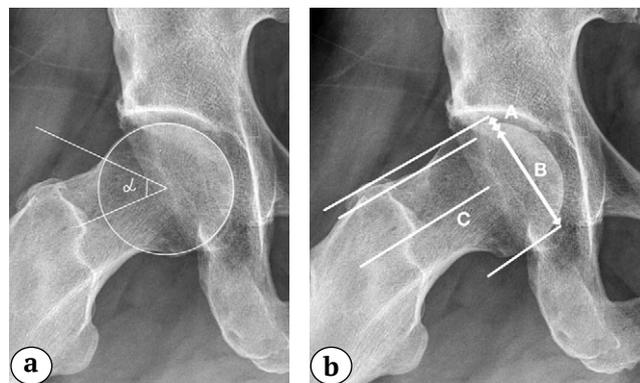


Рис. 6. Измерение офсета головки/шейки бедренной кости:
а — измерение угла α , составляющего 51° ;
б — определение офсетного коэффициента, составляющего 0,09

Fig. 6. Measurement of femoral head/neck offset:
а — α angle measurement of 51° ;
б — determination of offset ratio, which is 0.09

головки бедренной кости к диаметру головки), величина которого в норме должна быть более 0,17 (рис. 6b) [56]. Значение менее 0,17 говорит о наличии *сат*-деформации.

Измерения угла α и офсета головки/шейки можно выполнить для любого видимого на рентгенограмме отдела бедренной кости. Выявление деформации заднего и/или задне-нижнего отделов бедренной кости является показанием к открытому вывиху бедра и открытой коррекции деформации [58].

Магнитно-резонансная и компьютерная томография

Важное значение в современной системе диагностики патологии ТБС имеет МРТ, которая позволяет выявить патологические состояния как внутрисуставных мягкотканых структур, так и костные деформации, а также дает возможность дифференцировать их от околосуставной патологии, имеющей сходные клинические проявления [59]. МРТ позволяет оценить деформации во всех отделах сустава, а также провести их измерения, сопоставимые по точности с интраоперационными [60].

Внутрисуставная мягкотканная патология при ФАИ чаще всего представлена комплексным повреждением, захватывающим суставную губу и хрящ вертлужной впадины, а также головку бедренной кости [61, 62].

Наиболее оправдано использование МРТ с напряженностью магнитного поля 3 Тесла (3Т), поскольку она более чувствительная и точная, чем обычная 1,5Т МРТ для выявления поражений суставной губы и хряща [63, 64, 65]. Зачастую рентгенологи ограничиваются коронарными и аксиальными срезами, однако наибольшую диагностическую ценность в определении патологии суставной губы в передне-верхнем отделе имеют сагиттальные или радиальные срезы (проходящие через ось шейки бедренной кости), выполненные в PD FS режиме [66, 67]. Колоссальную чувствительность и диагностическую точность имеет прямая магнитно-резонансная артрография (МРА) при выявлении патологии суставной губы [68, 69]. Прямая МРА также показала высокую чувствительность при выявлении поражений хряща вертлужной впадины (71–90%) по сравнению с обычной МРТ (58–83%), но это различие не было столь значимо для выявления дефектов хряща головки бедренной кости (50–83%) соответственно [63]. Даже очень оптимистические исследования, которые определяют чувствительность и специфичность МРТ к повреждению суставной губы в 100%, сви-

детельствуют о значительно более плохом выявлении патологии суставного хряща [70, 71]. Однако применение прямой МРА ограничивают ее более высокая стоимость, техническая сложность и возможность осложнений по сравнению с МРТ [72].

Повреждение суставной губы и хряща вертлужной впадины возникает преимущественно в передне-верхнем отделе (94%), а 40% повреждений губы распространяются на другие квадранты [73]. Первоначально повреждение хряща при *сат*-деформации появляется на стороне вертлужной впадины с последующим вовлечением хряща головки бедренной кости в более поздних случаях. При *pinser*-деформации вследствие противоудара головкой бедренной кости происходит повреждение хряща не только передне-верхнего отдела, но и заднего отдела вертлужной впадины [47, 74]. Повреждение хряща при МРТ выявляется или как дефект хряща, или как линейное жидкостное расщепление вдоль вертлужной впадины, покрытой тканью с более низкой интенсивностью МР-сигнала [75]. Артроскопическим эквивалентом может быть лоскутное повреждение или так называемый «знак волны» с повреждением суставной губы или без него, но с потерей фиксации хряща к субхондральной кости [76].

Помимо прочего, МРТ является высокоточным инструментом, позволяющим выявить отек и кисты субхондральной кости вертлужной впадины [77]. Эти находки, незаметные при артроскопии, указывают на остеоартрит ТБС и должны учитываться в ходе обследования пациента как возможный предиктор неудачи оперативного лечения.

Как уже было сказано ранее, повреждение суставной губы чаще всего локализуется в передне-верхнем квадранте, что связано с наибольшей функциональной нагрузкой на этот отдел и повторяющейся травматизацией вследствие ФАИ. Нормальная суставная губа вертлужной впадины выглядит как треугольник слабого МР-сигнала с гладкими краями, плавно переходящий в хрящ вертлужной впадины или отделенный от него сублабральной бороздой. Распространенной ошибкой при оценке МРТ является определение сублабральных углублений как повреждений. Это нормальные варианты, которые, как правило, не распространяются на всю толщину суставной губы, доходят проекционно до уровня субхондральной кости и чаще наблюдаются в передне-нижней или задне-нижней части вертлужной впадины [78]. Расположение сублабральной борозды в передне-верхнем отделе стоит внимательно дифференцировать с повреждениями, которые встречаются в этой области чаще [79] (рис. 7).

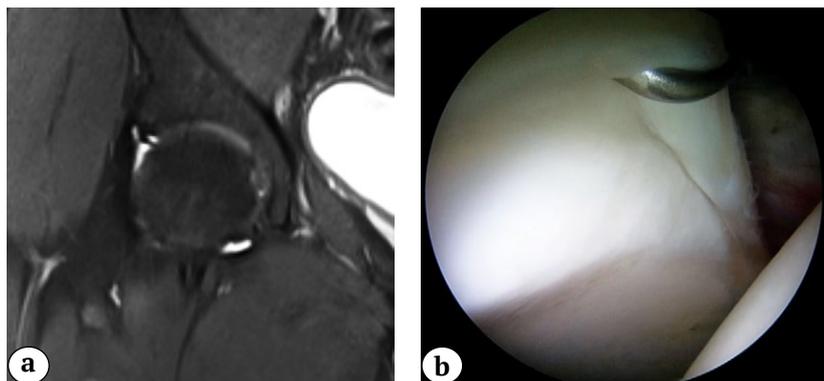


Рис. 7. Сублабральная борозда:
a — МРТ-картина сублабральной борозды;
b — вид сублабральной борозды во время артроскопии

Fig. 7. Sublabral sulcus:
a — MRI picture of sublabral sulcus;
b — sublabral sulcus arthroscopy view

Чаще всего встречаются продольные повреждения хондро-лабрального перехода с отслойкой или без отслойки суставного хряща от подлежащей субхондральной кости или горизонтальное расслоение суставной губы, нередко ведущее к образованию интралабральных или паралабральных кист, в том числе и в зоне прилегания сухожилия подвздошно-поясничной мышцы с распространением кисты по ходу сухожилия [80, 81].

Несколько иначе происходят изменения суставной губы при pincher-деформациях феморо-ацетабулярного импинджмента, соответственно, картина МРТ выглядит иначе. При хронической травматизации края вертлужной впадины головкой/шейкой бедренной кости происходят костная метаплазия края вертлужной впадины и интралабральное окостенение. Разрастаясь, костный край напоздаст на суставную губу сверху, частично замещая, истончая и ущемляя ее [82]. Кроме массивного разрастания костной ткани, возможно выявление, по данным МРТ, небольших очагов внутрिलाбрального окостенения или кальцификации, которые проявляются в виде небольших очагов интенсивности МР-сигнала, сходных с МР-сигналом от костного мозга [83].

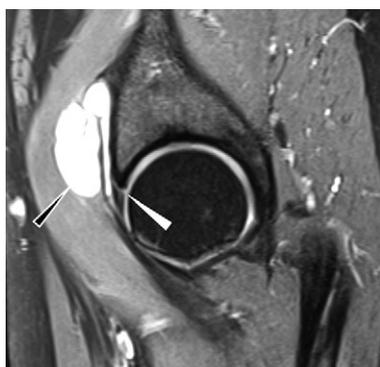


Рис. 8. Разрыв губы вертлужной впадины (белая стрелка) с формированием кисты (черная стрелка)

Fig. 8. Acetabulum labrum rupture (white arrow) with cyst formation (black arrow)

Вариантом комбинированной вне- и внутрисуставной патологии переднего отдела ТБС, сопутствующей ФАИ и выявленной по МРТ, является импинджмент-синдром *m. psoas*, сочетанный с внутрисуставным повреждением суставной губы и возможным наличием илиопектиальной бурсы или отека переднего края вертлужной впадины [84] (рис. 8, 9). Также стоит обратить внимание на строение сухожилия *m. psoas*, имеющее в 17% случаев две и более части, сохранение которых при тенотомии может повлечь рецидив импинджмента [85].

При подостном импинджменте, имитирующем передний ФАИ, или тендините прямой головки прямой мышцы бедра МРТ позволяет выявить отек в области передней нижней ости подвздошной кости и оценить тип строения АИIS [6].

Также при выполнении МРТ тазобедренного сустава в сочетании с аксиальными срезами МРТ коленного сустава можно рассчитать версию (пространственную ориентацию) шейки бедренной кости и вертлужной впадины, принимая во внимание относительную антеверсию или ретроверсию мышечков бедра [86, 87, 88]. Нормальная антеверсия шейки бедренной кости составляет приблизительно 12–13° [89]. Ретроверсия шейки бедренной

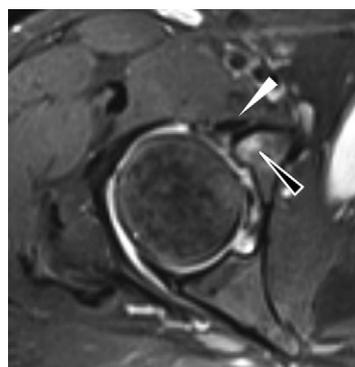


Рис. 9. Отек переднего края вертлужной впадины (черная стрелка) в проекции сухожилия *m. psoas* (белая стрелка)

Fig. 9. Edema of acetabulum anterior edge (black arrow) in the projection of tendon *m. psoas* (white arrow)

кости, как и уменьшение ее антеверсии, может усиливать значимость деформаций, поскольку контакт между вертлужной впадиной и головкой/шейкой бедренной кости происходит при минимальном сгибании в суставе и внутреннем вращении бедра, однако при правильном планировании и корректной моделирующей резекции деформаций нет разницы в результатах у пациентов с антеверсией и пациентов с ретроверсией шейки бедренной кости [90, 91].

Применение КТ при обследовании пациентов с ФАИ позволяет визуально представить нюансы анатомического строения костных структур ТБС. Однако возможности современной МРТ позволяют получить 3D-реконструкции ТБС, сопоставимые по качеству изображения с 3D-реконструкциями, полученными на компьютерных томограммах [86].

Предоперационное планирование

Максимально полное клиничко-диагностическое обследование пациента с ФАИ является основой для предоперационного планирования. При выявлении истинной дисплазии, неравномерном сужении суставной щели, деформации задних отделов головки и задней стенки вертлужной впадины с признаками травматизации, отека или кистовидной перестройки субхондральной кости вертлужной впадины, отека головки бедренной кости стоит воздержаться от проведения артротомии ТБС как приоритетного метода лечения.

Целью предоперационного планирования является всесторонняя оценка имеющихся патологических изменений ТБС для их коррекции с минимизацией риска возможных осложнений и сокращения продолжительности операции.

На выбор способа доступа может повлиять особенность строения вертлужной впадины. Наличие глубокой вертлужной впадины может усложнить использование доступа с первичной визуализацией центрального отдела сустава ввиду отсутствия достаточного пространства между головкой бедренной кости и краем вертлужной впадины, высоким риском повреждения суставной губы и хряща головки бедренной кости. В этой ситуации удобнее будет использовать доступ с первичной визуализацией периферического компартмента или экстраартикулярный доступ. Когда имеется пограничная дисплазия, стоит отдать предпочтение методу с точечным доступом или планировать шов и/или пликацию капсулы [34].

Основными этапами артроскопии ТБС при ФАИ являются моделирующая резекция костных деформаций вертлужной впадины и головки/шейки бедренной кости, рефиксация суставной губы при ее повреждении, коррекция повреждений хряща головки/шейки бедренной кости и вертлужной впадины.

Вне зависимости от использования интраоперационного рентгенологического контроля, с целью адекватной коррекции костных деформаций необходимо предварительно рассчитать объем требуемой резекции головки и шейки бедренной кости. С этой целью наиболее простым вариантом является использование рентгеновских снимков в электронном виде с коррекцией масштаба при необходимости (рис. 10).

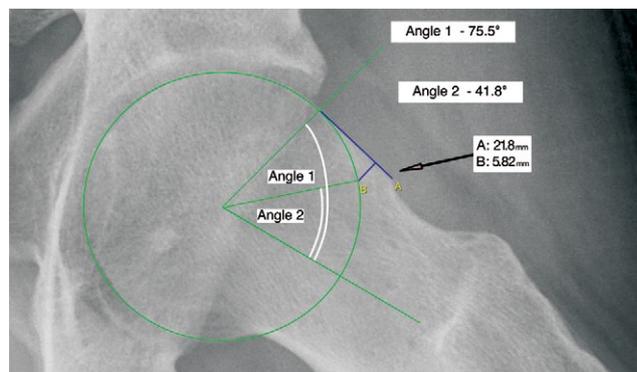


Рис. 10. Методика расчета объема планируемой резекции головки и шейки бедренной кости
Fig. 10. Estimation of planned femoral head and neck resection volume

Учитывая, что максимальная деформация головки и шейки бедренной кости располагается в передне-верхнем отделе, предоперационное планирование начинается с рентгенограмм, выполненных в укладке по Dunn 45° с наружной ротацией бедра на 40°. Для расчета необходимо вписать головку бедренной кости в круг и рассчитать угол α имеющейся деформации. Вторым этапом отмечается расчетный угол α , равный примерно 42°. Определяется самая выступающая точка костной деформации, которая, как правило, хорошо определяется интраоперационно и послужит точкой отсчета во время операции. Проводится линия, соединяющая точку максимальной деформации с точкой пересечения исходного угла α и окружности. Длина полученной линии, отмеренной от края костной деформации, дает точку начала резекции на головке бедренной кости. Для расчета глубины коррекции проводится перпендикуляр к первой линии через точку пересечения окружности с линией, определяющей желаемый послеоперационный угол α . Длина этого отрезка является глубиной костной резекции. Поскольку зона коррекции головки и шейки бедренной кости по наружному отделу часто находится под суставной губой, расчет величины резекции является важным этапом планирования оперативного вмешательства. Соответствующие измерения выполняются и на рентгенограмме таза в прямой проекции для уточ-

нения необходимого объема резекции наружного отдела головки и шейки бедренной кости.

Интраоперационная реализация плана моделирующей резекции головки и шейки бедренной кости проводится в несколько этапов, начиная с выявления максимальной деформации. От нее отмеряют точку начала резекции и задают глубину резекции. Ориентируясь на выполненный согласно расчетам участок резекции, постепенно выполняют удаление окружающих костных деформаций (рис. 11). Опираясь на данные МРТ, в предоперационном периоде можно примерно

рассчитать потребность в фиксаторах для восстановления суставной губы, исходя из расчета, что расстояние между фиксаторами должно быть от 1,0 до 1,5 см. Также стоит учесть, что повреждение суставной губы в области переднего отдела вертлужной впадины требует использования минимальных по толщине и длине имплантатов [92]. При повреждении хряща вертлужной впадины может потребоваться хондропластика вплоть до замещения хряща хондральной матрицей, для чего необходимы дополнительная техническая оснащенность и материальная база.



Рис. 11. Моделирующая резекция головки и шейки бедренной кости:
а — определение длины и глубины резекции; б — выполнение частичной резекции; с — вид после резекции

Fig. 11. Modeling femoral head and neck resection:
а — determination of length and depth of resection; б — partial resection; с — view after resection

Заключение

Артроскопия тазобедренного сустава является перспективной высокотехнологичной операцией, требующей высокого мастерства хирурга и хорошего материально-технического оснащения клиники современным оборудованием. Это один из самых прогрессивных и быстро развивающихся в технологическом плане методов коррекции патологии тазобедренного сустава, который позволяет существенно снизить хирургическую агрессию в отношении сустава и самого пациента. ФАИ является частой патологией, ограничивающей физическую активность и снижающей качество жизни молодых пациентов. При обследовании пациентов не теряет своей актуальности выполнение рентгенографии таза с дополнительными укладками, которые позволяют оценить строение суставообразующих костных структур и нарушения взаимоотношений между ними. Учитывая частую патологию суставной губы и хряща вертлужной впадины при ФАИ, крайне желательным является выполнение МРТ на современных томографах с напряженностью магнитного поля 3Т. Совокупность этих данных дает возможность выполнить отбор пациентов, у которых артроскопическая коррекция позволит добиться макси-

мального результата, и провести предоперационное планирование для полноценной коррекции внутрисуставных повреждений и снижения риска возможных осложнений.

Благодарности

Автор выражает благодарность д.м.н. Татьяне Николаевне Воронцовой за оказание методической помощи и Анне Сергеевне Богопольской за перевод текстов статей с английского на русский язык.

Литература [References]

1. Burman M.S. Arthroscopy or the direct visualization of joints: an experimental cadaver study. 1931. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(390):5-9. doi: 10.1097/00003086-200109000-00003.
2. Bozic K.J., Chan V., Valone F.H. 3rd, Feeley B.T., Vail T.P. Trends in hip arthroscopy utilization in the United States. *J Arthroplasty.* 2013;28(8 Suppl):140-143. doi: 10.1016/j.arth.2013.02.039.
3. Colvin A.C., Harrast J., Harner C. Trends in hip arthroscopy. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(4):e23. doi: 10.2106/1BJS.J.01886.
4. Montgomery S.R., Ngo S.S., Hobson T., Nguyen S., Alluri R., Wang J.C. et al. Trends and demographics in hip arthroscopy in the United States. *Arthroscopy.* 2013;29(4):661-665. doi: 10.1016/j.arthro.2012.11.005.

5. Sing D.C., Feeley B.T., Tay B., Vail T.P., Zhang A.L. Age-Related Trends in Hip Arthroscopy: A Large Cross-Sectional Analysis. *Arthroscopy*. 2015;31(12):2307-2313.e2. doi: 10.1016/j.arthro.2015.06.008.
6. Zaltz I., Kelly B.T., Larson C.M., Leunig M., Bedi A. Surgical treatment of femoroacetabular impingement: what are the limits of hip arthroscopy? *Arthroscopy*. 2014;30(1):99-110. doi: 10.1016/j.arthro.2013.10.005.
7. Polesello G.C., Queiroz M.C., de Figueiredo M.J.P.S.S., Braga S.R., Ricioli W.J.r, Akkari M. Medial hip arthroscopy portals: a novel approach for hip pathologies. Is it feasible? *Hip Int*. 2017;27(3):e3-e5. doi: 10.5301/hipint.5000495.
8. Lee Y.K., Ha Y.C., Yoon B.H., Koo K.H. National trends of hip arthroscopy in Korea. *J Korean Med Sci*. 2014;29(2):277-280. doi: 10.3346/jkms.2014.29.2.277.
9. Bogunovic L., Gottlieb M., Pashos G., Baca G., Clohisy J.C. Why do hip arthroscopy procedures fail? *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(8):2523-2529. doi: 10.1007/s11999-013-3015-6.
10. Haviv B., O'Donnell J. The incidence of total hip arthroplasty after hip arthroscopy in osteoarthritic patients. *Sports Med Arthrosc Rehabil Ther Technol*. 2010;2:18. doi: 10.1186/1758-2555-2-18.
11. Gupta A., Redmond J.M., Stake C.E., Dunne K.F., Domb B.G. Does Primary Hip Arthroscopy Result in Improved Clinical Outcomes?: 2-Year Clinical Follow-up on a Mixed Group of 738 Consecutive Primary Hip Arthroscopies Performed at a High-Volume Referral Center. *Am J Sports Med*. 2016;44(1):74-82. doi: 10.1177/0363546514562563.
12. Philippon M.J., Briggs K.K., Carlisle J.C., Patterson D.C. Joint space predicts THA after hip arthroscopy in patients 50 years and older. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(8):2492-2496. doi: 10.1007/s11999-012-2779-4.
13. Philippon M.J., Schroder E., Souza B.G., Briggs K.K. Hip arthroscopy for femoroacetabular impingement in patients aged 50 years or older. *Arthroscopy*. 2012;28(1):59-65. doi: 10.1016/j.arthro.2011.07.004.
14. Bogunovic L., Gottlieb M., Pashos G., Baca G., Clohisy J.C. Why do hip arthroscopy procedures fail? *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(8):2523-2529. doi: 10.1007/s11999-013-3015-6.
15. Griffin D.R., Dickenson E.J., O'Donnell J., Agricola R., Awan T., Beck M. et al. The Warwick Agreement on femoroacetabular impingement syndrome (FAI syndrome): an international consensus statement. *Br J Sports Med*. 2016;50(19):1169-1176. doi: 10.1136/bjsports-2016-096743.
16. Reiman M.P., Agricola R., Kemp J.L., Heerey J.J., Weir A., van Klip P. et al. Consensus recommendations on the classification, definition and diagnostic criteria of hip-related pain in young and middle-aged active adults from the International Hip-related Pain Research Network, Zurich 2018. *Br J Sports Med*. 2020;54(11):631-641. doi: 10.1136/bjsports-2019-101453.
17. Hong S.J., Shon W.Y., Lee C.Y., Myung J.S., Kang C.H., Kim B.H. Imaging findings of femoroacetabular impingement syndrome: focusing on mixed-type impingement. *Clin Imaging*. 2010;34(2):116-120. doi: 10.1016/j.clinimag.2009.04.025.
18. Tannast M., Siebenrock K.A., Anderson S.E. Femoroacetabular impingement: radiographic diagnosis--what the radiologist should know. *AJR Am J Roentgenol*. 2007;188(6):1540-1552. doi: 10.2214/AJR.06.0921.
19. Jaber F.M., Parvizi J. Hip pain in young adults: femoroacetabular impingement. *J Arthroplasty*. 2007; 22(7 Suppl 3):37-42. doi: 10.1016/j.arth.2007.05.039.
20. Doran C., Pettit M., Singh Y., Sunil Kumar K.H., Khanduja V. Does the Type of Sport Influence Morphology of the Hip? A Systematic Review. *Am J Sports Med*. 2021;3635465211023500. doi: 10.1177/03635465211023500.
21. Zhou J., Melugin H.P., Hale R.F., Leland D.P., Bernard C.D., Levy B.A. et al. The Prevalence of Radiographic Findings of Structural Hip Deformities for Femoroacetabular Impingement in Patients With Hip Pain. *Am J Sports Med*. 2020;48(3):647-653. doi: 10.1177/0363546519896355.
22. Блищ О.Ю. Боль в тазобедренном суставе: современные представления о возможностях и роли различных методов лучевой диагностики в определении причин болевого синдрома. *Лучевая диагностика и терапия*. 2014;(2):37-45. doi: 10.22328/2079-5343-2014-2-37-45. Blisch O.Yu. [Hip pain: MRI potential for diagnostics Hip pain causes. Diagnostic radiology and radiotherapy]. *Лучевая диагностика и терапия* [Diagnostic Radiology and Radiotherapy]. 2014;(2):37-45. (In Russian). doi: 10.22328/2079-5343-2014-2-37-45.
23. Тихилов Р.М., Шубняков И.И. Руководство по хирургии тазобедренного сустава. СПб.; 2014. Т.1. 368 с. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I. Guide to Hip Surgery. St. Petersburg; 2014. Vol. 1. 368 p.
24. Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Плиев Д.Г., Богопольский О.Е., Гуацаев М.С. Возможности рентгенографии в ранней диагностике патологии тазобедренного сустава. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(1):117-131. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-117-131. Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Pliev D.G., Bogopolsky O.Y., Guatsaev M.S. [Roentgenography potentialities for early diagnosis of Hip pathologies]. *Травматология и ортопедия России* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(1):117-131. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-1-117-131.
25. Lim S.J., Park, Y.S. Plain Radiography of the Hip: A Review of Radiographic Techniques and Image Features. *Hip Pelvis*. 2015;27(3):125-134. doi: 10.5371/hp.2015.27.3.125.
26. Polesello G.C., Nakao T.S., de Queiroz M.C., Daniachi D., Ricioli W.Jr, Guimarães R.P. et al. Proposal for standardization of radiographic studies on the hip and pelvis. *Giancarlo Rev Bras Ortop*. 2015;46(6):634-642. doi: 10.1016/s2255-4971(15)30318-9.
27. Siebenrock K.A., Kalbermatten D.F., Ganz R. Effect of pelvic tilt on acetabular retroversion: a study of pelvis from cadavers. *Clin Orthop Relat Res*. 2003;(407):241-248. doi: 10.1097/00003086-200302000-00033.
28. Tannast M., Zheng G., Anderegg C., Burckhardt K., Langlotz F., Ganz R. et al. Tilt and rotation correction of acetabular version on pelvic radiographs. *Clin Orthop Relat Res*. 2005;438:182-190. doi: 10.1097/01.blo.0000167669.26068.c5.
29. The adult hip: hip preservation surgery. Ed. by J.C. Clohisy et al. Philadelphia: Wolters kluwer Health; 2015. Ch. 12. p. 131-143.
30. Zilber S., Lazennec J.Y., Gorin M., Saillant G. Variations of caudal, central, and cranial acetabular anteversion according to the tilt of the pelvis. *Surg Radiol Anat*. 2004;26(6):462-465. doi: 10.1007/s00276-004-0254-y.

31. Rosinsky P.J., Chen J.W., Lall A.C., Wojnowski N.M., Shapira J., Maldonado D.R. et al. Can Radiographic Joint Space Accurately Predict Chondral Damage During Hip Arthroscopy? A Cross-Sectional Analysis. *Arthroscopy*. 2020;36(6):1565-1572.e1. doi: 10.1016/j.arthro.2020.01.034.
32. Ogata S., Moriya H., Tsuchiya k., Akita T., Kamegaya M., Someya M. Acetabular cover in congenital dislocation of the hip. *J Bone Joint Surg Br*. 1990;72(2):190-196. doi: 10.1302/0301-620X.72B2.2312554.
33. Chandrasekaran S., Darwish N., Chaharbakshi E.O., Suarez-Ahedo C., Lodhia P., Domb B.G. Minimum 2-Year Outcomes of Hip Arthroscopic Surgery in Patients With Acetabular Overcoverage and Profunda Acetabulae Compared With Matched Controls With Normal Acetabular Coverage. *Am J Sports Med*. 2017;45(11):2483-2492. doi: 10.1177/0363546517708769.
34. Evans P.T., Redmond J.M., Hammarstedt J.E., Liu Y., Chaharbakshi E.O., Domb B.G. Arthroscopic Treatment of Hip Pain in Adolescent Patients With Borderline Dysplasia of the Hip: Minimum 2-Year Follow-Up. *Arthroscopy*. 2017;33(8):1530-1536. doi: 10.1016/j.arthro.2017.03.008.
35. Kling S., Karns M.R., Gebhart J., Kosmas C., Robbin M., Nho S.J. et al. The effect of acetabular rim recession on anterior acetabular coverage: a cadaveric study using the false-profile radiograph. *Am J Sports Med*. 2015;43(4):957-964. doi: 10.1177/0363546515571918.
36. Maldonado D.R., LaReau J.M., Perets I., Ortiz-Declet V., Laseter J.R., Lall A.C. et al. Outcomes of Hip Arthroscopy With Concomitant Periacetabular Osteotomy, Minimum 5-Year Follow-Up. *Arthroscopy*. 2019;35(3):826-834. doi: 10.1016/j.arthro.2018.10.143.
37. Jamali A.A., Mladenov K., Meyer D.C., Martinez A., Beck M., Ganz R. et al. Anteroposterior pelvic radiographs to assess acetabular retroversion: high validity of the «cross-over-sign». *J Orthop Res*. 2007;25(6):758-765. doi: 10.1002/jor.20380.
38. Reynolds D., Lucas J., Klaue K. Retroversion of the acetabulum. A cause of hip pain. *J Bone Joint Surg Br*. 1999;81(2):281-288. doi: 10.1302/0301-620x.81b2.8291.
39. Kalberer F., Sierra R.J., Madan S.S., Ganz R., Leunig M. Ischial spine projection into the pelvis: a new sign for acetabular retroversion. *Clin Orthop Relat Res*. 2008;466(3):677-683. doi: 10.1007/s11999-007-0058-6.
40. Werner C.M., Copeland C.E., Ruckstuhl T., Stromberg J., Turen C.H., Kalberer F. et al. Radiographic markers of acetabular retroversion: correlation of the cross-over sign, ischial spine sign and posterior wall sign. *Acta Orthop Belg*. 2010;76(2):166-173.
41. Vahedi H., Aalirezaie A., Schlitt P.K., Parvizi J. Acetabular Retroversion Is a Risk Factor for Less Optimal Outcome After Femoroacetabular Impingement Surgery. *J Arthroplasty*. 2019;34(7):1342-1346. doi: 10.1016/j.arth.2019.02.050.
42. Litrenta J., Mu B., Chen A.W., Ortiz-Declet V., Perets I., Domb B.G. Radiographic and Clinical Outcomes of Adolescents With Acetabular Retroversion Treated Arthroscopically. *J Pediatr Orthop*. 2019;39(10):510-515. doi: 10.1097/BPO.0000000000001063.
43. Crockarell J.R. Jr., Trousdale R.T., Guyton J.L. The anterior centre-edge angle. A cadaver study. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82(4):532-534. doi: 10.1302/0301-620x.82b4.10063.
44. Hetsroni I., Poultsides L., Bedi A., Larson C.M., Kelly B.T. Anterior inferior iliac spine morphology correlates with hip range of motion: a classification system and dynamic model. *Clin Orthop Relat Res*. 2013;471(8):2497-2503. doi: 10.1007/s11999-013-2847-4.
45. Nötzli H.P., Wyss T.F., Stoecklin C.H., Schmid M.R., Treiber K., Hodler J. The contour of the femoral head-neck junction as a predictor for the risk of anterior impingement. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(4):556-560. doi: 10.1302/0301-620x.84b4.12014.
46. Barton C., Salineros M.J., Rakhra K.S., Beaulé P.E. Validity of the alpha angle measurement on plain radiographs in the evaluation of cam-type femoroacetabular impingement. *Clin Orthop Relat Res*. 2011;469(2):464-469. doi: 10.1007/s11999-010-1624-x.
47. Pfirrmann C.W., Mengiardi B., Dora C., Kalberer F., Zanetti M., Hodler J. Cam and pincer femoroacetabular impingement: characteristic MR arthrographic findings in 50 patients. *Radiology*. 2006;240(3):778-785. doi: 10.1148/radiol.2403050767.
48. Zhou J., Melugin H.P., Hale R.F., Leland D.P., Bernard C.D., Levy B.A. et al. The Prevalence of Radiographic Findings of Structural Hip Deformities for Femoroacetabular Impingement in Patients With Hip Pain. *Am J Sports Med*. 2020;48(3):647-653. doi: 10.1177/0363546519896355.
49. Gosvig K.K., Jacobsen S., Palm H., Sonne-Holm S., Magnusson E. A new radiological index for assessing asphericity of the femoral head in cam impingement. *J Bone Joint Surg Br*. 2007;89(10):1309-1316. doi: 10.1302/0301-620X.89B10.19405.
50. Sutter R., Dietrich T.J., Zingg P.O., Pfirrmann C.W. How useful is the alpha angle for discriminating between symptomatic patients with cam-type femoroacetabular impingement and asymptomatic volunteers? *Radiology*. 2012;264(2):514-521. doi: 10.1148/radiol.12112479.
51. Mascarenhas V.V., Rego P., Dantas P., Morais F., McWilliams J., Collado D. et al. Imaging prevalence of femoroacetabular impingement in symptomatic patients, athletes, and asymptomatic individuals: A systematic review. *Eur J Radiol*. 2016;85(1):73-95. doi: 10.1016/j.ejrad.2015.10.016.
52. Ross J.R., Bedi A., Stone R.M., Sibilsy Enselman E., Leunig M., Kelly B.T. et al. Intraoperative Fluoroscopic Imaging to Treat Cam Deformities: Correlation With 3-Dimensional Computed Tomography. *Am J Sports Med*. 2014;42(6):1370-1376. doi: 10.1177/0363546514529515.
53. Larson C.M., Wulf C.A. Intraoperative fluoroscopy for evaluation of bony resection during arthroscopic management of femoroacetabular impingement in the supine position. *Arthroscopy*. 2009;25(10):1183-1192. doi: 10.1016/j.arthro.2009.07.020.
54. Meyer D.C., Beck M., Ellis T., Ganz R., Leunig M. Comparison of six radiographic projections to assess femoral head/neck asphericity. *Clin Orthop Relat Res*. 2006;445:181-185. doi: 10.1097/01.blo.0000201168.72388.24.
55. Domayer S.E., Ziebarth K., Chan J., Bixby S., Mamisch T.C., Kim Y.J. Femoroacetabular cam-type impingement: diagnostic sensitivity and specificity of radiographic views compared to radial MRI. *Eur J Radiol*. 2011;80(3):805-810. doi: 10.1016/j.ejrad.2010.10.016.
56. Clohisey J.C., Carlisle J.C., Beaulé P.E., Kim Y.J., Trousdale R.T., Sierra R.J. et al. A systematic approach to the plain radiographic evaluation of the young adult hip. *J Bone Joint Surg Am*. 2008; 90(Suppl 4):47-66. doi: 10.2106/JBJS.H.00756.

57. Harris M.D., Kapron A.L., Peters C.L., Anderson A.E. Correlations between the alpha angle and femoral head asphericity: Implications and recommendations for the diagnosis of cam femoroacetabular impingement. *Eur J Radiol.* 2014;83(5):788-796. doi: 10.1016/j.ejrad.2014.02.005.
58. Ross J.R., Schoenecker P.L., Clohisy J.C. Surgical dislocation of the hip: evolving indications. *HSS J.* 2013;9(1):60-69. doi: 10.1007/s11420-012-9323-7.
59. Sutter R., Zanetti M., Pfirrmann C.W. New developments in hip imaging. *Radiology.* 2012;264(3):651-667. doi: 10.1148/radiol.12110357.
60. Kaplan D.J., Samim M., Burke C.J., Meislin R.J., Youm T. Validity of magnetic resonance imaging measurement of hip labral width compared with intraoperative assessment. *Arthroscopy.* 2020;36(3):751-758. doi: 10.1016/j.arthro.2019.09.027.
61. Sankar W.N., Matheney T.H., Zaltz I. Femoroacetabular impingement: current concepts and controversies. *Orthop Clin North Am.* 2013;44(4):575-589. doi: 10.1016/j.ocl.2013.07.003.
62. Volpon J.B. Femoroacetabular impingement. *Rev Bras Ortop.* 2016;51(6):621-629. doi: 10.1016/j.rboe.2016.10.006.
63. Sutter R., Zubler V., Hoffmann A., Mamisch-Saupe N., Dora C., Kalberer F. et al. Hip MRI: how useful is intraarticular contrast material for evaluating surgically proven lesions of the labrum and articular cartilage? *AJR Am J Roentgenol.* 2014;202(1):160-169. doi: 10.2214/AJR.12.10266.
64. Smith T.O., Simpson M., Ejindu V., Hing C.B. The diagnostic test accuracy of magnetic resonance imaging, magnetic resonance arthrography and computer tomography in the detection of chondral lesions of the hip. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2013;23(3):335-344. doi: 10.1007/s00590-012-0972-5.
65. Smith T.O., Hilton G., Toms A.P., Donell S.T., Hing C.B. The diagnostic accuracy of acetabular labral tears using magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography: a meta-analysis. *Eur Radiol.* 2011;21(4):863-874. doi: 10.1007/s00330-010-1956-7.
66. Yoon L.S., Palmer W.E., Kassarian A. Evaluation of radial-sequence imaging in detecting acetabular labral tears at hip MR arthrography. *Skeletal Radiol.* 2007;36(11):1029-1033. doi: 10.1007/s00256-007-0363-x.
67. Riley G.M., McWalter E.J., Stevens K.J., Safran M.R., Lattanzi R., Gold G.E. MRI of the hip for the evaluation of femoroacetabular impingement; past, present, and future. *J Magn Reson Imaging.* 2015;41(3):558-572. doi: 10.1002/jmri.24725.
68. Smith T.O., Hilton G., Toms A.P., Donell S.T., Hing C.B. The diagnostic accuracy of acetabular labral tears using magnetic resonance imaging and magnetic resonance arthrography: a meta-analysis. *Eur Radiol.* 2011;21(4):863-874. doi: 10.1007/s00330-010-1956-7.
69. Crespo-Rodríguez A.M., De Lucas-Villarrubia J.C., Pastrana-Ledesma M., Hualde-Juvera A., Méndez-Alonso S., Padron M. The diagnostic performance of non-contrast 3-Tesla magnetic resonance imaging (3-T MRI) versus 1.5-Tesla magnetic resonance arthrography (1.5-T MRI) in femoro-acetabular impingement. *Eur J Radiol.* 2017;88:109-116. doi: 10.1016/j.ejrad.2016.12.031.
70. Foreman S.C., Zhang A.L., Neumann J., von Schacky C.E., Souza R.B., Majumdar S. et al. Postoperative MRI Findings and Associated Pain Changes After Arthroscopic Surgery for Femoroacetabular Impingement. *AJR Am J Roentgenol.* 2020;214(1):177-184. doi: 10.2214/AJR.19.21421.
71. Rajeev A., Tuinebreijer W., Mohamed A., Newby M. The validity and accuracy of MRI arthrogram in the assessment of painful articular disorders of the hip. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2018;28(1):71-77. doi: 10.1007/s00590-017-2022-9.
72. Saupe N., Zanetti M., Pfirrmann C.W., Wels T., Schwenke C., Hodler J. Pain and other side effects after MR arthrography: prospective evaluation in 1085 patients. *Radiology.* 2009;250(3):830-838. doi: 10.1148/radiol.2503080276.
73. Blankenbaker D.G., De Smet A.A., Keene J.S., Fine J.P. Classification and localization of acetabular labral tears. *Skeletal Radiol.* 2007;36(5):391-397. doi: 10.1007/s00256-006-0240-z.
74. Suarez-Ahedo C., Gui C., Rabe S.M., Chandrasekaran S., Lodhia P., Domb B.G. Acetabular Chondral Lesions in Hip Arthroscopy: Relationships Between Grade, Topography, and Demographics. *Am J Sports Med.* 2017;45(11):2501-2506. doi: 10.1177/0363546517708192.
75. Pfirrmann C.W., Duc S.R., Zanetti M., Dora C., Hodler J. MR arthrography of acetabular cartilage delamination in femoroacetabular cam impingement. *Radiology.* 2008;249(1):236-241. doi: 10.1148/radiol.2491080093.
76. Konan S., Rayan F., Meermans G., Witt J., Haddad F.S. Validation of the classification system for acetabular chondral lesions identified at arthroscopy in patients with femoroacetabular impingement. *J Bone Joint Surg Br.* 2011;93(3):332-336. doi: 10.1302/0301-620X.93B3.25322.
77. Griffin J.W., Weber A.E., Kuhns B., Lewis P., Nho S.J. Imaging in Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement: A Comprehensive Approach. *Clin Sports Med.* 2016;35(3):331-344. doi: 10.1016/j.csm.2016.02.002.
78. Studler U., Kalberer F., Leunig M., Zanetti M., Hodler J., Dora C. et al. MR arthrography of the hip: differentiation between an anterior sublabral recess as a normal variant and a labral tear. *Radiology.* 2008;249(3):947-954. doi: 10.1148/radiol.2492080137.
79. DuBois D.F., Omar I.M. MR imaging of the hip: normal anatomic variants and imaging pitfalls. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2010;18(4):663-674. doi: 10.1016/j.mric.2010.09.003.
80. Bredella M.A., Ulbrich E.J., Stoller D.W., Anderson S.E. Femoroacetabular impingement. *Magn Reson Imaging Clin N Am.* 2013;21(1):45-64. doi: 10.1016/j.mric.2012.08.012.
81. Kassarian A., Yoon L.S., Belzile E., Connolly S.A., Millis M.B., Palmer W.E. Triad of MR arthrographic findings in patients with cam-type femoroacetabular impingement. *Radiology.* 2005;236(2):588-592. doi: 10.1148/radiol.2362041987.
82. Ganz R., Leunig M., Leunig-Ganz K., Harris W.H. The etiology of osteoarthritis of the hip: an integrated mechanical concept. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466(2):264-272. doi: 10.1007/s11999-007-0060-z.
83. Werlen S., Leunig M., Ganz R. Magnetic Resonance Arthrography of the Hip in Femoroacetabular Impingement: Technique and Findings. *Operativ Tech Orthopaedics.* 2005;15(3):191-203. doi: 10.1053/j.oto.2005.07.007.
84. Blankenbaker D.G., Tuite M.J., Keene J.S., A. Munoz del Rio. Labral injuries due to iliopsoas impingement: can they be diagnosed on MR arthrography? *AJR Am J Roentgenol.* 2012;199(4):894-900. doi: 10.2214/AJR.11.8211.

85. Ilizaliturri V.M. Jr., Suarez-Ahedo Сю, Асуña М. Internal Snapping Hip Syndrome: Incidence of Multiple-Tendon Existence and Outcome After Endoscopic Transcapsular Release. *Arthroscopy*. 2015;31(10):1991-1995. doi: 10.1016/j.arthro.2015.04.083.
86. Samim M., Eftekhary N., Vigdorchik J.M., Elbuluk A., Davidovitch R., Youm T. et al. 3D-MRI versus 3D-CT in the evaluation of osseous anatomy in femoroacetabular impingement using Dixon 3D FLASH sequence. *Skeletal Radiol*. 2019;48(3):429-436. doi: 10.1007/s00256-018-3049-7.
87. Li A.E., Jawetz S.T., Greditzer H.G. 4th, Burge A.J., Nawabi D.H., Potter H.G. MRI for the preoperative evaluation of femoroacetabular impingement. *Insights Imaging*. 2016;7(2):187-198. doi: 10.1007/s13244-015-0459-0.
88. Sutter R., Dietrich T.J., Zingg P.O., Pfirrmann C.W. Assessment of Femoral Antetorsion With MRI: Comparison of Oblique Measurements to Standard Transverse Measurements. *AJR Am J Roentgenol*. 2015;205(1):130-135. doi: 10.2214/AJR.14.13617.
89. Sutter R., Dietrich T.J., Zingg P.O., Pfirrmann C.W. Femoral antetorsion: comparing asymptomatic volunteers and patients with femoroacetabular impingement. *Radiology*. 2012;263(2):475-483. doi: 10.1148/radiol.12111903.
90. Lall A.C., Battaglia M.R., Maldonado D.R., Perets I., Laseter J.R., Go C.C. et al. Does Femoral Retroversion Adversely Affect Outcomes After Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement Syndrome? A Midterm Analysis. *Arthroscopy*. 2019;35(11):3035-3046. doi: 10.1016/j.arthro.2019.03.046.
91. Menge T.J., Briggs K.K., Dornan G.J., McNamara S.C., Philippon M.J. Survivorship and Outcomes 10 Years Following Hip Arthroscopy for Femoroacetabular Impingement: Labral Debridement Compared with Labral Repair. *J Bone Joint Surg Am*. 2017;99(12):997-1004. doi: 10.2106/JBJS.16.01060.
92. Yoo J.I., Ha Y.C., Hwang S.C., Oh J.Y., Chang E.C., Lee Y.K. et al. Factors Associated with the Risk of Articular Surface Perforation during Anchor Placement for Arthroscopic Acetabular Labral Repair. *Clin Orthop Surg*. 2017;9(4):405-412. doi: 10.4055/cios.2017.9.4.405.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Богопольский Олег Евгеньевич — врач травматолог-ортопед, НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: 9202211@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4883-0543>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR'S INFORMATION:

Oleg E. Bogopolskiy — Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation
e-mail: 9202211@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0002-4883-0543>

Комментарий

УДК 616.717.2-001.59-089.84

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1713>

Комментарий к статье О.А. Каплунова с соавторами «Лечение гипотрофического псевдоартроза ключицы: клинический случай»

И.Г. Беленький

ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия

В комментарии к статье «Лечение гипотрофического псевдоартроза ключицы: клинический случай» подробно анализируются причины несостоятельности этапов первичного и повторного остеосинтеза у пациента с закрытым переломом ключицы в средней трети диафиза. Консервативное лечение в течение 4 месяцев оказалось неэффективным. Выполненный первичный остеосинтез пластиной и серкляжным швом привел к несостоятельности фиксации и перелому пластины. После реостеосинтеза реконструктивной пластиной с костной пластикой свободным аутооттрансплантатом констатировано несращение. Выполнена резекция зоны несращения с замещением дефекта свободным васкуляризованным костно-мышечно-кожным малоберцовым лоскутом с фиксацией его реконструктивной пластиной. Через 4,5 месяца произошел перелом пластины в зоне контакта центрального отломка и трансплантата, после чего пластина была удалена с выполнением комбинированного напряженного остеосинтеза перелома с использованием элементов наружного фиксатора. Через 4,5 месяца после этой операции из-за развившегося воспаления в области наружных конструкций последние были удалены, спица в ключице оставлена с погружением ее концов под кожу. Таким образом, общий срок лечения пациента составил более двух лет. В результате достигнуто сращение перелома, но функциональный результат его сложно расценивать как хороший. Автор комментария к статье освещает современные подходы к лечению переломов ключицы, а также кратко останавливается на теории остеосинтеза в целом. Особое внимание он уделяет биологическим и механическим факторам, влияющим на консолидацию переломов. Ключом к успеху операций внутренней фиксации переломов автор комментария считает соблюдение базовых принципов остеосинтеза.

Ключевые слова: переломы ключицы, накостный остеосинтез, несращение переломов, несостоятельность остеосинтеза, внешняя фиксация переломов.

Comment

<https://doi.org/10.21823/2311-2905-1713>

Comment to the Article by O.A. Kaplunov et al. “Hypotrophic Clavicle Pseudoarthrosis Treatment: A Case Report”

Igor G. Belenkiy

St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia

In the comment on the article «Treatment of Hypotrophic Nonunion of the Clavicle: A Clinical Case», the reasons for the failure of primary and refixation of the clavicle closed fracture are analyzed in detail. A 70-year-old patient got a fracture of the middle third of the left clavicle diaphysis as a result of a fall. He underwent four surgical treatment options: plate osteosynthesis; plate osteosynthesis + bone autoplasty; plate osteosynthesis + vascularized fibular flap reconstruction; external osteosynthesis. A month after the fourth attempt of surgical treatment, fusion, improvement of the function of the right upper limb and the quality of life of the patient were achieved. Technological inaccuracy, namely, the lack of the fragments fixation stability due to the incorrectly chosen length of the plate, as well as an incomplete assessment of the

Беленький И.Г. Комментарий к статье О.А. Каплунова с соавторами «Лечение гипотрофического псевдоартроза ключицы: клинический случай». *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):169-172. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1713>.

Cite as: Belenkiy I.G. [Comment to the Article by O.A. Kaplunov et al. “Hypotrophic Clavicle Pseudoarthrosis Treatment: A Case Report”]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):169-172. (In Russian). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-1713>.

Беленький Игорь Григорьевич / Igor G. Belenkiy; e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru

Рукопись получена: 07.12.2021. Статья опубликована: 17.12.2021.
Submitted: 07.12.2021. Published: 17.12.2021.

© Беленький И.Г., 2021
© Belenkiy I.G., 2021

anamnesis and the identified cognitive – behavioral features of the patient, are considered as possible reasons for the treatment failure. The author of the comment highlights modern approaches to the treatment of clavicle fractures, and also briefly dwells on the theory of fracture fixation in general. He pays special attention to biological and mechanical factors affecting fractures healing. The author considers the compliance with the basic principles of osteosynthesis to be the main factor in achieving good results in fracture treatment.

Keywords: clavicle fractures, fracture nonunion, plate fixation, external fixation, unstable osteosynthesis.

Competing interests: the authors declare that there are no competing interests.

В статье авторы описывают клинический случай лечения пациента с закрытым переломом ключицы в средней трети диафиза. Консервативное лечение в течение четырех месяцев оказалось неэффективным. Выполненный на этом сроке остеосинтез 1/3-трубчатой пластиной и серкляжным швом привел к несостоятельности фиксации с переломом пластины. После реостеосинтеза реконструктивной пластиной с костной пластикой свободным аутотрансплантатом через 10 мес. после реоперации констатировано несращение. Выполнена резекция зоны несращения с замещением дефекта свободным васкуляризованным костно-мышечно-кожным малоберцовым лоскутом с фиксацией его реконструктивной пластиной. Через 4,5 мес. произошел перелом пластины в зоне контакта центрального отломка и трансплантата, после чего пластина была удалена с выполнением комбинированного напряженного остеосинтеза и использованием элементов наружного фиксатора. Через 4,5 мес. после этой операции из-за развившегося воспаления в области наружных конструкций последние были удалены, спица в ключице оставлена с погружением ее концов под кожу. После этого «больной приступил к комплексной реабилитации». Таким образом, общий срок лечения пациента составил более двух лет, в результате достигнуто сращение перелома, но функциональный результат его сложно расценивать как хороший. Целью авторов было на примере представленного клинического случая показать необходимость соблюдения биологических и механических требований к остеосинтезу переломов.

Комментируя этот клинический случай, хотелось бы остановиться на современных подходах к лечению переломов ключицы и на теории остеосинтеза в целом.

Первый вопрос, на который необходимо дать ответ: а надо ли вообще оперировать закрытые неосложненные изолированные переломы ключицы? Впервые ответ на этот вопрос травматологическому сообществу дал С.С. Neer в 1960 г. [1]. Он опубликовал данные о консервативном лечении 2235 переломов ключицы в средней трети за период с 1939 по 1959 г., из которых только 3 случая (0,1%) завершились несращением. Автор считает, что основной причиной неудач в лечении переломов ключицы является неадекватное выполнение остеосинтеза.

Прошло время, и уже в 1997 г. J.M. Hill с соавторами, изучив результаты консервативного лечения 242 больных с диафизарными переломами ключицы, получили 15% несращений и 31% неудовлетворительных результатов; 11,6% больных не были удовлетворены косметическими результатами консервативного лечения. Комментируя результаты предыдущих исследований, опубликованных вплоть до конца 80-х гг. прошлого столетия, авторы говорят о том, что С.С. Neer и другие хирурги не учитывали возраст пострадавших, локализацию и тяжесть перелома. Авторы определили, что первичное укорочение ключицы на 20 мм и более является достоверным предиктором неудовлетворительного результата консервативного лечения [2].

Однако результаты, изложенные в этой работе, не выглядели достаточно убедительными. Большую ясность в проблему лечения переломов ключицы внесло мультицентровое рандомизированное исследование Канадского ортопедо-травматологического общества (COTS), в котором сравнивались консервативное лечение и остеосинтез пластиной и винтами при переломах средней трети ключицы со смещением отломков [3]. Были получены следующие результаты: сроки рентгенологического сращения у оперированных больных были значительно меньше при большей удовлетворенности результатами лечения. При наблюдении до одного года общая доля осложнений в группе оперативного лечения составила 37%, в группе консервативного лечения — 63%. Эта работа явилась своеобразным ориентиром для практикующих хирургов, которые стали более активно использовать хирургические методы в лечении переломов ключицы. Увеличению хирургической активности при подобных травмах способствовали и данные о том, что сращение ключицы в неправильном положении приводит к лопаточной дискинезии [4]. А в ряде случаев из-за давления на подлежащие нейроваскулярные структуры и нарушения кинематики мышц, ответственных за движения лопатки и плеча, это приводит к неврогенным осложнениям, описанным как TOS — toracic outlet syndrom (бледность, отеки, холодная кожа, парестезии) [5].

По мере накопления клинического материала в последние годы было опубликовано несколько метаанализов, сравнивающих консервативное и оперативное лечение переломов ключицы.

Их результаты в текущем году суммировали S.D. Jones и J.T. Bravman [6]. По их заключению, оперативное лечение переломов ключицы со смещением отломков в сравнении с консервативным увеличивает долю сращения переломов, функциональные исходы лечения и его косметические результаты. Показаниями к оперативному лечению авторы считают укорочение ключицы на 20 мм и более, смещение отломков на 100% и более или Z-образную деформацию.

Проблему несращения переломов ключицы нельзя рассматривать в отрыве от теории костного сращения в целом. Для консолидации любого перелома необходимо наличие ряда биологических и механических факторов. P. Andrzejowski и P.V. Giannoudis предложили «концепцию бриллианта» (diamond concept), расположив на вершинах углов воображаемого бриллианта биологические (живые клетки костной ткани, стимуляторы остеогенеза, остеокондуктивный матрикс, васкуляризация зоны перелома) и механические (стабильность) требования, необходимые для сращения [7]. Таким образом, для соблюдения биологических требований к остеосинтезу необходимо максимально сохранить кровоснабжение кости в зоне перелома. В этом случае при отсутствии костных дефектов васкуляризованные отломки будут содержать в себе живые остеобласты и остеоциты, белковые стимуляторы остеогенеза и гидроксипатитный остеокондуктивный матрикс, останется только адекватно стабилизировать перелом.

Однако кажущаяся простой проблема обеспечения механической стабильности остеосинтеза имеет массу тонкостей, которые необходимо знать практикующему травматологу. Согласно теории, изложенной E. Gautier и C. Sommer, имеется два базовых принципа внутренней фиксации переломов: компрессия и шинирование. Компрессия приводит к ригидной фиксации, достигается при наличии достаточного контакта между отломками и показана при простых переломах. Шинирование — метод эластической фиксации, который не требует полного контакта между отломками, может применяться при переломах внесуставной локализации и достигается техникой мостовидного остеосинтеза. При этом сохраняется микроподвижность в месте перелома, но она не препятствует сращению. Авторы также показали, что рабочая длина введенных в пластину бикортикальных винтов и, следовательно, устойчивость системы «имплантат-кость» к циклическим нагрузкам, зависит от диаметра кости. Кроме того, констатировано, что при относительно небольшом расстоянии между ближайшими к перелому винтами в зоне перелома при микроподвижности создается чрезмерно высокая концентрация нагрузки, которая может привести к несостоятельности фиксации. Для профилактики

этого осложнения при шинировании зоны перелома рекомендуется использование длинных пластин с созданием максимально возможного расстояния между ближайшими к перелому винтами. Длина пластины должна быть в 8–10 раз больше зоны шинированного простого близкого к поперечному перелома и в 2–3 раза длиннее зоны шинированного оскольчатого перелома [8].

Безусловно, все эти рекомендации являются относительными. Каждый перелом уникален, но понимание этих принципов и стремление соответствовать им в значительной мере смогут способствовать уменьшению вероятности неудач остеосинтеза.

Возвращаясь к представленному клиническому случаю, следует сказать, что показания к первичному остеосинтезу не вызывают сомнений, так как имелось несращение перелома ключицы, сопровождающееся соответствующей симптоматикой. Накостный остеосинтез представляется адекватным методом остеосинтеза в подобных случаях. Тем не менее, остеосинтез выполнен 1/3-трубчатой пластиной, не обладающей достаточной механической жесткостью. Кроме того, фиксация дополнена проволочным серкляжным швом, который сам по себе нарушает кровообращение кости, а его выполнение требует дополнительного скелетирования отломков. Таким образом, несостоятельность первичной фиксации можно было прогнозировать заранее, так как не были соблюдены ни механические, ни биологические требования к остеосинтезу.

При первой ревизионной операции применена реконструктивная пластина, обладающая необходимыми в подобных случаях механическими свойствами. Для нормализации биологической составляющей применена свободная костная пластика зоны несращения. Тем не менее, если в ходе первичного остеосинтеза пластина располагалась на передней стороне ключицы, то при реостеосинтезе хирурги расположили ее по верхней поверхности кости, что потребовало дополнительного скелетирования и дополнительно отрицательно повлияло на биологическую составляющую остеосинтеза. Кроме того, ближайшие к перелому винты установлены на небольшом расстоянии друг от друга, что создало большую концентрацию нагрузки в зоне перелома. Теоретически можно было ожидать перелома пластины в этой зоне, но на практике этого не произошло. Выполненный в последующем остеосинтез с резекцией склерозированной кости и замещением дефекта свободным васкуляризованным трансплантатом радикально решил биологическую проблему, так как кровообращение в зоне несращения полностью восстановилось. Однако механические проблемы только усугубились, так как фактически образовался сег-

ментарный перелом средней трети ключицы с наличием неповрежденного промежуточного фрагмента (аналог перелома C2 по классификации АО). При его фиксации, аналогично предыдущей ревизионной операции, винты были введены близко к линиям переломов, что и явилось причиной несостоятельности остеосинтеза. Нельзя не принимать во внимание также травматичность операции замещения костного дефекта кровоснабжаемым малоберцовым лоскутом. Избранный в последующем метод комбинированного напряженного остеосинтеза был своего рода шагом отчаяния, но, к счастью, привел к сращению перелома.

Конечно, просто критиковать других и указывать на допущенные ошибки и дефекты в лечении. Но меня оправдывает то, что я сам активно занимаюсь хирургией переломов и тоже допускаю аналогичные ошибки, получая подобные осложнения. Наша общая задача — понять, почему это происходит и стараться максимально уменьшить вероятность несостоятельности остеосинтеза. Необходимо помнить о том, что мы должны адекватно стабилизировать перелом с соблюдением всех механических требований к фиксации, не нарушая при этом биологическую составляющую остеосинтеза. И, конечно, стабилизация перелома должна позволять выполнение ранних активных движений в смежных суставах. Это относится не только к операциям остеосинтеза ключицы, но на этом примере проблема баланса механической и биологической составляющих остеосинтеза проявилась наиболее отчетливо.

В нашей стране ежегодно выполняются сотни операций по поводу переломов ключицы. Это значит, что корректным техническим выполнением остеосинтеза этих переломов мы значительно уменьшим долю осложнений. При этом если пер-

вичный остеосинтез можно корректно выполнить в любом отделении травматологии, то для ревизионных операций, тем более с применением микрохирургической техники, необходимо направление в специализированные центры. Но с каждой последующей ревизией каждый из возможных путей выхода из сложившейся ситуации имеет все больше и больше недостатков. Таким образом, ключом к успеху при выполнении операций внутренней фиксации переломов является соблюдение базовых принципов остеосинтеза, которые были затронуты в этом комментарии.

Литература [References]

1. Neer C.S. Nonunion of the clavicle. *J Am Med Assoc.* 1960;172:1006-1011. doi: 10.1001/jama.1960.03020100014003.
2. Hill J.M., McGuire M.H., Crosby L.A. Closed treatment of displaced middle-third fractures of the clavicle gives poor results. *J Bone Joint Surg Br.* 1997;79(4):537-539. doi: 10.1302/0301-620x.79b4.7529.
3. Canadian Orthopaedic Trauma Society. Nonoperative treatment compared with plate fixation of displaced midshaft clavicular fractures: A multicenter, randomized clinical trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(1):1-10. doi: 10.2106/JBJS.F.00020.
4. Kibler W.B., Sciascia A., Wilkes T. Scapular dyskinesia and its relation to shoulder injury. *J Am Acad Orthop Surg.* 2012;20(6):364-372. doi: 10.5435/JAAOS-20-06-364.
5. Kitsis C.K., Marino A.J., Krikler S.J., Birch R. Late complications following clavicular fractures and their operative management. *Injury.* 2003;34(1):69-74. doi: 10.1016/s0020-1383(02)00169-9.
6. Jones S.D., Bravman J.T. Midshaft clavicle fractures – when to operate. *Ann Joint.* 2021;6:21. Available from: <https://doi.org/10.21037/aoj-2019-mfes-07>.
7. Andrzejowski P., Giannoudis P.V. The 'diamond concept' for long bone non-union management. *J Orthop Traumatol.* 2019;20(1):21. doi: 10.1186/s10195-019-0528-0.
8. Gautier E., Sommer C. Guidelines for the clinical application of the LCP. *Injury.* 2003;34(Suppl 2):B63-76. doi: 10.1016/j.injury.2003.09.026.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРЕ:

Беленький Игорь Григорьевич — д-р мед. наук, доцент, руководитель отдела травматологии, ортопедии и вертебрологии, ГБУ «Санкт-Петербургский научно-исследовательский институт скорой помощи им. И.И. Джанелидзе», г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>

AUTHOR'S INFORMATION:

Igor G. Belenkiy — Dr. Sci. (Med.), St. Petersburg Dzhanelidze Emergency Research Institute, St. Petersburg, Russia
e-mail: belenkiy.trauma@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9951-5183>

Конфликт интересов

Автор заявляет об отсутствии конфликта интересов.



95 лет первому в России научному обществу травматологов-ортопедов

В.В. Хоминец, Р.В. Гладков

ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

95 лет назад, а именно 12 октября 1926 г., усилиями 27 учредителей, в том числе профессоров Г.И. Турнера, А.Л. Поленова, Р.Р. Вредена и Г.А. Альбрехта было создано первое в нашей стране научное общество хирургов-ортопедов Ленинграда и Ленинградской области, которое продолжает оставаться незаменимой трибуной для подготовки научных кадров, обмена практическим опытом и результатами исследований направляемых авторитетными деятелями отечественной травматологии и ортопедии, продолжателями традиций ленинградской школы хирургов-ортопедов-травматологов. В статье подведены итоги работы общества в течение четырех периодов его деятельности: I период становления (1926–1933 гг.), I период — работа в предвоенные, военные и послевоенные годы (1934–1950 гг.), III период интенсивного развития травматологии и ортопедии (1950–1990 гг.) и IV период современного бурного развития специальности (с 1990 г.). Сформулированы основные цели деятельности в настоящее время и новые направления работы.

Ключевые слова: научное общество травматологов-ортопедов, история травматологии и ортопедии.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.



95th Anniversary of the First Russian Society of Orthopedic Surgeons

V.V. Khominets, R.V. Gladkov

Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Abstract

95 years ago, namely on October 12, 1926, through the efforts of 27 founders, including professors G.I. Turner, A.L. Polenov, R.R. Vreden and G.A. Albrecht, the first scientific society of orthopedic surgeons of Leningrad and the Leningrad region was created in our country, which continues to be an indispensable platform for the training of scientific personnel, the exchange of practical experience and research results directed by authoritative figures of domestic traumatology and orthopedics, the successors of the Leningrad school of orthopedic surgeons. The article summarizes the results of the society's work during four periods of its activity: the first period of formation (1926–1933), the second period — work in the pre-war, war and post-war years (1934–1950), the third period — the intensive development of traumatology and orthopedics (1950–1990) and the fourth period — the modern rapid development of the specialty (since 1990). The main aim of the current activity and new areas of work are formulated.

Key words: scientific society, association of orthopedic surgeons.

Funding: state budgetary funding.

Хоминец В.В., Гладков Р.В. 95 лет первому в России научному обществу травматологов-ортопедов. *Травматология и ортопедия России*. 2021;27(4):173-179.

Cite as: Khominets V.V., Gladkov R.V. [95th Anniversary of the First Russian Society of Orthopedic Surgeons]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2021;27(4):173-179. (In Russian).

Гладков Роман Владимирович / Roman V. Gladkov; e-mail: dr.gladkov@gmail.com

Рукопись получена: 10.11.2021. Статья опубликована: 17.12.2021.
Submitted: 10.11.2021. Published: 17.12.2021.

История создания и деятельности первого в России научного общества травматологов-ортопедов неразрывно связана с историей образования травматологии и ортопедии как самостоятельной специальности. С начала и до 60-х годов XX века происходила дифференциация хирургии, выделение травматологии, ортопедии и протезирования в самостоятельную специальность. Начало данного периода в России было ознаменовано учреждением в 1900 г. кафедры и клиники ортопедии Медико-хирургической академии во главе и благодаря стараниям Генриха Ивановича Турнера. Первая мировая и Гражданская войны на многие годы определили необходимость лечения раненых и изучения вопросов военной медицины. Вместе с Генрихом Ивановичем работали С.А. Новотельнов, А.К. Шенк, Г.А. Альбрехт, Э.Ю. Остен-Сакен, А.А. Козловский, Г.А. Гарибджанян, И.Л. Крупко, составившие ядро турнеровской школы отечественной ортопедии. Они добились лучших результатов лечения раненых, чем общие хирурги, обосновали необходимость создания лечебных учреждений для протезирования, восстановления трудоспособности и социальных перспектив увечных воинов.

В 1906 г. в Санкт-Петербурге был открыт Ортопедический институт, который возглавил Роман Романович Вреден. Он создал школу ортопедов, в числе которой В.Г. Вайнштейн, Т.Н. Степанов, И.Е. Казакевич, М.И. Куслик, Г.Я. Эпштейн, В.И. Розов и другие видные ученые. Медико-механический институт, открытый в Харькове (1907 г.) под руководством К.Ф. Вегнера, стал третьим центром ортопедической мысли в России. В последующем, в 1918 г., был основан Казанский ортопедический институт, а в 1921 г. — Лечебно-протезный институт в Москве, ставший в 1940 г. Центральным научно-исследовательским институтом травматологии и ортопедии. Таким образом, ортопедия постепенно отделялась от хирургии, занимая свою нишу в лечении пациентов с патологией костно-мышечной системы.

Когда ортопедия и протезирование покинули хирургию, травматология продолжала пребывать в составе общей хирургии и даже не имела общепризнанного термина. Появление в Первой мировой войне сотен тысяч раненых в конечности с огнестрельными переломами, часто осложнявшимися анаэробной инфекцией, остеомиелитом, некрозами, деформациями, образованием порочных культей, контрактур и других последствий огнестрельной травмы, способствовало ускорению дифференциации хирургии и выделению новой специальности — травматологии. Особая заслуга в этом принадлежит Андрею Львовичу Поленову, создавшему в 1918 г. первую в стране кафедру травматологии в составе Петербургского

психоневрологического института. Годом спустя в Петрограде благодаря инициативе и подвижничеству Германа Александровича Альбрехта начал работу на базе Мариинского приюта Государственный институт протезирования — ведущее учреждение медицинской реабилитации инвалидов.

Превращение отечественной ортопедии в равноправную научно-клиническую отрасль хирургии и быстрое развитие ее основных направлений к 20-м годам прошлого столетия сделали насущной необходимостью создание научного общества ортопедов-травматологов как организационно-методического и научно-исследовательского центра взаимодействия ортопедических институтов и лечебных учреждений с целью улучшения организации ортопедо-травматологической помощи в СССР, воспитания и постоянного усовершенствования научных и практических кадров, снижения травматизма и инвалидности. Основатель отечественной ортопедии Г.И. Турнер мыслил о создании общества как «...высшей научной и технической ортопедической школы».

Десятью пять лет назад, 12 октября 1926 г., в аудитории кафедры ортопедии Военно-медицинской академии, которая с 1924 по 1931 г. согласно приказу № 205 по военно-санитарному ведомству носила название кафедры военно-полевой хирургии, десмургии и ортопедии, под председательством Г.И. Турнера состоялось первое заседание Ленинградского общества хирургов-ортопедов — первого и старейшего ортопедического общества в нашей стране. В заседании приняли участие все видные хирурги Ленинграда — исторического центра развития отечественной ортопедической науки. Молодое общество хирургов-ортопедов приветствовали председатель хирургического общества им. Н.И. Пирогова Н.Н. Петров, начальник Военно-медицинской академии В.И. Воячек, С.П. Федоров, И.И. Греков, Э.Р. Гессе и другие. Г.И. Турнер поздравил собравшихся с историческим событием «посадки нового отпрыска, выросшего на могучем стволе нашей отечественной хирургии». Участников заседания волновали вопросы выбора путей развития ортопедии, направления деятельности и взаимоотношения с матерью-хирургией, которые Г.И. Турнер определил следующими словами: «С особенной настойчивостью я должен в заключение говорить о нашей неразрывной связи с выросшей нас хирургией. Под кровом материнского дерева мы будем работать рука об руку, продолжая учиться в сфере широкого смелого размаха кровавой хирургии. Но доверие к нашим специальным знаниям отведет достаточно работы на нашу долю, ибо в показаниях для применения ножа, долота, пилы мы внесем более глубокую продуманность».

Учредителями Ленинградского общества хирургов-ортопедов (ЛОХО) были ведущие ортопеды страны: Г.И. Турнер, Р.Р. Вреден, Г.А. Альбрехт, Э.Ю. Остен-Сакен, С.А. Новотельнов, Г.Я. Эпштейн, Д.А. Новожилов, П.Г. Корнев, В.А. Штурм и другие. Первым председателем правления общества был избран Г.И. Турнер. В состав первого правления вошли выдающиеся деятели советской травматологии и ортопедии — Р.Р. Вреден, Г.А. Альбрехт А.Л. Поленов. Членами секретариата были избраны С.А. Новотельнов, Г.Я. Эпштейн, М.С. Юсевич, казначеем — Э.Ю. Остен-Сакен. Высокий авторитет учредителей и правления неуклонно повышал престиж общества, поставив его на почетное место среди других научных сообществ страны. Деятельность общества не ограничивалась городским масштабом и имела всесоюзное организационно-методическое и научное значение, о чем свидетельствует регулярное и активное участие в заседаниях членов из Москвы, Минска, Краснодара, Ростова-на-Дону, Одессы и других городов, среди которых такие известные ученые, как А.К. Шенк, В.Д. Чаклин, Т.С. Зацепин, С.В. Кофман, М.Н. Шапиро, Г.Н. Лукьянов, Н.А. Богораз и другие. Таким образом, деятельность общества возглавлялась и направлялась крупнейшими деятелями отечественной травматологии и ортопедии. Почетными пожизненными председателями общества были избраны профессор Г.И. Турнер (1927), действительный член АМН СССР профессор П.Г. Корнев (1943), профессор И.Л. Крупко (1970) и член-корреспондент АМН СССР профессор С.С. Ткаченко (1990). За большой вклад в становление и развитие первого ортопедического общества и отечественной травматологии и ортопедии почетными членами Ленинградского общества травматологов и ортопедов были избраны академик АМН СССР М.В. Волков, профессора В.Г. Вайнштейн, М.Н. Гончарова, С.Ф. Годунов, С.В. Кофман, Е.К. Никифорова, Д.А. Новожилов, В.В. Рубинштейн, В.Д. Чаклин и к.м.н. Я.М. Писарницкий.

В 1926 г. был принят первый устав общества, а в 1952 г. общество хирургов-ортопедов переименовано в общество травматологов-ортопедов. На Первом съезде травматологов-ортопедов СССР в 1963 г. был принят единый устав для всех обществ страны. За весь период существования работа общества прерывалась лишь в 1942 г. в связи с блокадой Ленинграда и сложной военной обстановкой. О беззаветном служении Родине на фронтах Великой Отечественной войны (ВОВ) свидетельствует награждение высшей наградой — орденом Ленина семерых членов общества, орденами и медалями — семидесяти трех.

С момента основания Санкт-Петербургского общества травматологов-ортопедов можно выделить четыре периода его деятельности: I пери-

од — становление (1926–1933), II период — работа в предвоенные, военные и послевоенные годы (1934–1950), III период — интенсивное развитие травматологии и ортопедии (1950–1990) и IV период — современное бурное развитие специальности (с 1990 г.). Первый период проходил в обстановке мощного индустриального и сельскохозяйственного подъема в стране, в связи с чем одной из наиболее актуальных была проблема изучения, предупреждения и лечения производственной травмы. Сложные условия межвоенного времени способствовали широкому распространению костно-суставного туберкулеза, во многом определившем содержание повестки заседаний общества.

Итоги работы в период становления и деятельности общества за 20 лет впервые были отражены в докладе Г.Я. Эпштейна и В.И. Розова, опубликованном в журнале «Хирургия» (№ 11, 1947) [1]. Члены и гости общества докладывали о способах и результатах лечения пациентов с посттравматическими, врожденными, нейрогенными и деформациями инфекционного происхождения, особенно у детей, костно-суставным туберкулезом и фиброзными дистрофиями, обсуждали вопросы военно-полевой хирургии, ампутации и протезирования, ставшие приоритетными во второй половине тридцатых годов, а также многие другие, охватывающие все разделы травматологии и ортопедии, включая вопросы организации травматологической помощи. «Борьба с детским калечеством» стало одним из наиболее ярких выступлений Г.И. Турнера перед членами общества.

Во втором периоде работы с 1934 по 1950 г. общество приоритетно занималось вопросами организации помощи и лечения раненых, ампутаций, протезирования и боевой травмы. К 25-летию в 1951 г. состоялось 310 заседаний общества, в ходе которых выполнено 422 доклада и 947 демонстраций. Обсуждали проблемы этапного лечения ран на войне, необходимости ранней хирургической обработки, применения антисептиков, противошоковых мероприятий путем согревания, введения обезболивающих, иммобилизации переломов костей и гемотрансфузии, вопросы распознавания и лечения анаэробной инфекции, ожоговой травмы, применения местной анестезии и наркоза в полевых условиях. Члены общества сделали многое для удовлетворения возросшей потребности в научной и учебной литературе по военной травме. В предвоенный период соратник Г.И. Турнера — старший преподаватель Э.Ю. Остен-Сакен подготовил «Краткий курс военно-полевой хирургии» (1928 и 1930 гг.), а также «Руководство по военно-полевой хирургии» (1932 г.). «Краткий учебник по военно-полевой хирургии» был издан в 1932 г. под редакцией С.С. Гирголава, Г.И. Турнера и С.П. Федорова. Накануне Великой Отечественной

войны (1938–1940) опубликованы работы профессора С.А. Новотельнова, посвященные опыту лечения раненых: «Этапное лечение огнестрельных переломов бедра по опыту мировой войны» (1938) и «Ортопедия-травматология на службе современной войны» (1940), а также «Руководство по гипсовой технике» Г.И. Турнера, Р.Р. Вредена и В.А. Бетехтина.

Неоценим вклад коллектива единомышленников травматолого-ортопедического сообщества Ленинграда и всей страны в разработку и практическое внедрение единых установок военно-медицинской доктрины и принципов лечения огнестрельных ран, полученных солдатами и мирным населением в ВОВ. В годы блокады в помощь врачам эвакуационных и тыловых госпиталей военного времени была издана монография почетного председателя общества П.Г. Корнева «Лечение огнестрельных ранений конечностей» (1943). Исходы лечения раненых с огнестрельными переломами костей конечностей в специализированных госпиталях оказались значимо лучшими, чем в общехирургических, несмотря на использование одних методов консервативного лечения — гипсовой повязки и скелетного вытяжения.

Наиболее масштабной целью отечественной медицины в послевоенном периоде стало обобщение опыта лечения раненых и больных в годы войны. Перед членами общества встала задача долечивания и реабилитации инвалидов, воспитания новых кадров травматологов-ортопедов. На заседаниях преобладала военная тематика: лечение огнестрельного остеомиелита и ложных суставов, исправление посттравматических деформаций и совершенствование костно-пластических операций.

Растущий авторитет общества способствовал кратному увеличению состава молодыми научными и клиническими кадрами, работа которых в рамках общества направлялась крупнейшими деятелями отечественной ортопедии — И.С. Бабчиным, В.С. Балакиной, В.А. Бетехтиным, В.Г. Вайнштейном, С.Ф. Годуновым, М.Н. Гончаровой, Т.С. Зацепиным, И.Е. Казакевичем, П.Г. Корневым, П.П. Кондратьевым, Ф.А., Копыловым, С.В. Кофманом, И.Л. Крупко, П.А. Куприяновым, М.И. Кусликом, А.А. Никитиным, Е.К. Никифоровой, Д.А. Новожиловым, С.А. Новотельновым, В.В. Пуниным, В.И. Розовым, Б.В. Рубинштейном, В.А. Штурм, Г.Я. Эпштейном, М.С. Юсевичем и Я.С. Юсевичем. С 1943 г. почетным председателем стал действительный член АМН СССР проф. П.Г. Корнев, следующим образом описавший значение общества на текущем этапе развития: «Появилась трибуна для обмена опытом, нашелся широкий выход научным исканиям, стало осуществляться методическое руководство, создались

наиболее благоприятные условия для усовершенствования и подготовки кадров».

Результаты деятельности общества в последующие 15 лет (1951–1966) подробно доложены И.Л. Крупко, С.С. Ткаченко и И.П. Шуляком в отчете (Ортопедия, травматология и протезирование, 1966. № 9), посвященном 40-летию юбилею Ленинградского научного общества травматологов-ортопедов (ЛНОТО) [2]. В ходе 270 заседаний заслушано 424 доклада и проведено 657 демонстраций пациентов, в т.ч. после погружного остеосинтеза, костной гомопластики, операций по поводу врожденного вывиха бедра, ампутаций и протезирования конечностей. Достижения общества за 50 лет в 1977 г. подытожили С.С. Ткаченко и А.И. Грицанов (Ортопедия, травматология и протезирование, 1977. № 8) [3].

Третий период работы общества (1950–1990) соответствовал расцвету травматологии, ортопедии и протезирования, началу и углублению их дифференциации. В 1963 г. состоялся Первый всесоюзный съезд травматологов-ортопедов, утверждена организационно-штатная структура травматологической службы во главе с главным травматологом-ортопедом страны профессором М.В. Волковым, десятикратно возросло число травматолого-ортопедических стационаров, образованы институты травматологии и ортопедии в Донецке, Кургане и Прокопьевске, а в каждом высшем медицинском учреждении созданы кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии. Появилось понятие «военная травматология», созданы отделения травматологии в военных госпиталях. Показателем расширения сферы деятельности, интенсивной работы и растущего авторитета общества стало регулярное участие в заседаниях представителей других городов, проведение совместных заседаний с другими научными обществами и учреждениями — Ленинградским научно-исследовательским институтом хирургического туберкулеза, Ленинградским научно-исследовательским институтом травматологии и ортопедии имени Р.Р. Вредена, Детским ортопедическим институтом имени Г.И. Турнера, Ленинградским научно-исследовательским институтом протезирования им. Г.А. Альбрехта, хирургическим обществом имени Н.И. Пирогова. Много внимания было уделено вопросам преподавания ортопедии в вузах, организации травматологической и протезной помощи, популяризации журнала «Ортопедия, травматология и протезирование» с рецензированием отдельных номеров. Члены общества выступали с лекциями для просвещения широкой общественности в домах культуры, санитарного просвещения и рабочих аудиториях, а также в составе консультативного бюро по

оказанию помощи в научной работе, созданного в 1957 г. при участии проф. Д.А. Новожилова, оказывали методологическую и руководящую помощь начинающим научным кадрам. С целью привлечения молодых врачей к научной работе им была предоставлена приоритетная возможность выступления на заседаниях общества. Важной традицией общества стало обсуждение современных монографий и руководств. Данью уважения общества заслугам отечественной науки были заседания, посвященные юбилеям В.А. Бетехтина, М.Н. Гончаровой, С.Ф. Годунова, Д.А. Новожилова, М.В. Струкова, В.С. Балакиной, а также памяти выдающихся русских ученых Г.И. Турнера, Р.Р. Вредена и Г.А. Альбрехта.

Председатель общества проф. И.Л. Крупко и ответственный секретарь проф. С.С. Ткаченко всемерно содействовали расширению и качественному усложнению круга интересов и тематики заседаний. Разработка и внедрение в клиническую практику внутреннего и особенно внешнего остеосинтеза обусловили появление с 1950 г. в повестке заседаний сообщений об опыте применения их при лечении переломов костей.

Война в Афганистане потребовала развития фундаментальных положений в области раневой баллистики, патоморфологии и патофизиологии огнестрельных ран и минно-взрывной травмы, регенерации костной ткани в условиях заживления огнестрельных переломов, а также изменения стратегии и тактики лечения раненых. Повестка заседаний общества в третьем периоде также включала обсуждение результатов экспериментальных исследований по раневой баллистике, морфологии огнестрельной раны, изучению общей реакции организма на тяжелую травму и формирование принципиальных положений по лечению раненых, осуществляемых хирургами (Колесников И.С., Колесов А.П., Долинин В.А., Лисицын К.М., Беркутов А.Н., Дерябин И.И., Перегудов И.Г., Алексеев А.В.), травматологами-ортопедами (Крупко И.Л., Ткаченко С.С., Демьянов В.М., Шапошников Ю.Г., Дедушкин В.С.) и морфологами (Максименков А.Н. и Дыскин Е.А.).

Кокончанию третьего периода деятельности общества было проведено 1000 заседаний, заслушано 1600 докладов и представлено 2500 демонстраций, о чем доложили С.С. Ткаченко, В.М. Шаповалов и В.М. Гайдуков в монографии, посвященной столетию основания первой в России ортопедической клиники [4]. Численный состав, насчитывающий в момент создания 27 членов общества, к 1991 г. достиг 324.

Бурное развитие травматологии и ортопедии в мире и нашей стране определило характер работы общества в четвертом периоде, начавшемся с 1990-х годов. Появление новых технологий пред-

интраоперационной визуализации и планирования, непрерывное совершенствование инструментария и имплантатов, расширение возможностей анестезиологии и периоперационного сопровождения, а также прогресс реабилитационно-восстановительных методов лечения изменили принципы лечения травматологических и ортопедических пациентов. Диагностическая достаточность, анатомичность, физиологическая и патогенетическая оправданность вмешательств, а также преемственность с восстановительным этапом лечения стали основой, позволившей существенно улучшить результаты лечения. Усложнение неизбежно сопровождалось увеличением интенсивности работы и дальнейшей дифференциацией специальности «травматология и ортопедии» на ряд относительно самостоятельных направлений (или субспециальностей), нашедших отражение в организационно-штатной структуре лечебных учреждений, а также изменением методологии преподавания. В повестке заседаний появились вопросы эндопротезирования и артроскопии, вертебрологии, реконструктивно-восстановительной хирургии с применением микрохирургической техники, последовательного и ревизионного остеосинтеза, которые обсуждались с использованием современных возможностей компьютерной техники. Возможность обучения и обмена опытом с зарубежными коллегами способствовала быстрой дифференциации и созданию узкоспециализированных сообществ внутри травматологии и ортопедии, а также обилию сообщений о результатах собственных исследований и внедрения передовых технологий.

Одновременно с изучением международного опыта в травматологии и ортопедии на тематических заседаниях общества уделяли должное внимание юбилейным датам: 100-летию со дня рождения Г.А. Альбрехта, П.Г. Корнева, Е.К. Никифоровой, Р.Р. Вредена; 90-летию В.Г. Вайнштейна, Д.Г. Коваленко, Г.Я. Эпштейна, 70-, 75- и 80-летию И.Л. Крупко, А.В. Воронцова и Г.Д. Никитина. Специальные заседания были посвящены памяти профессоров Г.А. Илизарова и В.М. Демьянова. Совместно с хирургическим обществом Н.И. Пирогова проводились заседания, посвященные дню Защитника Отечества, на которых заслушивали вопросы современной боевой патологии. Продолжая традиции общества, обобщающие выступления профессоров и опытных ортопедов-травматологов совмещались с сообщениями молодых специалистов, получающих первый опыт научного обсуждения, советы и замечания более опытных коллег.

В январе 1993 г. была создана общественная организация «Ассоциация травматологов и ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области»,

которую возглавил проф. В.А. Неверов. Она вошла ассоциативным членом в Ассоциацию травматологов-ортопедов России. Санкт-Петербургское научное общество травматологов-ортопедов под председательством проф. В.М. Шаповалова было реорганизовано в научно-практическую секцию Ассоциации, сохранив традиционную форму работы с ежемесячными заседаниями в аудитории кафедры военной травматологии и ортопедии.

Итоги работы научно-практической секции Ассоциации травматологов и ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области за последние 20 лет представлены в таблице 1. За это время состоялись 137 заседаний, выполнен 291 доклад и 157 демонстраций. На постоянной основе поддерживают деятельность ассоциации более 30 медицинских организаций города и области. Лидирующими учреждениями, как и прежде, являются НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена и кафедра военной травматологии и ортопедии Военно-медицинской академии. Общество продолжает оставаться платформой для обмена практическим опытом и результатами исследований.

За последние 20 лет ассоциация отметила 110-летие кафедры военной травматологии и ортопедии, 90-летие кафедры академии И.И. Мечникова, а также 150-летие со дня рождения Г.И. Турнера. В 2016 г. состоялась конференция, приуроченная к юбилею общества, которому исполнилось 90 лет. С докладами выступили профессора В.В. Хоминец («Первому в России Обществу ортопедов-травматологов 90 лет»), В.А. Неверов («Ленинградская школа травматологов-ортопедов»), Р.М. Тихилов («Роль профессора Р.Р. Вредена в развитии Санкт-Петербургской школы ортопедов-травматологов»), И.В. Шведовченко («Истоки протезирования, как часть триединой специальности — ортопедии, травматологии и протезирования») и С.В. Виссарионов («Исторические вехи развития и инновации в детской ортопедии»).

Основными целями деятельности ассоциации в настоящее время является формирование про-

фессиональной среды для коллегиального обсуждения научных и прикладных вопросов специальности, выступлений с докладами о результатах собственной научной и практической деятельности, а также научных инновациях в представляемых участниками учреждениях, предзащитных выступлений соискателей научных степеней, воспитания и получения опыта выступлений перед аудиторией молодыми специалистами. За последние 5–7 лет заседания общества стали тематическими, что способствует более глубокому пониманию молодыми специалистами предмета травматологии и ортопедии. В будущем планируется дополнение формата заседаний общества трансляцией в электронной образовательной среде на платформах Военно-медицинской академии и НМИЦ ТО им. Р.Р. Вредена, а также получения участниками баллов непрерывного медицинского образования.

Новым направлением работы Ассоциации стала экспертная оценка членами сообщества и приглашенными представителями юридических организаций Санкт-Петербурга сложных клинических случаев, жалоб и судебных разбирательств для формирования обоснованной и согласованной с профессиональным сообществом позиции защиты травматологов-ортопедов. Проведение отдельных заседаний Ассоциации травматологов-ортопедов совместно с хирургическим обществом Н.И. Пирогова обеспечивает междисциплинарное взаимодействие и историческую преемственность.

Сохранение без малого вековых традиций, непрерывный поиск истины, рождаемой в дискуссии об актуальных вопросах нашей специальности, привело Ассоциацию травматологов и ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области к своему 95-летию полным сил и энергии. Своей работой оно и дальше будет способствовать совершенствованию и расцвету отечественной травматологии и ортопедии.

Таблица 1

Итоги работы научно-практической секции Ассоциации травматологов и ортопедов Санкт-Петербурга и Ленинградской области

Период, годы	Количество заседаний (n / всего)	Количество докладов (n / всего)	Количество демонстраций (n / всего)
1926–1951	310	422	947
1951–1976	452/762	802 / 1224	1016 / 1963
1976–2001	392/1154	656 / 1880	490 / 2453
2001–2021	137/1291	291 / 2171	157 / 2610
Всего	1291	2171	2610

Литература [References]

1. Эпштейн Г.Я., Розов В.И. Ленинградское общество хирургов-ортопедов в последние 20 лет. *Хирургия*. 1947;(11):45-54.
Epshtein G.Ya., Rozov V.I. [Leningrad Society of Orthopedic Surgeons in the last 20 years]. *Khirurgiya [Surgery]*. 1947;(11):45-54. (In Russian).
2. Крупко И.Л., Ткаченко С.С., Шуляк И.Н. Ленинградскому научному обществу травматологов-ортопедов 40 лет. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1966;(9):65-69.
Krupko I.L., Tkachenko S.S., Shulyak I.N. [The Leningrad Scientific Society of Orthopedic Traumatologists is 40 years old]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]*. 1966;(9):65-69. (In Russian).
3. Ткаченко С.С., Грицанов А.И. Ленинградскому научному обществу травматологов и ортопедов — 50 лет. *Ортопедия, травматология и протезирование*. 1977;(8):85-87.
Tkachenko S.S., Gritsanov A.I. [The Leningrad Scientific Society of Traumatologists and Orthopedists is 50 years old]. *Ortopediya, travmatologiya i protezirovanie [Orthopedics, Traumatology and Prosthetics]*. 1977;(8):85-87. (In Russian).
4. Ткаченко С.С., Шаповалов В.М., Гайдуков В.М. Кафедра и Ленинградское общество травматологов-ортопедов. В кн.: Кафедра и клиника военной травматологии и ортопедии. Санкт-Петербург: Наука; 2000. Гл. 6. С. 113-121.
Tkachenko S.S., Shapovalov V.M., Gaidukov V.M. Department and Leningrad Society of Traumatologists-Orthopedists. In: Department and Clinic of Military Traumatology and Orthopedics. St. Petersburg: Science; 2000. Ch. 6. P. 113-121. (In Russian).

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Хоминец Владимир Васильевич — д-р мед. наук, профессор, начальник кафедры военной травматологии и ортопедии, ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: vkhominets@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9391-3316>

Гладков Роман Владимирович — канд. мед. наук, преподаватель кафедры военной травматологии и ортопедии, ФГБВОУ ВПО «Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова» МО РФ, г. Санкт-Петербург, Россия
e-mail: dr.gladkov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9152-7024>

Заявленный вклад авторов

Хоминец В.В. — разработка концепции и дизайна статьи, координация сбора и обработки материала, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Гладков Р.В. — сбор и обработка материала, анализ и интерпретация полученных данных, подготовка текста.

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

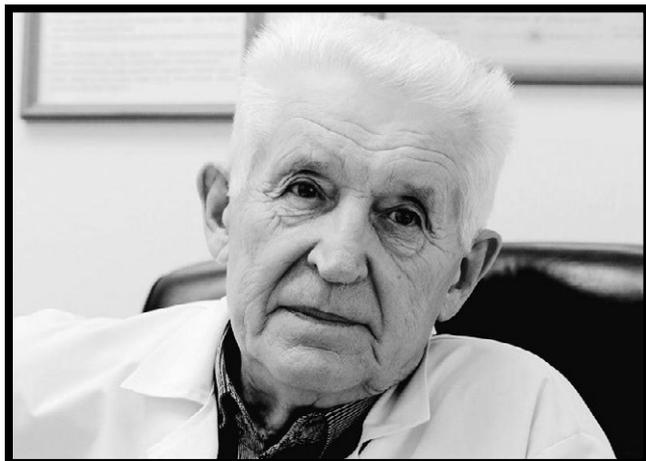
Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHORS' INFORMATION:

Vladimir V. Khominets — Dr. Sci. (Med.), Professor, Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia
e-mail: vkhominets@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-9391-3316>

Roman V. Gladkov — Cand. Sci. (Med.), Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia
e-mail: dr.gladkov@gmail.com
<https://orcid.org/0000-0001-9152-7024>

НИКОЛАЙ ГАВРИЛОВИЧ ФОМИЧЕВ**1941–2021**

18 декабря 2021 г. ушел из жизни доктор медицинских наук, профессор, бывший директор Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна Николай Гаврилович Фомичев.

Н.Г. Фомичев родился 10 мая 1941 г. в Новосибирской области. После окончания средней школы продолжил обучение в Новосибирском медицинском институте. В 1967–1970 гг. обучался в аспирантуре на кафедре общей хирургии.

В 1971 г. Н.Г. Фомичев защитил кандидатскую диссертацию.

Вся его трудовая деятельность проходила в мединституте: ассистент с 1970 по 1979 г., с 1979 г. — доцент, одновременно до 1983 г. работал деканом педиатрического факультета. В связи с тем, что он был в резерве отдела внешних сношений Минздрава СССР, работал в Танзании и Эфиопии. По возвращению из заграничных командировок Н.Г. Фомичев продолжил работу в институте.

Учитывая большой клинический опыт и навыки организатора здравоохранения, в 1986 г. он был назначен на должность директора Новосибирского НИИТО. В трудные для страны 1980–1990 годы ему удалось не только сохранить институт, но и придать ему новые векторы развития, создать трудоспособный коллектив, оптимизировать его работу. Колоссальные усилия были приложены для укрепления материальной базы института.

Николай Гаврилович в своей докторской диссертации «Научное обоснование и разработка системы специализированной помощи при заболеваниях и повреждениях позвоночника» (1994) научно обосновал необходимость создания новой клинической дисциплины — вертебологии, а так-

же важность разработки системы специализированной вертебологической помощи населению России. В институте был внедрен ряд высоких технологий по хирургии позвоночника: системы «Dynesys» и CDI, транспедикулярная фиксация, эндоскопическая хирургия. Разрабатывались новые конструкции, хирургический инструментарий, имплантаты из пористого никелида титана. Было организовано научное сотрудничество с ведущими зарубежными клиниками. В 1998 г. Н.Г. Фомичеву было присвоено ученое звание профессора.

Николай Гаврилович подготовил 12 докторов наук и 17 кандидатов наук, он является автором более 200 научных трудов, включая 12 монографий, а также 16 изобретений.

Невозможно переоценить роль Н.Г. Фомичева в создании Российской ассоциации хирургов-вертебологов, объединившей ортопедов и нейрохирургов, что позволило поднять организацию вертебологической помощи на новый качественный уровень.

Благодаря инициативе и усилиям Николая Гавриловича в 2004 г. вышел в свет первый номер журнала «Хирургия позвоночника». В настоящее время это — авторитетное научно-практическое издание, которое знают и читают во всем мире.

По инициативе Н.Г. Фомичева Ученый совет принял решение о целесообразности и необходимости присвоения институту имени великого хирурга и ученого Якова Леонтьевича Цивьяна.

Николай Гаврилович был награжден нагрудным знаком «Отличник здравоохранения», орденом «Знак почета» (2002), ему присвоено звание «Заслуженный врач Российской Федерации» (1996). Он являлся членом международного общества травматологов-ортопедов SICOT и исполнительного комитета Европейской ассоциации банков тканей (ЕАТВ), членом редколлегий ряда отечественных журналов по специальности.

Николай Гаврилович Фомичев возглавлял Новосибирский НИИТО в течение 20 лет. Передавая бразды правления в руки нового директора, он остался в институте, без которого себя не мыслил, продолжал активно и плодотворно работать, показывая своим примером, чего может достичь человек, преданно и честно служащий своему делу.

Память о Николае Гавриловиче Фомичеве — светлом человеке, талантливом организаторе и руководителе — навсегда сохранится в сердцах его родных, друзей, коллег, учеников, пациентов.

Коллектив Новосибирского НИИТО им. Я.Л. Цивьяна

Редакция журнала присоединяется к соболезнованиям наших коллег