

КАФЕДРА ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

ТЕМЫ НОМЕРА

- ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНЕКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА
- ВЛИЯНИЕ ПОЛИНУКЛЕОТИДОВ В КАЧЕСТВЕ ИНЪЕЦИРУЕМОГО ПРОЛИФЕРАНТА НА ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ОСТЕОАРТРОЗА
- СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СКАФФОЛДА МЕНИСКА КОЛЕННОГО СУСТАВА.



№ 1

Журнал включен ВАК в Перечень российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук.

Журнал кафедры травматологии и ортопедии (Zhurnal kafedra travmatologii i ortopedii)

№1 · 2023

Основан в 2012 году

Учредители: ФГАОУ ВО ПЕРВЫЙ МГМУ
ИМ. И.М.СЕЧЕНОВА МИНЗДРАВА
РОССИИ (СЕЧЕНОВСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ),
ООО «ПРОФИЛЬ — 2С»
123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78;
тел./факс +7 (916) 229 03 11;
E-mail: sp@profill.ru

Издатель: ООО «ПРОФИЛЬ — 2С»
123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78;
тел./факс +7 (916) 229 03 11;
E-mail: sp@profill.ru

Периодичность издания:
1 раз в 3 месяца

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и связи 28 февраля 2012 года (регистрационное удостоверение № ПИ ФС 77-48698).

Префикс DOI: 10.17238/issn2226-2016

Адрес редакции:

123007, Москва, Хорошевское шоссе, д. 78;
тел./факс +7 (916) 229 03 11;
E-mail: sp@profill.ru;

<http://www.jkto.ru>

Журнал включен ВАК в Перечень ведущих рецензируемых научных журналов и изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени доктора и кандидата наук.

Материалы журнала распространяются по лицензии Creative Commons Attribution-NonCommercial-NoDerivatives 4.0 License.



Отпечатано: Типография «КАНЦЛЕР», 150044, г. Ярославль, Полушкина роща 16, стр. 66а.

Тираж: 1 000 экз

Перепечатка опубликованных в журнале материалов допускается только с разрешения редакции. При использовании материалов ссылка на журнал обязательна. Присланные материалы не возвращаются. Точка зрения авторов может не совпадать с мнением редакции. Редакция не несет ответственности за достоверность рекламной информации.

© Кафедра травматологии и ортопедии, 2022

Подписной индекс 88210 в объединенном каталоге «Пресса России»

Цена договорная

Подписано в печать: 28.03.2023

Рецензируемый научно-практический журнал "Кафедра травматологии и ортопедии" является печатным органом. Журнал зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и связи 28 февраля 2012 года (регистрационное удостоверение № ПИ ФС 77-48698). Дата подписи первого выпуска в печать 30.03.2012 г. Журнал не переименовывался.

Журнал включен в перечень рецензируемых научных изданий ВАК, в которых должны быть опубликованы основные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата и доктора медицинских наук.

Журнал выходит с периодичностью 4 выпуска в год.

Распространение: Россия, зарубежные страны.

Цель журнала – освещение современных тенденций и технологий лечения повреждений и заболеваний опорно-двигательного аппарата, основанных на экспериментальных, теоретических и клинических исследованиях, проводимых как в отечественных, так и в зарубежных научно-клинических центрах

Журнал предназначен для практикующих врачей травматологов-ортопедов, преподавателей, студентов, интернов, ординаторов и аспирантов высших учебных заведений, врачей смежных специальностей (анестезиологов-реаниматологов, реабилитологов, нейрохирургов и др.)

Главный редактор

Лычагин Алексей Владимирович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет) Минздрава России, Москва, РОССИЯ.

Научный редактор

Кавалерский Геннадий Михайлович — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Редакционная коллегия:

Ахтямов Ильдар Фуатович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний ФГАОУ ВПО Казанского государственного медицинского университета, Казань, РОССИЯ

Бобров Дмитрий Сергеевич — ответственный секретарь, кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Брижань Леонид Карлович — д.м.н., профессор, начальник ЦТиО ФГКУ «Главный военный клинический госпиталь им. Бурденко», профессор кафедры хирургии с курсами травматологии, ортопедии и хирургической эндокринологии НМХЦ им.Н.И. Пирогова, Москва, РОССИЯ

Гаркави Андрей Владимирович — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Грицюк Андрей Анатольевич — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф лечебного факультета ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), РОССИЯ

Дубров Вадим Эрикович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой общей и специализированной хирургии факультета фундаментальной медицины МГУ имени М.В. Ломоносова, Главный травматолог г. Москвы, Москва, РОССИЯ

Егиазарян Карен Альбертович — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и венно-полевой хирургии ФГАОУ ВО РНИМУ им. Н.И. Пирогова Минздрава России, Москва, РОССИЯ

Карданов Андрей Асланович — д.м.н., Заместитель главного врача, АО «Европейский Медицинский Центр», Москва, РОССИЯ

Королёв Андрей Вадимович — д.м.н., профессор, профессор кафедры травматологии и ортопедии Российского университета дружбы народов, Москва, РОССИЯ

Мурылёв Валерий Юрьевич — д.м.н., профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ФГАОУ ВО «Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России» (Сеченовский Университет), РОССИЯ

Процко Виктор Геннадьевич — д.м.н., доцент кафедры травматологии и ортопедии ФГАОУ ВО «Российский университет дружбы народов» Министерства науки и высшего образования Российской Федерации, Москва, Россия; руководитель центра хирургии стопы ГБУЗ «Городская клиническая больница им. С.С. Юдина» Департамента здравоохранения города Москвы, Москва, РОССИЯ

Самодай Валерий Григорьевич — д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и ВПХ Воронежского государственного медицинского университета имени Н. Н. Бурденко, Воронеж, РОССИЯ

Слиняков Леонид Юрьевич — д.м.н., доцент, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института Клинической медицины им. Н.В.Склифосовского ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Шубкина Алёна Александровна, секретарь журнала, врач травматолог-ортопед отделения медицинской реабилитации УКБ№2 ФГАОУ ВО им. И.М.Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, РОССИЯ

Редакционный совет:

Хофманн Зигфрид — д.м.н., доцент кафедры ортопедической хирургии, глава учебного центра эндопротезирования коленного сустава, LKH Штольцальпе 8852 Штольцальпе, АВСТРИЯ

Моррей Бернард Ф., доктор медицины, профессор кафедры ортопедической хирургии, почетный председатель кафедры ортопедии университета фундаментального медицинского образования и науки клиники Мэйо в Миннесоте, США

Кон Елизавета, профессор, д.м.н., руководитель центра биологической реконструкции, трансляционной ортопедии коленного сустава, научно-исследовательского госпиталя Humanitas, Милан, ИТАЛИЯ

Ярвела Тимо, Профессор, д.м.н., травматолог - ортопед, Университетская клиника г. Тампере, центр артроскопии и ортопедии г. Хатанпаа, ФИНЛЯНДИЯ

The Department of Traumatology and Orthopedics

№1 · 2023

Founded in 2012

Founders: I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University) LLC «Profill — 2S»
123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 78;
tel/fax +7 (916) 229 03 11,
E-mail: sp@profill.ru

Publisher: LLC «Profill — 2S»
123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 78;
tel/fax +7 (916) 229 03 11,
E-mail: sp@profill.ru

Periodicity of publication:
1 time in 3 months

Registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Communications on June 9, 2008 (registration certificate No. PI FS 77-32248).

Prefix DOI: 10.17238/issn2226-2016

Editorial Office address:

123007, Moscow, Khoroshevskoe highway, 78;
tel/fax +7 (916) 229 03 11,
e-mail: sp@profill.ru

<http://www.jkto.ru>

The journal is included in the List of the leading peer-reviewed scientific journals and publications in which the main scientific results of dissertations for the degree of doctor and candidate of Sciences should be published.

The materials of the journal are distributed under the Creative Commons Attribution-Noncommercial-NoDerivatives 4.0 License.



Printed in Printing house «KANTSLER», 150044, Yaroslavl, Polushkina grove 16, build. 66a

Circulation 1000 copy

The reprint of the materials published in magazine is supposed only with the permission of edition. At use of materials the reference to magazine is obligatory. The sent materials do not come back. The point of view of authors can not coincide with opinion of edition. Edition does not bear responsibility for reliability of the advertising information.

© The Department of Traumatology and Orthopedics, 2022

Subscription index 88210 in the incorporated catalogue «Press of Russia»

The price contractual

Sent for press: 28.03.2023

Peer-Reviewed Scientific and Practical Journal "THE DEPARTMENT OF TRAUMATOLOGY AND ORTHOPEDICS" is the official publication. The Journal is registered by the Federal Service for Supervision of Communications, Information Technology and Communications on February 28, 2012 (registration certificate № PI FS 77-48698).

The Journal is included in the List of peer-reviewed scientific publications by the Higher Attestation Commission, in which the main results of dissertations for the degree of PhDs and MDs should be published.

Frequency: 4 issues per year.

Distribution: RUSSIA, foreign countries.

The purpose of the journal is to highlight current trends and technologies for the treatment of injuries and diseases of the musculoskeletal system based on experimental, theoretical and clinical studies conducted both in domestic and foreign scientific and clinical centers

The journal is intended for practicing orthopedic traumatologists, teachers, students, interns, residents and postgraduates of higher educational institutions, doctors of related specialties (anesthesiologists, resuscitators, rehabilitologists, neurosurgeons, etc.)

Chief editor:

Alexey V. Lychagin, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA.

Scientific editor:

Gennadiy M. Kavalersky, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Editorial board:

Idar F. Akhtyamov, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Surgery of extreme states of Kazan State Medical University, Kazan, RUSSIA

Dmitry S. Bobrov, secretary-in-charge, Cand. of Med. Sci., Associate Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Leonid K. Brizhan, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of CTiO FGKU «Main Military Hospital Burdenko», Professor of Department of Surgery with the course of traumatology, orthopedics and surgical endocrinology Federal State Institution «The National Medical and Surgical Center named NI Pirogov «the Ministry of Health of the Russian Federation, Moscow, RUSSIA

Andrey V. Garkavi, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Andrey A. Gritsyuk, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Vadim E. Dubrov, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of General and Specialized Surgery, Faculty of Fundamental Medicine of Lomonosov Moscow State University, Chief Traumatologist of Moscow, Moscow, RUSSIA

Karen A. Eghiazaryan, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery. N.I. Pirogov Ministry of Health of Russia, Moscow, RUSSIA

Andrey A. Kardanov, Dr. of Med. Sc., Deputy Chief Medical Officer European Medical Center, Moscow, RUSSIA

Andrey V. Korolev, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, RUSSIA

Valery Yu. Murylev, Dr. Sci. Med., Professor, of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, Russia; Head of Moscow City Arthroplasty Center, Botkin City Clinical Hospital, Moscow, RUSSIA

Viktor G. Protcko, Dr. of Med. Sci., Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Peoples' Friendship University of Russia, Moscow, Russian Federation; Surgeon, Chief of Foot Surgery Centre City Clinical Hospital named after S.S. Yudin, Moscow, RUSSIA

Valery G. Samoday, Dr. of Med. Sci., Professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Military Field Surgery of Voronezh State Medical University named after N.N. Burdenko, Voronezh, RUSSIA

Leonid Yu. Slinyakov, Dr. of Med. Sci., Professor, Professor of the Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Alena A. Shubkina, secretary of the journal, orthopedist-traumatologist of Sechenov University, Moscow, RUSSIA

Editorial Council:

Siegfried Hofmann, Dr. of Med. Sci., Associate Professor Orthopedic Surgery of Head Knee Training Center, LKH Stolzalpe, 8852 Stolzalpe, AUSTRIA

Bernard F. Morrey, Dr. of Med. Sci., Professor of Orthopedic Surgery, Mayo Clinic, Rochester, Minnesota; Professor of Orthopedics, University of Texas Health Center, San Antonio, Texas, USA

Elizaveta Kon, Dr. of Med. Sci., Associate Professor Orthopedics, Chief of Translational Orthopedics of Knee Functional and Biological Reconstruction Center, Humanitas Research Hospital, Milano, ITALY

Timo Järvelä, Dr. of Med. Sci., PhD, Professor, Tampere University Hospital, Hatanpää Arthroscopic Center and Orthopaedic Department, FINLAND

СОДЕРЖАНИЕ

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ

К.А. ЕГИАЗАРЯН, И.В. СИРОТИН, К.В. ГАНИН, А.П. РАТЬЕВ, Г.Д. ЛАЗИШВИЛИ, А.Б. БУТ-ГУСАИМ ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА.....	7
Р.А. ЗУБАВЛЕНКО, С.В. БЕЛОВА, А.П. ДАВЫДОВ, В.Ю. УЛЬЯНОВ ВЛИЯНИЕ ПОЛИНУКЛЕОТИДОВ В КАЧЕСТВЕ ИНЪЕЦИРУЕМОГО ПРОЛИФЕРАНТА НА ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ОСТЕОАРТРОЗА	12
Т.Р. КУДРАЧЕВ, А.В. ЛЫЧАГИН, М.М. ЛИПИНА, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, М.П. ЕЛИЗАРОВ, Ю.Р. ГОНЧАРУК, Н.А. АКСЕНОВА, Д.И. ЛАРИОНОВ, М.И. ШКЕРДИНА СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СКАФФОЛДА МЕНИСКА КОЛЕННОГО СУСТАВА	18
С.В. ЛИХАЧЕВ, В.В. ОСТРОВСКИЙ, В.Б. АРСЕНИЕВИЧ, В.В. ЗАРЕЦКОВ, И.Н. ЩАНИЦЫН, А.Е. ШУЛЬГА ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПРИ ОСКОЛЬЧАТЫХ ПЕРЕЛОМАХ ПОЗВОНКОВ ПЕРЕХОДНОГО ГРУДОПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА	25
А.В. ЛЫЧАГИН, С.В. ИВАННИКОВ, В.В. СУРИН, П.И. ПЕТРОВ, Т.А. ЖАРОВА, А.И. НАИМАНН, Я. ЯН, Д.С. БОБРОВ, А.В. ГАРКАВИ, И.А. ВЯЗАНКИН, Ю.Р. ГОНЧАРУК, М.М. ЛИПИНА, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, А.Ю. ЗАРОВ АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАЦИИ ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА КОЛЕННОГО СУСТАВА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ УЧАСТКОВ ХОНДРОПАТИИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ	36
А.В. ЛЫЧАГИН, В.И. ЮСУПОВ, В.В. СУРИН, С.В. ИВАННИКОВ, П.И. ПЕТРОВ, О.И. БАЙЦАЕВА, Т.К. МАЛИКОВА, Н.В. КОВАЛЕНКО, Е.Д. ШЕВЕЛКИНА, А.Ю. ЗАРОВ ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СУСТАВНОМ ХРЯЩЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОЧАГА ХОНДРОПАТИИ	47
Б.И. МАКСИМОВ ПРИМЕНЕНИЕ МИНИИНВАЗИВНОГО ЛАДОННОГО ДОСТУПА В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ ДИСТАЛЬНОГО МЕТАЭПИФИЗА ЛУЧЕВОЙ КОСТИ.....	56
Х.Ч. ХАНЬ, И.Ф. АХТЯМОВ, С.А. АРДАШЕВ СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАРИАНТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПЕРЕЛОМА ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРА	67
КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ	
Б.Д. РАЙКОВ, К.М. АЗАРКИН, А.В. ЛЫЧАГИН, Ю.Р. ГОНЧАРУК, М.М. ЛИПИНА, А.В. ГАРКАВИ, И.А. ВЯЗАНКИН, Д.А. ПОГОСЯН, Е.Б. КАЛИНСКИЙ, Б.М. КАЛИНСКИЙ, Т.Р. КУДРАЧЕВ, Э.Э. МУРДАЛОВ, А.Р. ДРОГИН, Н.О. БЕЛОВ, Н.Р. РОВНЯГИНА, Г.С. БУДЫЛИН НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУСТАВНОГО ХРЯЩА: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ (КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР) ..	73
ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ	
А.В. ЛЫЧАГИН, О.Д. ПОДКОСОВ, И.В. КРОЧЕК, Н.А. НАБАТЧИКОВ, П.И. ПЕТРОВ СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОСТЕОМИЕЛИТА КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.....	82
Р.З. НУРЛЫГАЯНОВ, Т.Б. МИНАСОВ, А.М. ВАСИЛЬЕВ, А.М. НУРЛЫГАЯНОВА ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ВИТАМИНА D В КРОВИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ ШЕЙКИ БЕДРА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)	90

CONTENTS

ORIGINAL RESEARCH

K.A. EGIYAZARYAN, I.V. SIROTIN, K.V. GANIN, A.P. RATIYEV, G.D. LAZISHVILI, A.B. BUT-GUSAIM PARENTERAL ADMINISTRATION OF TRANEXAMIC ACID IN TOTAL HIP JOINT ENDOPROSTHESIS.....	7
R.A. ZUBAVLENKO, S.V. BELOVA, A.P. DAVYDOV, V.YU. ULYANOV THE IMPACT OF POLYNUCLEOTIDES AS AN INJECTABLE PROLIFERANT ON THE PRESENTATIONS OF SIMULATED POST-TRAUMATIC OSTEOARTHRITIS ...	12
T.R. KUDRACHEV, A.V. LICHAGIN, M.M. LIPINA, E.B. KALINSKY, M.P. ELIZAROV, YU.R. GONCHARUK, N.A. AKSENOVA, D.I. LARIONOV, M.I. SHKARDINA OWN EXPERIENCE IN THE USE OF POLYCAPROLACTONE IN THE PRODUCTION OF KNEE MENISCUS SCAFFOLD.....	18
S.V. LIKHACHEV, V.V. OSTROVSKIY, V.B. ARSENEVICH, V.V. ZARETSKOV, I.N. SHCHANITSYN, A.E. SHULGA THE USE OF INTERMEDIATE PEDICLE SCREW FIXATION IN BURST FRACTURES OF THE THORACOLUMBAR TRANSITION	25
A.V. LYCHAGIN, S.V. IVANNIKOV, V.V. SURIN, P.I. PETROV, T.A. ZHAROVA, A.I. NAIMANN, YA. YAN, D.S. BOBROV, A.V. GARKAVI, I.A. VIAZANKIN, YU.R. GONCHARUK, M.M. LIPINA, E.B. KALINSKY, A.Y. ZAROV ANALYSIS OF REGENERATION OF HYALINE CARTILAGE OF THE KNEE JOINT AFTER LASER TREATMENT OF CHONDROPATHY SITES OF VARYING DEGREES.....	36
A.V. LYCHAGIN, V.I. YUSUPOV, V.V. SURIN, S.V. IVANNIKOV, P.I. PETROV, O.I. BAITSAEVA, T.K. MALIKOVA, N.V. KOVALENKO, E.D. SHEVELKINA, A.Y. ZAROV ABSORPTION AND SCATTERING OF LASER RADIATION IN ARTICULAR CARTILAGE DURING THE TREATMENT OF THE FOCUS OF CHONDROPATHY	47
B.I. MAXIMOV THE USE OF MINIMALLY INVASIVE VOLAR APPROACH IN THE SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH DISTAL RADIUS FRACTURES.....	56
H.CH. HAN, I.F. AKHTYAMOV, S.A. ARDASHEV COMPARISON OF TWO SURGICAL TREATMENTS FOR PROXIMAL FEMUR FRACTURE IN ELDERLY OBESE PATIENTS	67

CASE REPORT

B.D. RAIKOV, K.M. AZARKIN, A.V. LYCHAGIN, YU.R. GONCHARUK, M.M. LIPINA, A.V. GARKAVI, I.A. VYAZANKIN, D.A. POGOSYAN, E.B. KALINSKY, B.M. KALINSKY, T.R. KUDRACHEV, A.R. DROGIN, N.O. BELOV, N.R. ROVNYAGINA, G.S. BUDYLIN A NEW METHOD FOR DETERMINING THE DIAGNOSTIC PARAMETERS OF ARTICULAR CARTILAGE: FROM THEORY TO PRACTICE.....	73
---	----

LITERATURE REVIEW

A.V. LYCHAGIN, O.D. PODKOSOV, I.V. KROCHEK, N.N. NABATCHIKOV, P.I. PETROV CURRENT TRENDS IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CHRONIC OSTEOMYELITIS OF LIMB BONES. LITERATURE REVIEW.....	82
R.Z. NURLYGAIANOV, T.B. MINASOV, A.M. VASILEV, A.M. NURLYGAIANOVA INFLUENCE OF BLOOD VITAMIN D LEVEL ON THE APPEARANCE OF FEMO NECK FRACTURES (LITERATURE REVIEW)	90

ОРИГИНАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ



<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-7-11>

УДК 616.728.2: 617.3

© К.А. Егиязарян, И.В. Сиротин, К.В. Ганин, А.П. Ратьев, Г.Д. Лазишвили, А.Б. Бут-Гусаим, 2023

Оригинальная статья / Original article

ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНЕКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА

К.А. ЕГИАЗАРЯН, И.В. СИРОТИН, К.В. ГАНИН, А.П. РАТЬЕВ, Г.Д. ЛАЗИШВИЛИ, А.Б. БУТ-ГУСАИМ

ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия

Аннотация

Введение: При проведении тотального эндопротезирования тазобедренного сустава, одним из методов борьбы с послеоперационным кровотечением является транексамовая кислота. Необходимость в реализации исследований для выявления наиболее эффективного и безопасного метода введения данного препарата определяет актуальность данной работы.

Цель: Целью данной работы являлось предложение упрощенной и оптимальной схемы применения «Транексама».

Материалы и методы: Перспективно были изучены данные о 120 пациентах, которым было проведено первичное одностороннее тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава. Совокупность пациентов была разделена на две группы. В первую группу вошли пациенты, которым вводился препарат транексамовой кислоты по предложенной нами схеме: не раньше 30 минут и не позже 1 часа до оперативного вмешательства парентерально вводили препарат транексамовой кислоты в фиксированной дозе 1000 мг, с последующим опциональным применением данного препарата, не превышая дозировку 2000 мг. Во вторую группу вошли пациенты без введения транексамовой кислоты.

Результаты: При сравнении двух групп мы получили достоверное свидетельство в пользу применения транексамовой кислоты.

Выводы: Исследование показало, что транексамовая кислота достоверно снижает риск увеличения кровопотери при его парентеральном использовании по схеме, которую мы предложили в рамках нашего исследования, а также не увеличивает риск тромбоэмболических осложнений.

Ключевые слова: эндопротезирование; кровопотеря; транексамовая кислота; снижение риска; тромбоэмболия; тазобедренный сустав.

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Егиязарян К.А., Сиротин И.В., Ганин К.В., Ратьев А.П., Лазишвили Г.Д., Бут-Гусаим А.Б., ПАРЕНТЕРАЛЬНОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТРАНЕКСАМОВОЙ КИСЛОТЫ ПРИ ТОТАЛЬНОМ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 7–11 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-7-11>

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала.

Исследование одобрено этическим комитетом

PARENTERAL ADMINISTRATION OF TRANEXAMIC ACID IN TOTAL HIP JOINT ENDOPROSTHESIS

KAREN A. EGIAZARYAN, IVAN V. SIROTIN, KIRILL V. GANIN, ANDREY P. RATIYEV, GURAM D. LAZISHVILI, ALEXANDER B. BUT-GUSAIM

Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia

Abstract

Introduction: Tranexamic acid can be used to treat postoperative bleeding after total hip endoprosthesis surgery. The relevance of this study is determined by the need to conduct research to identify the most effective and safe method of administering the drug.

Objective: The aim of this work is to propose a simplified and optimal method of «Tranexam» usage.

Materials and methods: A prospective study was conducted on 120 patients who underwent primary unilateral total hip endoprosthesis. The patients were divided into two groups. Patients from the first group were administered with tranexamic acid according to the proposed method, which is to parenterally administer tranexamic acid in a fixed dose of 1000 mg not earlier than 30 minutes and not later than 1 hour before the surgery, then later optionally administer the drug while not exceeding the dosage of 2000 mg. The second group consisted of patients who were not administered with tranexamic acid.

Results: Comparison of the two groups provided strong evidence for the use of tranexamic acid.

Conclusions: The study showed that usage of tranexamic acid significantly reduces the risk of increased blood loss and does not increase the risk of thromboembolic complications when administered parenterally according to the method proposed in this study.

Keywords: endoprosthesis; blood loss; tranexamic acid; risk reduction; thromboembolism; hip joint.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Egiazaryan K.A., Sirotin I.V., Ganin K.V., Ratyev A.P., Lazishvili G.D., But G.B., PARENTERAL ADMINISTRATION OF TRANEXAMIC ACID IN TOTAL HIP JOINT ENDOPROTHESIS. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1. pp. 7–11 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-7-11>

Введение

Одним из самых активно развивающихся и высокотехнологичных направлений в ортопедической хирургии является тотальное эндопротезирование крупных суставов нижних конечностей. К 2017 году проведение таких операций на территории Российской Федерации насчитывало более 100 000 случаев [1].

Однако, в связи с продолжительностью оперативного вмешательства и высокой степенью травматизации тканей, проведение артропластик тазобедренных и коленных суставов сопряжено с риском возникновения значительных кровопотерь (до 1000-1500 мл по данным литературы), с последующими мероприятиями гемотрансфузии с частотой от 11% до 67% от всех случаев [2,3,4]. В свою очередь, как аутологичное, так и аллогенное переливание крови связано с риском передачи инфекционных заболеваний, возникновением трансфузионной реакции и повышением уровня развития перипротезной инфекции в послеоперационном периоде, что в свою очередь увеличивает время нахождения пациента в стационаре, повышает количество повторных госпитализаций, замедляет скорость реабилитации, повышает стоимость лечения, а в некоторых случаях способно привести к летальному исходу [5].

Вышеперечисленные факты требуют от современного хирурга-ортопеда применение определенных подходов в борьбе с кровопотерей. К ним можно отнести преимущественно щадящие техники оперативных вмешательств, способствование контролируемой системной гипотензии со стороны анестезиологической помощи, применение методов воздействия на систему регуляции агрегатного состояния крови, в частности препаратов ингибирования фибринолиза. К таким препаратам относят транексамовую кислоту.

Убедительные доказательства в поддержку лечения с помощью транексамовой кислоты были представлены в исследовании Melvin et al., где указывалось, что применение транексамовой кислоты значительно уменьшает объем кровопотери в послеоперационном периоде, что в свою очередь напрямую влияет

на дальнейшую раннюю активизацию пациента и уменьшение сроков реабилитации, а также снижение потребности пациента в дальнейшем специализированном уходе [6].

Проанализировав различные подходы в применении транексамовой кислоты, мы пришли к выводу, что на данный момент нет единственной верной схемы введения данного препарата. Многие авторы признают данный факт проблемой и указывают на необходимость проведения исследований с целью выявления оптимальных режимов дозирования [10,11].

Цели исследования - 1. Упростить и оптимизировать схему парентерального введения препарата, с выставлением минимального и максимального рекомендуемого порога в дозировке, с отказом от дальнейшего введения препарата в послеоперационном периоде. 2. Оценить кровесберегающий потенциал препарата транексамовой кислоты и увеличение риска возникновения послеоперационных тромбозомболических осложнений на фоне его применения. 3. Провести сравнительный анализ группы пациентов с парентеральным введением транексамовой кислоты по предложенной схеме и без введения препарата, для подтверждения эффективности данного метода.

Материалы и методы:

Были изучены данные о 120 пациентах за период с 2016 по 2021 г. с диагнозом «Деформирующий коксартроз III-VI ст. по Келгрэн-Лоуренсу», которым в условиях РГНКЦ им Н.И. Пирогова было проведено первичное эндопротезирование тазобедренного сустава. Процент пациентов женского пола составил 69,2%, процент пациентов мужского пола составил 30,8%. Совокупность пациентов была разделена на две группы. В первую группу вошли пациенты за период с 2019 г. по 2021 г., которым вводился препарат транексамовой кислоты по предложенной нами схеме: не ранее чем за 30 минут и не позднее 1 часа до оперативного вмешательства парентерально вводили препарат транексамовой кислоты в фиксированной дозе 1000 мг, с последующим опциональным интраоперационным

применением данного препарата, не превышая дозировку 2000 мг. Во вторую группу вошли пациенты за период с 2016 по 2018г без введения транексамовой кислоты. Средний возраст в группе пациентов с использованием транексама составил $64,3 \pm 11,7$ года, без использования «Транексама» - $65,6 \pm 10,3$ года. Обеим группам пациентов проведена оценка показателей эритроцитов и гемоглобина в составе клинического анализа крови при поступлении и в 1-й день после оперативного вмешательства для анализа кровесберегающего действия и клинической эффективности препарата транексамовой кислоты. Обеим группам пациентов оперативное вмешательство проводилось с использованием спинально-эпидуральной анестезии. В послеоперационном периоде в качестве тромбопрофилактики все пациенты принимали прямые оральные антикоагулянты, также использовалось механическая профилактика с помощью компрессионного трикотажа.

Статистическая обработка данных осуществлялась в Microsoft Excel с использованием программной системы STATISTICA 10. Для сравнения средних значений двух независимых выборок использовали t-критерий Стьюдента. Различия считали достоверными при $p < 0,001$

Критерии включения: Операции: тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава по поводу деформирующего остеоартроза III-VI ст. по Келлгрен-Лоуренсу, диспластического коксартроза и асептического некроза головки бедренной кости передне-боковым и задне-боковым доступом, всем пациентам проводилась антикоагулянтная терапия в послеоперационном периоде.

Критерии исключения: Пациенты с предшествующей двойной антиагрегантной терапией, с нарушениями в системе коагуляции, пациенты после протезирования искусственных клапанов сердца, повторными оперативными вмешательствами по поводу тотального эндопротезирования тазобедренного сустава.

Результаты

Сравнение показателей красной крови в двух исследуемых группах

Показатели	1-я группа с использованием транексамовой кислоты n=60	2-я группа без использования транексамовой кислоты n=60
Эритроциты до операции	$4,24 \pm 0,37 * 10^{12}/л$	$4,26 \pm 0,25 * 10^{12}/л$
Эритроциты после операции	$3,86 \pm 0,37 * 10^{12}/л$	$3,32 \pm 0,44 * 10^{12}/л$
Гемоглобин до операции	$132,68 \pm 9,52 г/л$	$136,6 \pm 7,8 г/л$
Гемоглобин после операции	$118,45 \pm 12,74 г/л$	$95,36 \pm 13,73 г/л$

Из анализа показателей красной крови с учетом средней продолжительности оперативных вмешательств в двух группах соответственно получены статистически достоверные различия: при применении транексамовой кислоты уровень эритроцитов и гемоглобина на 1-е сутки после операции оказался выше, чем в группе без применения данного препарата. Было выявлено, что в первой группе уровень эритроцитов снизился на $0,38 \pm 0,4 * 10^{12}/л$, а уровень гемоглобина на $14,23 \pm 10,42 г/л$. Во второй группе эти значения оказались выше: $0,94 \pm 0,5 * 10^{12}/л$ для эритроцитов, $41,21 \pm 14,49 г/л$ для гемоглобина.

Исходя из этих данных можно сделать вывод, что транексамовая кислота достоверно снижает кровопотерю при парентеральном использовании по схеме, которую мы предложили в рамках нашего исследования.

Обсуждение

Как указывалось нами ранее, единый подход к выбору оптимальной дозировки и метода введения препарата ингибитора фибринолиза отсутствует. В мировом научном сообществе было представлено достаточно много оригинальных схем введения препарата. Дозы транексамовой кислоты варьируют от 500 мг болюсно в одних исследованиях до 135 мг/кг в других [9]. В научной статье «Возможности использования транексамовой кислоты при эндопротезировании коленного сустава» РФГБУ «РНИИТО им. Р.Р. Вредена» проводился сравнительный анализ между введением транексамовой кислоты в дозировке 15 мг/кг массы тела и комбинированным применением препарата, включающим и местное использование «Транексама», в исследовании Prieto et al. вводили препарат только парентерально, применяя дозировку 20 мг/кг [7, 8]. В работе Sohrab Keyhani et al показано, что увеличение внутривенной дозы транексамовой кислоты в 2 раза является более эффективным для снижения кровопотери и потребности в компонентах донорской крови [13]. Конечно, с увеличением дозы транексамовой кислоты увеличивается ее кровесберегающий эффект, но одновременно повышается риск развития побочных эффектов, в том числе и венозных тромбоэмболических. Напротив, недостаточная дозировка препарата с высокой долей вероятности не способна привести к стойкому гемостазу. Поэтому в рамках нашего исследования мы постарались проанализировать подходы разных авторов и предложить свой вариант применения препарата.

Наш метод основывался на режиме дозирования, представленном в исследовании Norio Imai et al, который заключался в введении одного грамма препарата перед разрезом с последующей повторной дозой через шесть часов [14]. Однако, проведенное исследование Д.Р. Борисова и др. не выявило дополнительного кровесберегающего эффекта при назначении повторной болюсной дозы одного грамма транексамовой кислоты через три часа после первого введения (перед разрезом) или через шесть часов после операции по сравнению с однократным предоперационным болюсным введением одного грамма тра-

нексамовой кислоты [15]. В связи с чем мы приняли решение использовать дополнительные 1000 мг препарата опционально во время оперативного вмешательства до достижения стойкого гемостаза. Простейший сравнительный анализ показателей красной крови до и после оперативного вмешательства позволил достаточно высоко оценить эффект транексамовой кислоты с использованием нашей схемы введения.

Также мы предположили, что ограничение с максимальным порогом дозировки препарата в 2000 мг позволит, при сохранении кровесберегающего эффекта, исключить дальнейшие тромбоэмболические осложнения у пациентов в послеоперационном периоде. Однако, стоит признать, что количество больных, выбранных для данного исследования, недостаточно для ответа на вопрос о достоверной безопасности данного препарата в представленной дозировке. Тем не менее, в контрольной группе среди всех пациентов в послеоперационном периоде тромбоэмболий и тромбозов выявлено не было. В значительной степени вопрос о безопасности препарата был решен в исследовании CRUSH-2, которое показало, что раннее введение ТХА пациентам с травмами со значительным кровотечением или с риском его возникновения снижает летальность от кровотечения без явного увеличения тромбоэмболических осложнений [12]. Однако, схожие по концепции и уровню достоверности исследования с использованием препарата в группе пациентов после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей требуют дальнейшего изучения.

Одним из критериев эффективности данного препарата является снижение частоты гемотрансфузий на фоне его применения. Мы не ставили перед собой задачу оценить данный параметр в связи с небольшой выборкой пациентов, однако, в ходе исследования было установлено, что по сравнению с пациентами первой группы без введения транексама, где гемотрансфузии присутствовали, у пациентов второй группы проведение переливания крови не потребовалось.

Вывод

В ходе проведения данного исследования было установлено, что использование препарата транексамовой кислоты по предложенной нами схеме является эффективным методом борьбы с кровопотерями после эндопротезирования крупных суставов нижних конечностей. Тем не менее, многие вопросы, такие как обоснование безопасности использования препарата в ортопедической хирургии и зависимость продолжительности оперативного вмешательства от введения транексамовой кислоты, выявленные в ходе исследования, указали на потребность в более детальном их рассмотрении в будущих научных работах.

Список литературы / References:

1. Андреева Т.М., Огрызко Е.В., Попова М.М., Травматизм, ортопедическая заболеваемость, состояние травматолого-ортопеди-

ческой помощи населению России в 2017 // Ежегодный статистический сборник. М. Телер, 2018;148–149. [Andreeva T.M., Ogryzko E.V., Popova M.M., [Travmatizm, ortopedicheskaya zabolevaemost, sostoyanie travmatologo-ortopedicheskoy pomoshchi naseleniyu Rossii v 2017] Ezhegodnyy statisticheskiy sbornik. Moscow: Teler Publ., 2018;148–149. (in Russian)]

2. Tavares Cardozo R, Fidelis de Souza Junior E, Campoli Alves W, Barbi Filho F. Total knee arthroplasty: indication of blood transfusion according to hematimetric variation and clinical symptoms of hypoperfusion Revista brasileira de ortopedia. 2014;49(5):507–512. DOI: 10.1016/j.rboe.2013.09.002.

3. Bierbaum BE, Callaghan JJ, Galante JO, Rubash HE, Tooms RE, Welch RB. An analysis of blood management in patients having a total hip or knee arthroplasty The Journal of Bone and Joint Surgery. 1999;81(1):2–10. DOI: 10.2106/00004623-199901000-00002.

4. Noticewala MS, Nyce JD, Wang W, Geller JA, Macaulay W. Predicting need for allogeneic transfusion after total knee arthroplasty The Journal of Arthroplasty. 2012;27(6):961–967. DOI: 10.1016/j.arth.2011.10.008.

5. Friedman R, Homering M, Holberg G, Berkowitz SD. Allogeneic blood transfusions and postoperative infections after total hip or knee arthroplasty Journal of Bone and Joint Surgery. 2014;96(4):272–278. DOI: 10.2106/JBJS.L.01268.

6. Melvin JS, Stryker LS, Sierra RJ. Tranexamic Acid in Hip and Knee Arthroplasty The Journal of the American Academy of Orthopaedic Surgeons. 2015;23(12):732–40. DOI: 10.5435/JAAOS-D-14-00223.

7. Накопия В.Б., Каземирский А.В., Преображенский П.М., Рябинин М.В. Возможности использования транексамовой кислоты при эндопротезировании коленного сустава // Современные проблемы науки и образования. 2019; 6:204–204. DOI: 10.17513/spno.29485 [Nakopija V.B., Kazemirskij A.V., Preobrazhenskij P.M., Rjabinin M.V., The possibilities of using tranexamic acid for total knee replacement Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya. 2019;6:204–204. DOI: 10.17513/spno.29485]

8. Prieto H.A., Vincent H.K., Deen J.T., Iams D.A., Parvataneni H.K. Tranexamic acid effectively reduces blood loss and transfusion rates during simultaneous bilateral Total knee arthroplasty The Journal of Knee Surgery. 2018;31(3):270–276. DOI: 10.1055/s-0037-1603333.

9. Пшеницына Е.В., Зарреков В.И., Малышев Е.Е. Местное применение транексамовой кислоты при эндопротезировании коленного сустава // Травматология и ортопедия России. 2016; 22(4):16–24. DOI: 10.21823/2311-2905-2016-22-4-16-24. [Pshenitsyna E.V., Zagrekov V.I., Malyshev E.E., Local application of tranexamic acid in knee replacement Travmatologija i ortopedija Rossii. 2016;22(4):16–24.]

10. Zufferey P, Merquiol F, Laporte S, Decousus H, Mismetti P, Auboyer C, Samama CM, Molliex S. Do antifibrinolytics reduce allogeneic blood transfusion in orthopedic surgery? Anesthesiology. 2006;105(5):1034–1046. DOI: 10.1097/00000542-200611000-00026.

11. McConnell JS, Shewale S, Munro NA, Shah K, Deakin AH, Kinmonth AW. Reduction of blood loss in primary hip arthroplasty with tranexamic acid or fibrin spray Acta orthopaedica. 2011; 82(6):660–663. DOI: 10.3109/17453674.2011.623568.

12. Roberts I, Shakur H, Coats T, Hunt B, Balogun E, Barnetson L, Cook L, Kawahara T, Perel P, Prieto-Merino D, Ramos M, Cairns J, Guerriero C. The CRASH-2 trial: a randomised controlled trial and economic evaluation of the effects of tranexamic acid on death, vascular occlusive events and transfusion requirement in bleeding trauma patients Health Technology Assessment. 2013;17(10):1-79. DOI: 10.3310/hta17100.

13. Keyhani S, Esmailiejah AA, Abbasian MR, Safdari F. Which Route of Tranexamic Acid Administration is More Effective to Reduce Blood Loss Following Total Knee Arthroplasty? The archives of bone and joint surgery. 2016;4(1):65-69.

14. Imai N, Dohmae Y, Suda K, Miyasaka D, Ito T, Endo N. Tranexamic acid for reduction of blood loss during total hip arthroplasty The Journal of arthroplasty. 2012;27(10):1838-1843. DOI: 10.1016/j.arth.2012.04.024.

15. Борисов Д. Б., Киров М. Ю.. Применение транексамовой кислоты при эндопротезировании крупных суставов // Новости хирургии. 2013, Т. 21, № 4. С. 107-112. [Borisov D. B., Kirov M. Ju., The use of tranexamic acid in major joint replacement Novosti hirurgii. 2013;21(4):107-112.]

Информация об авторах:

Егиазарян Карен Альбертович – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail egkar@mail.ru

Сиротин Иван Владимирович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail ivsir@mail.ru

Ганин Кирилл Викторович – ординатор 2-го года на кафедре травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail ganinkirill293@gmail.com

Ратьев Андрей Петрович – доктор медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail anratiev@gmail.com

Лазивили Гурам Давидович – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н.И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail guramlaz@gmail.com

Бут-Гусаим Александр Борисович – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии, ортопедии и военно-полевой хирургии Педиатрического факультета ФГАОУ ВО Российский национальный исследовательский медицинский университет имени Н. И. Пирогова Минздрава России, 117997, Москва, Россия. e-mail alex-ortoped@yandex.ru

Автор, ответственный за переписку: Ганин Кирилл Викторович, e-mail ganinkirill293@gmail.com

Information about authors:

Karen A. Egiazaryan – MD, professor, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia e-mail egkar@mail.ru

Ivan V. Sirotnin – PhD, Associate professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia e-mail ivsir@mail.ru

Kirill V. Ganin – resident of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia, e-mail ganinkirill293@gmail.com

Andrey P. Ratiev – MD, Associate professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia e-mail anratiev@gmail.com

Guram D. Lazishvili – MD, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia e-mail guramlaz@gmail.com

Alexander B. But-Gusaim – MD, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Military Field Surgery, Faculty of Pediatrics, Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education Pirogov Russian National Research Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 117997, Moscow, Russia e-mail alex-ortoped@yandex.ru

Corresponding author: Ganin Kirill Viktorovich, e-mail ganinkirill293@gmail.com

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-12-17>

УДК 616-085: 616.72 – 003.8: 591.2

© Р.А. Зубавленко, С.В. Белова, А.П. Давыдов, В.Ю. Ульянов, 2023

Оригинальная статья / Original article



ВЛИЯНИЕ ПОЛИНУКЛЕОТИДОВ В КАЧЕСТВЕ ИНЪЕЦИРУЕМОГО ПРОЛИФЕРАНТА НА ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ОСТЕОАРТРОЗА

Р.А. ЗУБАВЛЕНКО, С.В. БЕЛОВА, А.П. ДАВЫДОВ, В.Ю. УЛЬЯНОВ

ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского, 410012, Саратов, Россия

Аннотация

Обоснование. Посттравматический остеоартроз (ПТОА) суставов является многофакторным заболеванием, обусловленным механическими и биологическими изменениями; оно, в основном, характеризуется дегенерацией суставного хряща, субхондральной кости и изменением свойств синовиальной жидкости, вязкость которой снижается, что требует коррекции. Биоактивные вещества, состоящие из полинуклеотидов, попадая в сустав, расщепляются до простых нуклеотидов, нуклеозидов и азотистых оснований, которые, как известно из литературы, в физиологических концентрациях присутствуют во внеклеточной среде, и представляют собой фундаментальные субстраты для регенерации клеток сустава. **Цель исследования** – оценить влияние полинуклеотидов в качестве инъектируемых пролиферантов на проявления экспериментального ПТОА. **Материалы и методы.** Работа была выполнена на белых нелинейных крысах самцах. Интенсивность перекисного окисления липидов оценивали по уровню накопления в сыворотке крови животных гидроперекисей липидов (ГПЛ), об активности антиоксидантной системы судили по тиоловому статусу (ТС). Для оценки синтетической активности остеобластов определяли содержание остеокальцина (ОК), а для метаболизма суставного хряща – гиалуронана (ГН). **Результаты.** На 7-е сутки экспериментальной работы нами было подтверждено формирование модели ПТОА на основании изменений уровней маркеров сыворотки крови. В результате внутрисуставных инъекций пролиферантов на основе полинуклеотидов на 28-е сутки эксперимента отмечали повышение ГПЛ, в то время как ТС был снижен. Под действием полинуклеотидов дисбаланса в механизмах регуляции костно-хрящевого компонента сустава не наблюдалось, что подтверждено снижением показателей ОК и ГН на 28-е сутки эксперимента против группы сравнения. **Заключение.** Данные проведенного эксперимента свидетельствовали о начале дегенеративных изменений на 7-е сутки после моделирования ПТОА. Полинукеотиды, инъектируемые в качестве пролиферантов, представляют собой вещества способные поддерживать процессы физиологического восстановления костно-хрящевых структур и окислительно-восстановительной реакции суставных тканей при экспериментальном ПТОА.

Ключевые слова: травма; остеоартроз; полинуклеотиды; лабораторные животные; экспериментальное лечение

Финансирование: Исследование выполнено в рамках проекта № SSMU-2021-002 «Комплексное исследование патологических механизмов развития патологических процессов в скелетных тканях у животных с экспериментальной моделью посттравматического остеоартроза» ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России.

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

Для цитирования: Зубавленко Р.А., Белова С.В., Давыдов А.П., Ульянов В.Ю., ВЛИЯНИЕ ПОЛИНУКЛЕОТИДОВ В КАЧЕСТВЕ ИНЪЕЦИРУЕМОГО ПРОЛИФЕРАНТА НА ПРОЯВЛЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО ПОСТТРАВМАТИЧЕСКОГО ОСТЕОАРТРОЗА. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 12–17 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-12-17>

Этическая экспертиза. Манипуляции с животными выполняли в соответствии с Федеральным законом «О защите животных от жестокого обращения» от 1 декабря 1999 года, а также рекомендациями комитета по этике ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России (протокол заседания №1 от 05.02.2019 г.).

THE IMPACT OF POLYNUCLEOTIDES AS AN INJECTABLE PROLIFERANT ON THE PRESENTATIONS OF SIMULATED POST-TRAUMATIC OSTEOARTHRISIS

ROMAN A. ZUBAVLENKO, SVETLANA V. BELOVA, ALEKSEY P. DAVYDOV, VLADIMIR YU. ULYANOV

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, the Russian Federation Ministry of Healthcare, 410012, Saratov, Russia

Abstract

Relevance. Post-traumatic osteoarthritis (PTOA) is a multifactorial disease caused by mechanical and biological changes. It mainly features the degeneration of the articular cartilage and subchondral bone, and changes in the properties of synovial fluid; its viscosity decreases which requires correction. When

entering the joint, the bioactive substances consisting of polynucleotides break into simple nucleotides, nucleosides, and nucleobases, which, as is known from the published studies, are present in the extracellular environment in physiologic concentrations, and are fundamental substrates for joint cell regeneration. **The objective** of this study is to investigate the impact of polynucleotides as injectable proliferants on the presentations of simulated PTOA. **Materials and methods.** The experiment involved white outbred male rats. The intensity of lipid peroxidation was assessed by lipid hydroperoxides (LHP) accumulation in the serum of the animals, and antioxidant system activity by thiol status (TS). To assess the synthetic osteoblasts activity osteocalcin (OC) content was determined, and the articular cartilage metabolism was defined by hyaluronan (HN) content. **Results.** On Day 7 of the experiment, the PTOA simulation was confirmed by the changes in the levels of serum markers. Resulting from intra-articular administration of polynucleotide-based proliferates on Day 28 the decrease in HPL was observed while TS was increased. The polynucleotides didn't cause any imbalance the regulation mechanisms of the joint osteochondral component which was confirmed by a decrease in OC and HN values on Day 28 versus the comparison group. **Conclusion.** The experiment findings suggest the onset of degenerative changes as early as on Day 7 of PTOA simulation. Polynucleotides injected as proliferants are substances capable of supporting physiological restoration in osteochondral structures as well as redox reactions in articular tissues in simulated PTOA.

Keywords: trauma, osteoarthritis, polynucleotides, laboratory animals, experimental management

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: This study is a part of the project No. SSMU-2021-002 Comprehensive study of pathological mechanisms of the progressing of pathological processes in skeletal tissues in animals with simulated post-traumatic osteoarthritis of the Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, the Russian Federation Ministry of Healthcare.

For citation: Zubavlenko R.A., Belova S.V., Davydov A.P., Ul'yanov V.Y., THE IMPACT OF POLYNUCLEOTIDES AS AN INJECTABLE PROLIFERANT ON THE PRESENTATIONS OF SIMULATED POST-TRAUMATIC OSTEOARTHRITIS. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1. pp. 12–17 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-12-17>

Обоснование. Посттравматический остеоартроз (ПТОА) представляет собой хроническое прогрессирующее поражение сустава, возникающее после его травматического повреждения. ПТОА чаще развивается после внутрисуставных переломов, однако может возникать и после травм мягкотканых структур (связок, менисков и т.д.). Осложнения в виде ПТОА встречаются в 35,5-69,75% случаев и развиваются в среднем через 3-5 лет после травмы [1]. Исследования в области ПТОА – это широкий спектр работ от базовых с культурами *in vitro* до экспериментов с имплантированными тканями, моделированием на животных и клинической оценкой ответной реакции организма. Сопоставление результатов этих различных исследовательских настроек сопряжено со многими проблемами. Преобразование лабораторных результатов в клинически подтвержденные подходы к лечению является основной задачей патофизиологических и ортопедических исследований. Центральная тема продолжающихся исследований заключается в том, что острые механические повреждения суставов инициируют последовательность биологических событий с преобладанием катаболических процессов над анаболическими, в частности – из-за неадекватности репаративного ответа, которые вызывают прогрессирующую дегенерацию суставов. В результате исследований тканей эксплантов и животных появляются значительные доказательства того, что новые молекулярные вмешательства могут смягчить или остановить эти неблагоприятные события, и, таким образом, способствовать восстановлению суставов. Эти результаты еще предстоит подтвердить *in vivo* на человеческих суставах, но они дают надежду на смену парадигмы в коррекции ПТОА.

Несоответствие суставной поверхности и нестабильность, возникающие после некоторых травм суставов, играют кри-

тическую роль в развитии ПТОА – проблеме, которая также требует внимания. Период времени, в течение которого развивается клинически поддающийся измерению ПТОА, сильно варьирует и составляет у грызунов от 7 до 60 дней, и это еще одна проблема, требующая внимания [2-4]. Современный мир нуждается в разработке биоактивных веществ с регенераторным потенциалом, воздействующих на измененную внутрисуставную микросреду, и способных восстанавливать физиологическое состояние хрящевой и костной тканей. Полидезоксирибонуклеотиды представляют собой смесь пуринов, пиримидинов, дезоксирибонуклеотидов и дезоксирибонуклеозидов, осуществляющих регенераторное влияние на ткани сустава. Они связывают воду, обладают вязкоупругими свойствами и вызывают рост клеток, выработку коллагена, миграцию клеток, а также имеют свойство снижать воспаление [5]. Снижение продукции провоспалительных цитокинов наблюдалось и у мышей с индуцированным остеоартритом [6, 7]. Полинуклеотиды в доклинических исследованиях показывают уменьшение деградации протеогликанов и активности металлопротеиназ в хондроцитах при ПТОА [7]. Существует мнение, что полидезоксирибонуклеотиды имитируют естественные процессы излечения остеоартроза, стимулируя локальный воспалительный каскад, который запускает высвобождение факторов роста и синтез коллагена [6, 8]. С учетом этого механизма используемые вещества, содержащие полинуклеотиды в качестве инъектируемого пролиферанта, могут считаться перспективным средством в терапии ПТОА.

Цель исследования – оценить влияние полинуклеотидов в качестве инъектируемых пролиферантов на проявления экспериментального ПТОА в различные сроки его развития.

Материалы и методы. Экспериментальная часть работы была выполнена на 96 белых крысах самцах массой 290–330 г. в виварии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России. Манипуляции с животными выполняли в соответствии с Федеральным законом «О защите животных от жестокого обращения» от 1 декабря 1999 года, а также рекомендациями комитета по этике ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ им. В.И. Разумовского Минздрава России (протокол заседания №1 от 05.02.2019 г.).

Лабораторные крысы были разделены на 3 группы: группа контроля – 10 здоровых крыс, группа сравнения – 56 крыс с ПТОА без лечения, опытная группа – 30 крыс с ПТОА, которым проводили лечение препаратом на основе полидексорибонуклеотида («Хронотрон», «Mastelli S.r.L.», Италия). Все действия с животными выполняли под общей анестезией с применением препаратов Золетил-100 в дозе 0,1 мл/кг («Virbac Sante Animale», Франция) и Ксилазин в дозе 10 мг/кг («Interchemie», Нидерланды). Моделирование ПТОА осуществляли хирургическим способом (открытое пересечение передней крестообразной связки и нанесение насечек на нагружаемые поверхности хряща гибательного сустава).

Эксперимент выполняли в течение 28 дней. В 1-е сутки эксперимента произведен интракардиальный забор крови у 10 здоровых крыс контрольной группы, а также хирургические вмешательства, направленные на моделирование ПТОА у 86 животных. Распределение по дальнейшим манипуляциям отражены в таблице 1. Для внутрисуставного введения использовали инсулиновый шприц D21. В правый коленный сустав вводили биоактивные вещества на основе полинуклеотидов в дозе 20 мг/мл 0,2 мл, 3 инъекции с интервалом в одну неделю.

Таблица 1

Распределение лабораторных животных по группам и проводимым манипуляциям

	7-е сутки эксперимента			14-е сутки эксперимента		21-е сутки эксперимента		28-е сутки эксперимента	
	Группа контроля	Группа сравнения	Опытная группа	Группа сравнения	Опытная группа	Группа сравнения	Опытная группа	Группа сравнения	Опытная группа
Выведение животных из эксперимента	10	14	-	14	10	14	10	14	10
Внутрисуставное введение веществ на основе полинуклеотидов	-	-	30	-	20	-	10	-	-

Из эксперимента животных выводили путем передозировки препаратов для наркоза, после чего производили интракардиальный забор крови.

Биологические отходы (трупы животных) утилизировались в соответствии с ветеринарно-санитарными правилами сбора, утилизации и уничтожения биологических отходов №13-7-2/469.

Подтверждение деструктивных изменений сустава (формирование модели) проводили, основываясь на изменениях биомаркеров сыворотки крови через 7 дней после проведенного хирургического моделирования ПТОА. Перекисное окисление липидов анализировали колориметрическим методом, оценивая уровень накопления гидроперекисей липидов (ГПЛ) в сыворотке крови животных с использованием набора «Lipid Hydroperoxide Assay Kit» («Cayman Chemical», США), активность антиоксидантной системы (АОС) проверяли по тиоловому статусу (ТС) – набор «Thiol-status» («Immundiagnostic AG», Германия). Минерализацию матрикса костей изучали методом иммуноферментного анализа (ИФА) на аппарате «Anthos 2020» («Biohrom Ltd.», Великобритания), определяя содержание одного из основных неколлагеновых белков остеокальцина (ОК) (набор «Rat-Mid™ Osteocalcin EIA», «Immundiagnostic Systems Holdings Ltd.», Великобритания). Об изменениях хрящевого матрикса судили по содержанию гиалуронана (ГН) в сыворотке крови, используя наборы реактивов «Quantikine® ELISA Hyaluronan Immunoassay» («R&D Systems, Inc.», США).

Статистическую обработку результатов исследования проводили с помощью программы Statistica 10. Учитывая тот факт, что распределение переменных отличалось от нормального, полученные данные были обработаны с использованием непараметрического U-критерия Манна-Уитни с представлением результатов в виде медианы и межквартильного размаха 25 и 75 перцентилей. Уровень критической значимости p принимали $<0,05$.

Результаты. У животных группы сравнения с ПТОА группы сравнения динамические изменения содержания ГПЛ и ТС характеризовались некоторыми особенностями (рис. 1, 2). Так, содержание ГПЛ постепенно возрастало после моделирования ПТОА на 7-е сутки эксперимента, увеличившись до 7,55 (6,9; 9,7) нмоль, и достигло своего максимума на 14-е сутки эксперимента, увеличившись в 1,33 раза по сравнению с контрольным значением ($p>0,05$). При этом следует отметить, что концентрация ГПЛ в сыворотке крови животных группы сравнения во все сроки наблюдения была выше, чем в контрольной группе ($p<0,05$). Концентрация ТС на 7-е сутки после моделирования ПТОА уменьшилась до 90,35 (85,2; 92,8) мкмоль/л по сравнению с контролем ($p<0,001$). При этом следует отметить, что концентрация ТС группы сравнения во все сроки наблюдения была ниже, чем в контрольной группе ($p<0,05$).

Изменения содержания продуктов метаболизма хрящевой и костной тканей также имели определенные особенности (рис. 3, 4). В нашей работе вследствие негативных изменений в субхондральной кости в группе сравнения выявлено уве-

личение уровня ОК с 7-х суток до 209,1(180,9; 241,6) нг/мл по сравнению с группой контроля, максимально на 14-е сутки в 1,15 раза ($p < 0,01$), с последующим незначительным снижением по сравнению с каждым предыдущими сроками. Концентрация ОК в сыворотке крови животных группы сравнения во все сроки наблюдения была выше, чем в контрольной группе, значимо на 14-е и 21-е сутки ($p < 0,05$), что свидетельствовало о происходящих нарушениях в костном метаболизме суставных структур животных с ПТОА. Содержание ГН группы сравнения увеличилось на 7-е сутки после моделирования ПТОА до 104,75(98,1; 118,5) нг/мл, и достигло своего максимума на 14-е сутки эксперимента, увеличившись в 1,68 раза по сравнению с контрольным значением ($p < 0,001$). Концентрация ГН в сыворотке крови животных группы сравнения во все сроки эксперимента была значимо выше, чем в контрольной группе ($p < 0,05$), что говорило о деструкции процессов в хрящевом матриксе суставов.

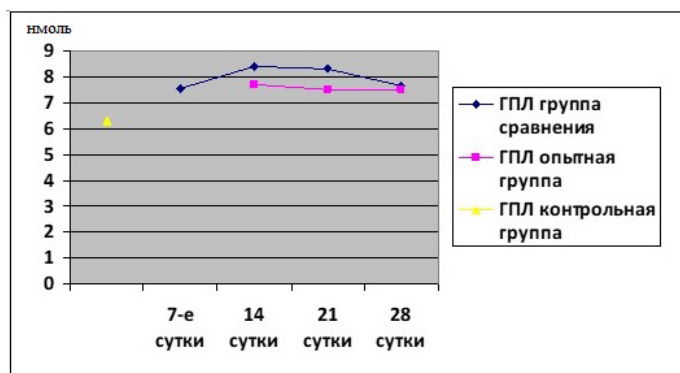


Рисунок 1. Динамика ГПЛ лабораторных животных

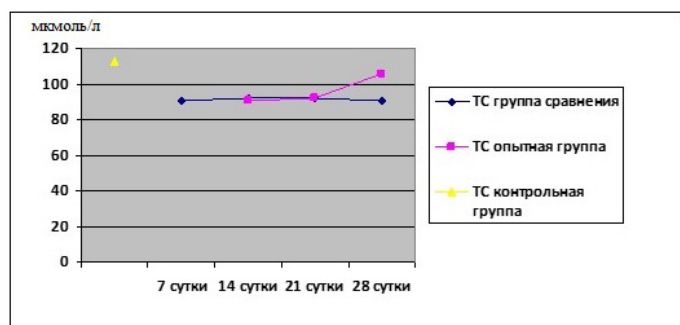


Рисунок 2. Динамика ТС лабораторных животных

Под влиянием внутрисуставного введения полинуклеотидов динамические изменения содержания ГПЛ и ТС характеризовались некоторыми особенностями у животных опытной группы (рис. 1, 2). Непрерывная активация провоспалительных медиаторов индуцируется в процессе прогрессирования ПТОА и связана с окислительно-восстановительным дисбалансом. Вероятно, это обусловлено решающим влиянием ослабленных систем антиоксидантной защиты и повышенной продукцией

активных форм кислорода, таких как перекись водорода и реактивный оксид азота. В результате действия веществ на основе полинуклеотидов, введенных внутрисуставно, отмечали снижение ГПЛ в сыворотке крови животных опытной группы на 14-е сутки эксперимента до 7,7(7,5; 8,5) нмоль, на 21-е и 28-е сутки также прослеживалось снижение по сравнению с группой сравнения. Уровень активности ТС крови является прямым показателем окислительно-восстановительного состояния организма, поскольку тиолы легко реагируют с кислородсодержащими свободными радикалами с образованием дисульфидов. В результате действия веществ на основе полинуклеотидов отмечено повышение показателей ТС опытной группы максимально на 28-е сутки эксперимента до 105,5(92,8; 112,2) мкмоль/л по сравнению с группой сравнения. Таким образом снижение ГПЛ и повышение ТС могло быть связано с урегулированием про- и антиоксидантного баланса.

Проанализировав показатели метаболизма костной и хрящевой тканей опытной группы в различные сроки эксперимента после введения полинуклеотидов, были выявлены некоторые особенности (рис. 3, 4). Так, содержание ОК опытной группы после введения полинуклеотидов при ПТОА уменьшалось максимально на 28 сутки до 194,4(193,3; 212,5) нг/мл после трехкратного введения инъектируемого пролиферанта по сравнению с группой сравнения, что говорило о наметившейся нормализации в костном метаболизме. Концентрация ГН опытной группы на 28-е сутки эксперимента под влиянием полинуклеотидов уменьшилась до 91,3(86,3; 98,1) нг/мл по сравнению с группой сравнений. В результате выявлена явная положительная динамика в виде динамического снижения ГН при действии полинуклеотидов во все сроки эксперимента, что свидетельствовало о торможении деградации суставного хрящевого матрикса.

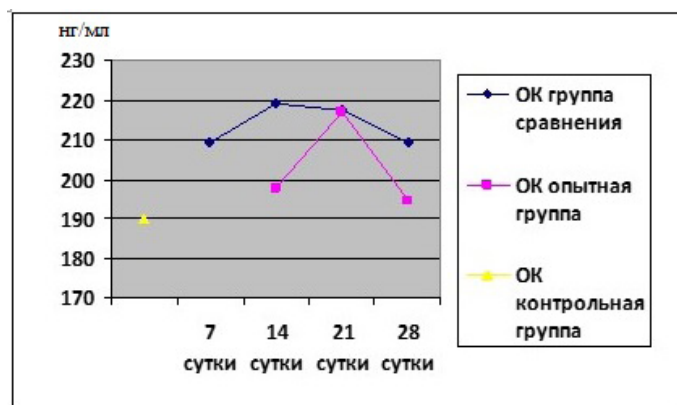


Рисунок 3. Динамика ОК лабораторных животных

Обсуждение. Полинуклеотиды проявляют трофическую активность в сочетании со смесью пуринов, пиримидинов, дезоксирибонуклеотидов и дезоксирибонуклеозидов [5]. Соединение обладает вязкоупругими свойствами в результате

того, как оно взаимодействует с водой. Полинуклеотиды также связаны с индуцированным ростом клеток, выработкой коллагена, миграцией нескольких типов клеток и уменьшением воспаления. Исследования *in vivo* подтвердили положительное влияние полидезоксирибонуклеотидов на хрящ и субхондральную кость [5, 7]. Авторы сообщали, что данные вещества улучшают клиническое течение артроза, снижают экспрессию провоспалительных факторов – таких, как белок группы высокой подвижности-1, фактор некроза опухоли- α и интерлейкин IL-6, а также повышают экспрессию противовоспалительного IL-10 с использованием экспериментальной модели индуцированного ПТОА [5, 7]. Основываясь на этих знаниях, нами было проведено исследование, направленное на оценку эффективности внутрисуставных инъекций биоактивных веществ, состоящих из полинуклеотидов, на развитие ПТОА. В нашей работе полинуклеотиды показали большую медикаментозную эффективность по сравнению с группой сравнения.

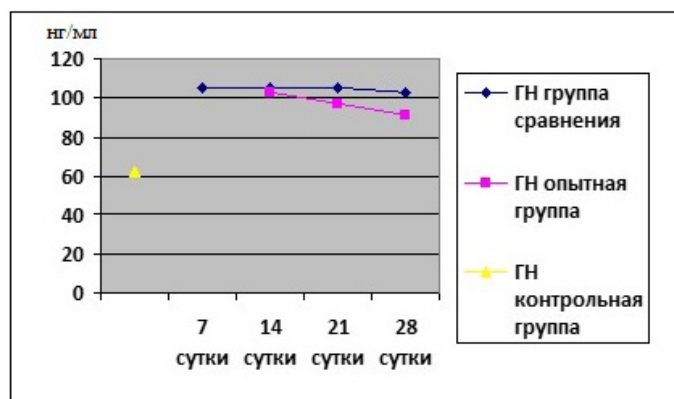


Рисунок 4. Динамика ГН лабораторных животных

В большинстве исследований оценивали, в основном, клинико-рентгенологические изменения коленного сустава после инъекции полинуклеотидов [7, 9]. Известна провоцирующая роль интенсификации процессов перекисного окисления липидов в развитии ПТОА. Нами было установлено повышение активности изучаемых процессов, судя по высокой концентрации ГППЛ в сыворотке крови животных. Grigolo B. и соавт. (2003) обнаружили, что хондроциты пораженных остеоартрозом коленных суставов, активированные *in vitro*, продуцируют активные формы кислорода (АФК) и значительно ускоряют перекисное окисление липидов по сравнению с хондроцитами, активированными *in vivo* [10]. В нашей работе выявлено, что полинуклеотиды на основе гиалуроновой кислоты эффективно защищают от окислительного повреждения структуры сустава. В нормальных условиях АФК элиминируются акцепторами и реакциями детоксикации, катализируемыми преимущественно антиоксидантными ферментами. Возможно, что отличие нашего исследования от исследований других авторов в отношении

антиоксидантного статуса связано с различиями в стадии заболевания. Хроническое заболевание суставов может истощать антиоксидантную защиту, тогда как острое воспаление может усиливать ее активность [10].

Регуляция метаболизма хрящевой и костной ткани происходит под действием механической нагрузки за счет диффузии растворенных веществ в синовиальной жидкости. В результате мы получили данные, в которых инъецируемый в виде полинуклеотидов пролиферанты позволяют улучшить качество хрящевой и костной тканей при ПТОА, основываясь на содержании ОК и ГН, о чем упоминалось в зарубежных источниках [11], но не было раскрыто экспериментально.

Заключение. Представляется перспективным использование полинуклеотидов, инициируемых в качестве пролиферантов, за счет их способности обеспечивать внутреннюю среду сустава нуклеотидами, нуклеозидами, пуриновыми и пиримидиновыми основаниями, тем самым поддерживая процессы физиологического восстановления окислительно-восстановительных реакций и костно-хрящевых структур сустава при экспериментальном ПТОА.

Список литературы / References

1. Герасименко М.А., Белецкий А.В. Диагностика и лечение повреждений и ортопедических заболеваний коленного сустава. Минск: Технологии. 2010. С. 167. [Gerasimenko M.A., Beletsky A.V. Diagnostika i lechenie povrezhdenij i ortopedicheskikh zabolevanij kolennogo sustava (Diagnosis and treatment of injuries and orthopedic diseases of the knee joint). Minsk: Technologies. 2010. P. 167].
2. Kim S.K., Huh C.K., Lee J.H., Kim K.W., Kim M.Y. Histologic study of bone-forming capacity on polydeoxyribonucleotide combined with demineralized dentin matrix. *Maxillofac Plast Reconstr Surg*. 2016; 38(1):7. DOI: 10.1186/s40902-016-0053-5
3. Veronesi F, Dallari D, Sabbioni G, Carubbi C, Martini L, Fini M. Polydeoxyribonucleotides (PDRNs) from skin to musculoskeletal tissue regeneration via adenosine A2A receptor involvement. *J Cell Physiol*. 2017;232(9):2299-2307. DOI: 10.1002/jcp.25663
4. Зубавленко Р.А., Белова С.В., Ульянов В.Ю. Влияние фармако-биологических препаратов на развитие посттравматического остеоартроза // Вестник новых медицинских технологий. 2022;29(3):71-77. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-3-71-77 [Zubavlenko R.A., Belova S.V., Ulyanov V.Yu. Influence of pharmacobiological preparations on the development of posttraumatic osteoarthritis. *Bulletin of New Medical Technologies*. 2022;29(3):71-77. DOI: 10.24412/1609-2163-2022-3-71-77].
5. Bitto A., Polito F, Irrera N., D'Ascola A., Avenoso A., Nastasi G., Campo G.M., Micali A., Bagnato G., Minutoli L., Marini H., Rinaldi M., Squadrito F, Altavilla D. Polydeoxyribonucleotide reduces cytokine production and the severity of collagen-induced arthritis by stimulation of adenosine A_{2A} receptor. *Arthritis Rheum*. 2011;63(11):3364-3371. DOI: 10.1002/art.30538

6. Белова С.В., Гладкова Е.В., Zubavlenko P.A., Ульянов В.Ю. Системные проявления первичного остеоартроза коленных суставов у пациентов на ранней стадии его развития. Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: реабилитация, врач и здоровье. 2021;(2):71-78. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2021.2.CLIN.5 [Belova S.V., Gladkova E.V., Zubavlenko R.A., Ulyanov V.Yu. Systemic manifestations of primary osteoarthritis of the knee joints in patients at an early stage of its development. Bulletin of the Medical Institute «REAVIZ»: rehabilitation, doctor and health. 2021;(2):71-78. DOI: 10.20340/vmi-rvz.2021.2.CLIN.5].

7. Chung K.I., Kim H.K., Kim W.S., Bae T.H. The effects of polydeoxyribonucleotide on the survival of random pattern skin flaps in rats. Arch Plast Surg. 2013;40(3):181-186. DOI: 10.5999/aps.2013.40.3.181

8. De Caridi G., Massara M., Aciri I., Zavettieri S., Grande R., Butrico L., de Franciscis S., Serra R. Trophic effects of polynucleotides and hyaluronic acid in the healing of venous ulcers of the lower limbs: a clinical study. Int Wound J. 2016;13(5):754-758. DOI: 10.1111/iwj.12368

9. Guizzardi S., Galli C., Govoni P., Boratto R., Cattarini G., Martini D., Belletti S., Scandroglio R. Polydeoxyribonucleotide (PDRN) promotes human osteoblast proliferation: a new proposal for bone tissue repair. Life sciences. 2003;73(15):1973-1983. DOI: 10.1016/s0024-3205(03)00547-2

10. Grigolo B., Roseti L., Fiorini M. Enhanced lipid peroxidation in synovialocytes from patients with osteoarthritis. Rheumatol. 2003;30(2):345-347.

11. Gennero L., Denysenko T., Calisti G.F., Vercelli A., Vercelli C.M., Amedeo S., Mioletti S., Parino E., Montanaro M., Melcarne A., Juenemann C., De Vivo E., Longo A., Cavallo G., De Siena R. Protective effects of polydeoxyribonucleotides on cartilage degradation in experimental cultures. Cell Biochem Funct. 2013; 31 (3): 214-227. DOI: 10.1002/cbf.2875

Информация об авторах:

Зубавленко Роман Андреевич – младший научный сотрудник отдела фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского Минздрава России, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail 79030230027@yandex.ru

Белова Светлана Вячеславовна – д. биол. н., ведущий научный сотрудник отдела фундаментальных и клинико-экспериментальных исследований научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского Минздрава России, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail sarniito_bsv@mail.ru

Давыдов Алексей Павлович – аспирант кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского Минздрава России, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail alexeydavidow@gmail.com

Ульянов Владимир Юрьевич – д. м. н. доцент, заместитель директора по научной и инновационной деятельности научно-исследовательского института травматологии, ортопедии и нейрохирургии ФГБОУ ВО Саратовский ГМУ имени В.И. Разумовского

го Минздрава России, ул. Большая Казачья, 112, Саратов, 410012, Россия, e-mail v.u.ulyanov@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Зубавленко Роман Андреевич, e-mail 79030230027@yandex.ru

Information about authors:

Roman A. Zubavlenko – MD, Junior Researcher in the Department of Fundamental, Clinical and Experimental Research, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, the Russian Federation Ministry of Healthcare, Bolshaya Kazachya str., 112, Saratov, 410012, Russia, e-mail 79030230027@yandex.ru

Svetlana V. Belova – DSc Biol., Lead Researcher in the Department of Fundamental, Clinical and Experimental Research, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, the Russian Federation Ministry of Healthcare, Bolshaya Kazachya str., 112, Saratov, 410012, Russia, e-mail sarniito_bsv@mail.ru

Alexey P. Davydov – Resident in the Traumatology and Orthopedics Department, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, the Russian Federation Ministry of Healthcare, Bolshaya Kazachya str., 112, Saratov, 410012, Russia, e-mail alexeydavidow@gmail.com

Vladimir Yu. Ulyanov – MD, DSc., Associate Professor, Director for Science and Innovations in the Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education 'V.I. Razumovsky Saratov State Medical University', the Russian Federation Ministry of Healthcare, Bolshaya Kazachya str., 112, Saratov, 410012, Russia, e-mail v.u.ulyanov@gmail.com

Corresponding author: Roman A. Zubavlenko, e-mail 79030230027@yandex.ru

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-18-24>

УДК 617.3

© Т.Р. Кудрачев, А.В. Лычагин, М.М. Липина, Е.Б. Калинин, М.П. Елизаров, Ю.Р. Гончарук, Н.А. Аксенова, Д.И. Ларионов, М.И. Шкердина, 2023

Оригинальная статья / Original article



СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СКАФФОЛДА МЕНИСКА КОЛЕННОГО СУСТАВА

Т.Р. КУДРАЧЕВ¹, А.В. ЛЫЧАГИН¹, М.М. ЛИПИНА¹, Е.Б. КАЛИНСКИЙ¹, М.П. ЕЛИЗАРОВ¹, Ю.Р. ГОНЧАРУК¹, Н.А. АКСЕНОВА^{2,3}, Д.И. ЛАРИОНОВ⁴, М.И. ШКЕРДИНА⁵

¹Кафедра травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 127994, Москва, Россия

²Институт регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

³Федеральный исследовательский центр химической физики им. Н.Н. Семенова РАН, 119991 Москва, Россия

⁴Институт бионических технологий и инжиниринга, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

⁵Институт клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119435, Москва, Россия

Аннотация:

Разрывы мениска влияют на распределение нагрузки в суставе и без реконструкции целостности структуры менисковой ткани прогрессия остеоартроза будет только нарастать. На сегодняшний день при помощи регенеративной медицины возможно сконструировать персонализированный скаффолд мениска, который должен решить данную проблему. Однако выбор метода производства и материала каркаса остается большим вопросом для исследователей. В качестве материала для формирования каркаса исследователи все чаще рассматривают поликапролактон в связи с его биосовместимостью и хорошими механическими функциями.

Цель данной работы: Оценка возможности использования поликапролактонового филамента для создания скаффолда мениска коленного сустава при помощи 3Д печати.

Материалы и методы: Экспериментальная работа, включающая печать сконструированного в компьютерной программе скаффолда мениска с помощью поликапролактонового филамента (молекулярной массой = 50кДа) на FDM 3Д принтере Flashforge Guider 2s. Оценка и характеристика материала проводилась посредством визуализации скаффолда на оптическом микроскопе Olympus SZ51, измерения температуры деструкции при помощи синхронного термического анализатора STA 6000 и исследование химической структуры ИК-Фурье-спектроскопии многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) на приборе Spectrum Two ("Perkin-Elmer", США).

Результаты: Температура экструдера 3Д принтера изменяет физико-химические свойства поликапролактона, что ограничивает возможность контроля величины пор и балок скаффолда. Характеристики конечного продукта не позволяют производить его последующую модификацию.

Выводы: для дальнейшего производства скаффолдов мениска на основе поликапролактона необходимо использовать 3Д принтер, температуру экструдера которого возможно настроить на более низкие параметры.

Ключевые слова: тканевая инженерия; скаффолды менисков; аддитивные технологии; поликапролактон; 3Д печать

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

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

Для цитирования: Кудрачев Т.Р., Лычагин А.В., Липина М.М., Калинин Е.Б., Елизаров М.П., Гончарук Ю.Р., Аксенова Н.А., Ларионов Д.И., Шкердина М.И., СОБСТВЕННЫЙ ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ПОЛИКАПРОЛАКТОНА ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ СКАФФОЛДА МЕНИСКА КОЛЕННОГО СУСТАВА. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 18–24 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-18-24>

OWN EXPERIENCE IN THE USE OF POLYCAPROLACTONE IN THE PRODUCTION OF KNEE MENISCUS SCAFFOLD

TAGIR R. KUDRACHEV¹, ALEXEY V. LICHAGIN¹, MARINA M. LIPINA¹, EUGENE B. KALINSKY¹, MIKHAIL P. ELIZAROV¹, YULIYA R. GONCHARUK¹, NADEZDA A. AKSENOVA^{2,3}, DMITRY I. LARIONOV⁴, MARIA I. SHKERDINA⁵

¹ Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 127994, Moscow, Russia

² Institute for Regenerative Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

³ N.N. Semenov Federal Research Center for Chemical Physics Russian Academy of Sciences, 119991 Moscow, Russia

⁴ Institute of Bionic Technologies and Engineering, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

⁵ N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119435, Moscow, Russia

Abstract

Meniscus injuries are one of the most important causes of premature osteoarthritis in the knee. Meniscal rupture affects local biomechanical properties and load distribution of the joint. In order to reconstruct the integrity of the meniscal structure and enhance regeneration of meniscal tissue a personalized scaffold may be used. The choice of materials and method of scaffold fabrication remain challenges for researchers. Polycaprolactone is considered as a suitable material for meniscal scaffold due to its biocompatibility and good mechanical characteristics.

Purpose of the study is to evaluate the feasibility of polycaprolactone filament use to create a knee joint meniscus scaffold using 3D printing technology.

Materials and methods: a meniscus scaffold virtual prototype was created and scaffold was constructed after model using a polycaprolactone filament (molecular weight = 50kDa) on an FDM 3D printer Flashforge Guider 2s. The evaluation of the material was carried out by imaging the scaffold on a OLYMPUS SZ51 optical microscope. The study of destruction temperature was performed using a synchronous thermal analyzer STA 6000 and investigation of the chemical structure of the IR-Fourier spectroscopy of multiple disturbed total internal reflection (MNPVO) on the Spectrum Two ("Perkin-Elmer", USA).

Results: The temperature of the 3D printer extruder changes the physicochemical properties of polycaprolactone, which limits the ability to control the size of pores and scaffold beams. The characteristics of the final product do not allow its subsequent modification.

Conclusions: polycaprolactone based meniscal scaffolds manufacturing should be done on 3D printer with adjustable extruder temperature

Keywords: meniscal regeneration; meniscal repair; tissue engineering; meniscal scaffolds

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Kudrachev T.R., Lychagin A.V., Lipina M.M., Kalinsky E.B., Elizarov M.P., Goncharuk Y.R., Aksenova N.A., Larionov D.I., Shkerdina M.I., OWN EXPERIENCE IN THE USE OF POLYCAPROLACTONE IN THE PRODUCTION OF KNEE MENISCUS SCAFFOLD. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023 № 1. pp. 18–24 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-18-24>

Введение

Разрыв мениска является одной из наиболее распространённых травм коленного сустава.

Несмотря на имеющееся разнообразие методик восстановления целостности менисков, ни одна из них не может в полной мере воссоздать структуру последнего. Регенеративные способности тканей мениска ограничены, что связано с его строением и относительно скудным кровоснабжением. [1]

Экстрацеллюлярный матрикс мениска преимущественно состоит из коллагеновых волокон и обладает механическими свойствами для противостояния сжимающей, растягивающей и сдвигающей силе. Пучки волокон коллагена первого типа расположены на периферии и идут по окружности до места крепления к плато большеберцовой кости. [2] Радиальные волокна находятся перпендикулярно основному ходу волокон. Разрушение целостности менискового полукольца приводит к потере механической функции и стремительно ведет к развитию остеоартроза. [3]

Благодаря достижениям в области регенеративной медицины, в настоящее время стало возможно создавать скаффолды (каркасы) мениска для замещения резецированной ткани. В коммерческом использовании представлены две модели:

коллагеновый скаффолд мениска CMI и синтетический полиуретановый скаффолд мениска Actifit. Исследователи демонстрируют ряд недостатков при использовании данных каркасов в клинической практике. При двухлетнем наблюдении данных МРТ отмечено заполнение места конструкторов новой менисковой тканью и изменение изначальной формы скаффолда. При этом размеры новообразованной ткани были уменьшены относительно размеров изначальных скаффолдов. [4]

Существует мнение, что скаффолд должен максимально точно повторять исходную ткань с точки зрения структуры и функции, чтобы воспринять нагрузку и сделать возможным образование неоменисковой ткани после деградации конструктора. [5]

На данный момент для создания скаффолдов возможно использование следующих биологических материалов: коллаген [6], хитозан [7], фиброин шелка [8].

Несмотря на их высокую биосовместимость и биodeградируемость, материалы не лишены недостатков, в частности такие каркасы не способны переносить ротационные и компрессионные нагрузки. [9]

Помимо биоматериалов было исследовано несколько биodeградируемых синтетических веществ: поликапролактон (PCL) [10], полиуретан [11], полимолочная кислота [12] и полимолочно-ко-гликолевая кислота (PLGA) [13]. Скаффолды из синтетических

материалов обладают хорошей механической прочностью. В последних исследованиях все большее внимание приковано к поликапролактону и его использованию в качестве основы для скаффолда мениска.

Биоматериалы на основе поликапролактона на протяжении долгого времени применяют в медицине из-за биосовместимости, механических свойств и более длительного периода деградации. Способность материала к использованию в различных типах производства позволяет создавать рассасывающиеся шовные материалы, системы доставки лекарственных средств и каркасы в тканевой инженерии для различных органов и тканей. [14]

За последнее время отмечается тенденция к использованию поликапролактона в составе комбинированного скаффолда мениска. [15][16] Чистый материал PCL является гидрофобным и на его поверхности происходит скудная адгезия клеток. Поэтому присутствует необходимость в модификации скаффолда для создания более привычной для клеточных культур среды с целью интеграции и пролиферации. [17]

Наиболее подходящими для формирования скаффолда мениска из поликапролактона являются электроспивание и аддитивные технологии. К аддитивным технологиям относят 3Д биопечать и FDM печать (моделирование методом послойного наплавления). [18] Печать с помощью 3Д принтера привлекательна тем, что исследователь может контролировать диаметр пор и балок скаффолда в отличие от электроспайнинга. [19]

В данной статье приведен опыт применения поликапролактона в качестве печати скаффолда мениска на FDM 3Д принтере, а также освещены проблемы, с которыми столкнулись во время исследования.

2. Материалы и методы

В качестве материала для 3Д печати скаффолда был использован поликапролактоновый филамент с молекулярной массой 50 кДа, диаметр волокна которого был равен 1.75 мм. Печать осуществлялась на принтере Flashforge Guider 2s с применением сопла диаметром 0,2 мм. Температура в экструдере была равна 180 градусам. Время печати варьировалось от 1 до 1,5 минут на каждую модель. Всего было напечатано 15 поликапролактоновых скаффолдов. При этом параметры скорости печати меняли с целью получения более точной детализации балок конструкта. Визуальную оценку поликапролактона проводили при помощи оптического микроскопа Olympus SZ51.

Модель скаффолда мениска (рис. 1) сконструирована при помощи компьютерной программы согласно размерам нативного мениска кролика (диаметр окружности мениска равен 10 мм, высота внешней стороны мениска – 1 мм). Данный размер был выбран с целью дальнейшей трансплантации на резецированную часть мениска кролика.

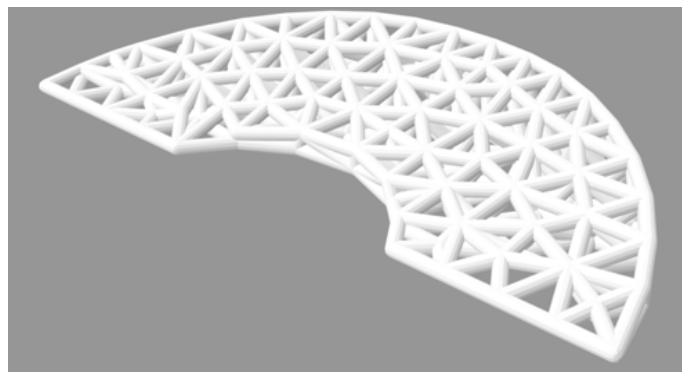


Рисунок 1. Компьютерная модель пористого скаффолда мениска.

Опираясь на ранние исследования, было принято решение сделать поры диаметром 300 мкм, а толщину балок размером 0,4 мм. Данные параметры позволяют клеткам мигрировать сквозь поры, а механическое воздействие на скаффолд со стороны костей не разрушит каркас до момента его полной деградации. [19]

Для определения изменений в структуре поликапролактона было проведено три эксперимента:

Исследование особенностей надмолекулярной структуры исходного филамента и

скаффолда на его основе было проведено методами дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК) и термогравиметрического анализа (ТГА).

Для определения температуры деструкции в двух экспериментах был использован поликапролактон с помощью синхронного термического анализатора STA 6000 (PerkinElmer, США) (Рис. 2). Использовали два образца скаффолда и два образца исходного филамента. Образцы, ~15 mg, разлагались в среде азота при скорости газового потока 20 мл/мин и линейной скорости нагрева 10 °С/мин. Относительная ошибка температурного и термического эффекта составляла ± 1.5 °С и $\pm 2\%$, соответственно.



Рисунок 2. Синхронный термический анализатор STA 6000 (PerkinElmer, США)

Дизайн первого эксперимента:

На ДСК анализаторе исследовали образцы поликапролактонового филамента и поликапролактонового скаффолда. В ходе первого эксперимента осуществлялось нагревание образцов до 500 °С. Далее происходило сравнение образцов исходного филамента и группы образца распечатанного скаффолда.

Дизайн второго эксперимента:

В ДСК анализаторе производился нагрев полимера до 200 °С и выдерживание образца при этой температуре на протяжении 10 минут. После чего последовало охлаждение материала до 30 °С на протяжении 5 минут. Затем поликапролактон подвергли повторному нагреву от 30 °С до 500 °С.

Исследование химической структуры филамента и скаффолда на его основе проводили методом ИК-Фурье-спектроскопии многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО) на приборе Spectrum Two ("Perkin-Elmer", США), оснащенный высокопроизводительным детектором LiTaO₃, стандартной оптической системой с окнами из KBr для сбора данных в спектральном диапазоне 3800–350 см⁻¹ с разрешением 0.5 см⁻¹.

Дизайн третьего эксперимента:

Сравнение показателей на проведенной ИК-Фурье-спектроскопии группы образца поликапролактонового филамента и распечатанного скаффолда мениска.

Результаты и обсуждения

По опыту зарубежных коллег использование поликапролактона в качестве материала для печати скаффолда мениска на FDM 3Д принтере позволяло производить хорошо детализированные скаффолды мениска. В отличие от других методов производства возможно было контролировать параметры диаметра пор и балок конструкции. [19]

При печати первого десятка моделей менисков в нашем исследовании было отмечено несколько проблем. Визуально конструктор отличался от компьютерной модели. Отмечены

многочисленные слипшиеся элементы конструкции. При повторных печатях точность конструкции немного улучшилась, однако толщину пор по-прежнему было сложно контролировать, также присутствовали дефекты балок. При микроскопии одной из моделей скаффолда можно увидеть дефекты печати: невозможно определить толщину балок и их детализацию, поры заполнены материалом. (Рис.3)

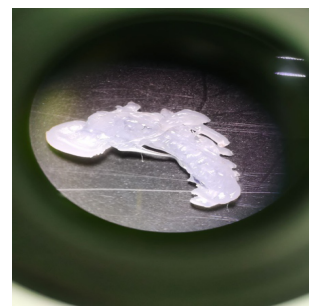


Рисунок 3. Модель поликапролактонового скаффолда под увеличением микроскопа.

3.1. Термические характеристики поликапролактона

В поиске возможных причин неудач во время печати скаффолда необходимо было протестировать поликапролактон на предмет возможного раннего разрушения химических связей внутри полимера на этапе плавления филамента в экструдере 3Д принтера.

В ходе первого эксперимента были получены следующие результаты. Во-первых, температура, при которой образец поликапролактона начинает терять свою массу (происходит деструкция) равна примерно 368 °С. Во-вторых, термостабильность (температура начала деструкции) филамента отличается от термостабильности скаффолда. Распечатанный скаффолд более термостабилен. Данный факт доказывает, что образцы имеют структурные различия (Рис. 4).

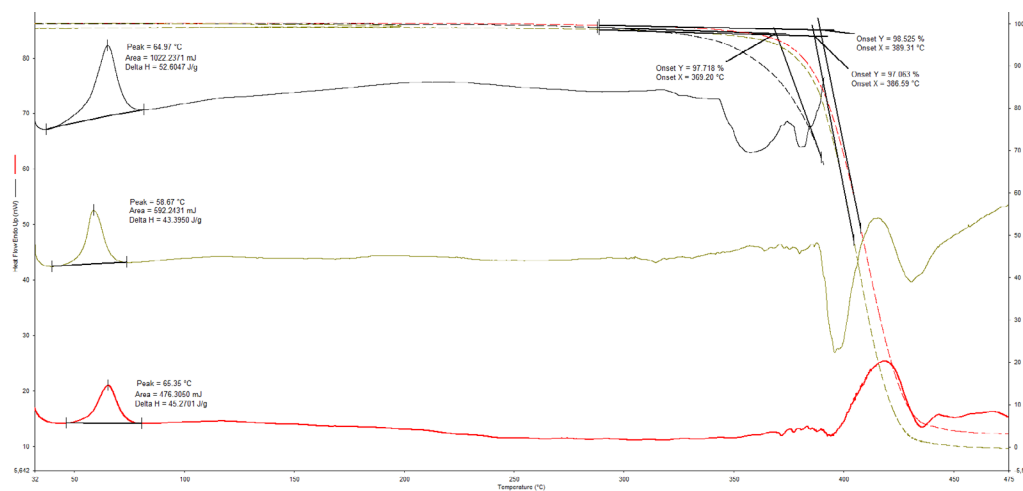


Рисунок 4. Графическое изображение двух экспериментов.

Верхние графики кривых показывают температуры горения отображают температуру деструкции:

График черного цвета - исходного филамента (ТГ=369°C);

График зеленого цвета - температура деструкции исходного филамента прошедший термическую обработку (ТГ=386°C); График красного цвета - температуру деструкции скаффолда (ТГ=389°C).

Нижние графики показывают температуру плавления материала (кривые ДСК).

- 1) График черного цвета отображает кривую ДСК исходного филамента
- 2) График зеленого цвета отображает кривую ДСК исходного филамента при повторном плавлении.
- 3) График красного цвета отображает кривую ДСК распечатанного на 3D принтере скаффолда.

После первого эксперимента невозможно однозначно узнать истинную причину изменений свойств скаффолда. Помимо температурного воздействия экструдера имеется риск контаминации поликапролактонового филамента остаточными материалами, которые ранее проходили через экструдер.

Для выявления причины различия термостабильности был взят еще один образец поликапролактонового филамента и проведен следующий эксперимент.

По итогу второго эксперимента определено, что описанное выше температурное воздействие действительно приводит к повышению термостойкости полимера. Характеристики нагретого в аппарате филамента практически совпадают с характеристиками скаффолда.

Таким образом, можно полагать, что при температурах 180°C (в экструдере 3D принтера) и 200°C (в ДСК анализаторе) начинается процесс термоокислительной деструкции и образование первичных радикалов, которые взаимодействуют между собой и формируют более термоустойчивую полимерную структуру.

3.2. Химические характеристики поликапролактона.

Для исследования химической структуры филамента и скаффолда был проведен эксперимент методом ИК-Фурье-спектроскопии многократного нарушенного полного внутреннего отражения (МНПВО).

На рисунке 5 представлены ИК-спектры исходного филамента (кривая красного цвета) и скаффолда (кривая черного цвета). Видно, что все характеристические полосы поликапролактона сохранились. В частности, полоса, соответствующая колебаниям карбонильной группы C=O (1723 см⁻¹), полосы, соответствующие колебаниям групп C-H, COO, СОС, ОН, С-О (1365-733 см⁻¹).[20]

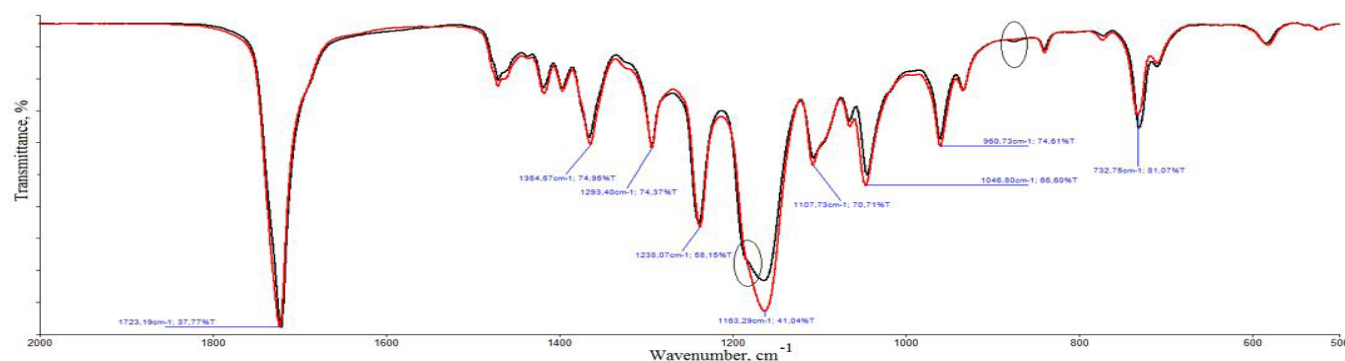


Рисунок 5.

- 1) Кривая красного цвета - ИК-спектры исходного филамента
- 2) Кривая черного цвета - ИК-спектры скаффолда

В то же самое время в результате печати на принтере в полимере произошли изменения химической структуры, а именно: уменьшилась интенсивность полосы 1163 см⁻¹ с одновременным появлением плеча при 1187 см⁻¹ и появлением полосы при 876 см⁻¹. Полосы 1163 см⁻¹ и 1187 см⁻¹ соответствуют колебаниям групп COO в сложноэфирных группировках, полоса 876

см⁻¹ – колебаниям групп RCH=CH. Можно полагать, что при нагреве полимерного филамента в принтере начинается процесс его термоокислительной деструкции. При этом, по-видимому, у атомов углерода, находящихся в непосредственной близости к сложноэфирным группировкам начинают формироваться двойные связи.

Выводы:

Опираясь на результаты проведенных нами экспериментов, следует полагать, что дефект печати связан с повышенной температурой экструдера 3Д принтера, которая привела к уменьшению вязкости поликапролактона.

Таким образом, мы пришли к выводу, что поликапролактоновый филамент требует особых температурных условий для детализированной печати скаффолдов мениска. В дальнейшем планируется апробация других моделей FDM 3Д принтеров с подходящим по условиям набором сопел и тщательная настройка параметров перед каждой печатью.

Помимо выбора принтера с возможностью печати скаффолда на низких температурах необходимо рассмотреть использование сопел меньшего диаметра. После печати конечной модели последует его дальнейшее испытание на механическое воздействие.

Дальнейшая модификация каркаса будет происходить физическим и химическим способом.[21] Эксперименты с клеточными культурами для определения цитотоксичности, пролиферации и адгезии клеток будут следующим этапом наших доклинических испытаний

Список литературы:

1. Gee S. M. , Posner M. Meniscus Anatomy and Basic Science, *Sports Med. Arthrosc. Rev.*, 2021; 29(3):18, doi: 10.1097/JSA.0000000000000327.
2. Twomey-Kozak J., Jayasuriya C. Meniscus repair and regeneration: A systematic review from a basic and translational science perspective, *Clin. Sports Med.*, 2020; 39(1):125–163, doi: 10.1016/j.csm.2019.08.003.
3. Feeley B. T., Lau B. C. Biomechanics and Clinical Outcomes of Partial Meniscectomy, *J. Am. Acad. Orthop. Surg.* 2018; 26(24):853–863. doi: 10.5435/JAAOS-D-17-00256.
4. Houck D. A., Kraeutler M. J., Belk J. W., McCarty E. C., Bravman J. T. Similar clinical outcomes following collagen or polyurethane meniscal scaffold implantation: a systematic review, *Knee Surg. Sports Traumatol. Arthrosc. Off. J. ESSKA.* 2018; 26(8):2259–2269. doi: 10.1007/s00167-018-4838-1.
5. Lombardo M. D. M., Mangiavini L., Peretti G. M. Biomaterials and Meniscal Lesions: Current Concepts and Future Perspective, *Pharmaceutics* 2021; 13(11):1886. doi: 10.3390/pharmaceutics13111886.
6. Buma P., van Tienen T., Veth R. The collagen meniscus implant, *Expert Rev. Med. Devices.* 2007;4(4):507–516. doi: 10.1586/17434440.4.4.507.
7. Moradi L., Vasei M., Dehghan M. M., Majidi M., Farzad Mohajeri S., Bonakdar S., Regeneration of meniscus tissue using adipose mesenchymal stem cells-chondrocytes co-culture on a hybrid scaffold: In vivo study, *Biomaterials.* 2017; 126:18–30. doi: 10.1016/j.biomaterials.2017.02.022.
8. Bandyopadhyay A., Mandal B. B. A three-dimensional printed silk-based biomimetic tri-layered meniscus for potential patient-specific implantation, *Biofabrication.* 2019;12(1): 015003. doi: 10.1088/1758-5090/ab40fa.
9. Peng Y., Lu M., Zhou Z., Wang C., Liu E., Zhang Y., Liu T., Zuo J. Natural biopolymer scaffold for meniscus tissue engineering, *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2022; 10:1003484. doi: 10.3389/fbioe.2022.1003484.
10. Li H., Li P., Yang Z., Gao C., Fu L., Liao Z., Zhao T., Cao F., Chen W., Peng Y., Yuan Z., Sui X., Liu S., Guo Q. Meniscal Regenerative Scaffolds Based on Biopolymers and Polymers: Recent Status and Applications, *Front. Cell Dev. Biol.* 2021;9:661802. doi: 10.3389/fcell.2021.661802.
11. De Coninck T., Huysse W., Willemot L., Verdonk R., Verstraete K., Verdonk P. Two-Year Follow-up Study on Clinical and Radiological Outcomes of Polyurethane Meniscal Scaffolds, *Am. J. Sports Med.* 2013; 41(1):64–72. doi: 10.1177/0363546512463344.
12. Gu Y., Zhu W., Hao Y., Lu L., Chen Y., Wang Y. Repair of meniscal defect using an induced myoblast-loaded polyglycolic acid mesh in a canine model, *Exp. Ther. Med.* 2012;3(2):293–298. doi: 10.3892/etm.2011.403.
13. Bahcecioglu G., Hasirci N., Hasirci V. Cell behavior on the alginate-coated PLLA/PLGA scaffolds, *Int. J. Biol. Macromol.* 2019; 124: 444–450. doi: 10.1016/j.ijbiomac.2018.11.169.
14. Kumari A., Yadav S. K., Yadav S.C. Biodegradable polymeric nanoparticles based drug delivery systems. *Colloids Surf. B Biointerfaces*, 2010; 75(1):1–18. doi: 10.1016/j.colsurfb.2009.09.001.
15. Gopinathan J., Mano S., Pillai E.V.M.M., Rai S.S.K.D., Rajendran S., Bhattacharyya A. Biomolecule incorporated poly-ε-caprolactone nanofibrous scaffolds for enhanced human meniscal cell attachment and proliferation, *RSC Adv.* 2015; 5(90):73552–73561. doi: 10.1039/C5RA14315B.
16. Bahcecioglu G., Hasirci N., Bilgen B., Hasirci V. A 3D printed PCL/hydrogel construct with zone-specific biochemical composition mimicking that of the meniscus, *Biofabrication.* 2019;11(2):025002. doi: 10.1088/1758-5090/aaf707.
17. Xu F. J., Wang Z. H., Yang W. T. Surface functionalization of polycaprolactone films via surface-initiated atom transfer radical polymerization for covalently coupling cell-adhesive biomolecules, *Biomaterials.* 2010; 31(12):3139–3147. doi: 10.1016/j.biomaterials.2010.01.032.
18. Rozykulyyeva L., Widiyanti P., Utomo D. N., Astuti S. D. Poly (ε-caprolactone) - Based biomaterials for meniscus tissue engineering, Jember, Indonesia. 2023; 040005. doi: 10.1063/5.0111407.
19. Zhang Z.-Z., Jiang D., Ding J. X., Wang S. J., Zhang L., Zhang J. Y., Qi Y. S., Chen X. S., Yu J. K. Role of scaffold mean pore size in meniscus regeneration, *Acta Biomater.* 2016; 43:314–326. doi: 10.1016/j.actbio.2016.07.050.
20. Abdelrazek E. M., Hezma A. M., El-khodary A., и Elzayat A. M. Spectroscopic studies and thermal properties of PCL/PMMA biopolymer blend, *Egypt. J. Basic Appl. Sci.* 2016;3(1):10–15. doi: 10.1016/j.ejbas.2015.06.001.
21. Veronesi F., Di Matteo B., Vitale N.D., Filardo G., Visani A., Kon E., Fini M. Biosynthetic scaffolds for partial meniscal loss: A systematic review from animal models to clinical practice, *Bioact. Mater.* 2021; 6(11):3782–3800. doi: 10.1016/j.bioactmat.2021.03.033.

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и

хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: dr.lychagin@mail.ru

Кудрачев Тагир Радикович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: kudrachev_t_r@staff.sechenov.ru

Липина Марина Михайловна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: lipina_m_m@staff.sechenov.ru

Калинский Евгений Борисович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: kalinskiy_e_b@staff.sechenov.ru

Елизаров Михаил Павлович – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф Первого МГМУ им. И. М. Сеченова, e-mail: elizarovm07@gmail.com

Гончарук Юлия Романовна – ассистент, аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru

Аксенова Надежда Анатольевна – кандидат химических наук, старший научный сотрудник Института регенеративной медицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: aksenova_n_a@staff.sechenov.ru

Ларионов Дмитрий Иванович – младший научный сотрудник лаборатории управляемых бионических систем, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), E-mail: larionov_d_i@staff.sechenov.ru

Шкердина Мария Игоревна – студентка 6-го курса Института клинической медицины им. Н.В. Склифосовского, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: shkerdina_m_i@mail.student.sechenov.ru

Information about authors:

Alexey V. Lychagin – Doctor of Medical Sciences, Professor, Head of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Tagir R. Kudrachev – postgraduate student of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Marina M. Lipina – Candidate of Medical Sciences, assistant professor at Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Eugene B. Kalinsky – Candidate of Medical Sciences, assistant professor at Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery,

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Mikhail P. Elizarov – Candidate of Medical Sciences, assistant at Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Yuliya R. Goncharuk – postgraduate student, assistant of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Nadezda A. Aksenova – Candidate of Chemical Sciences, Senior Researcher at the Institute of Regenerative Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Dmitry I. Larionov – Junior Researcher at the Laboratory of Driven Bionic Systems, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

Maria I. Shkerdina – The 6th Year Student of N.V. Sklifosovskiy Institute of Clinical Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University)

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-25-35>

УДК 611.711.1:617-089.844



© С.В. Лихачев, В.В. Островский, В.Б. Арсениевич, В.В. Зарецков, И.Н. Щаницын, А.Е. Шульга, 2023

Оригинальная статья / Original article

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ТРАСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПРИ ОСКОЛЬЧАТЫХ ПЕРЕЛОМАХ ПОЗВОНКОВ ПЕРЕХОДНОГО ГРУДОПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА

С.В. ЛИХАЧЕВ, В.В. ОСТРОВСКИЙ, В.Б. АРСЕНИЕВИЧ, В.В. ЗАРЕЦКОВ, И.Н. ЩАНИЦЫН, А.Е. ШУЛЬГА
НИИТОН СГМУ, 410002, Саратов, Россия

Резюме

Введение. Короткосегментарная транспедикулярная фиксация (ТПФ) – стандарт хирургии повреждений переходного грудного отдела позвоночника. Недостаток этой методики – частое развитие нестабильности металлоконструкции (МК), сопровождающееся рецидивом деформации и боли. Известна промежуточная ТПФ, дополненная введением двух дополнительных винтов в поврежденный позвонок. Описания результатов ТПФ, дополненной одним промежуточным винтом, обеспечивающей возможность в дальнейшем осуществить корпородез без перемонтажа МК, в литературе нет. **Методы.** Проведен ретроспективный моноцентровый нерандомизированный анализ результатов хирургического лечения 109 пациентов (71 мужчина, 38 женщин) с переломами Th12, L1, L2 тип A3 (78) или A4 (31) по AOSpine. Возраст 36 (29; 43,5) лет. I группа – 58 пациентов со стандартной 4-винтовой ТПФ; группа II – 51 пациент, ТПФ с дополнительным введением одного винта в поврежденный позвонок. Оценивали динамику изменения интенсивности боли, выраженности кифоза, высоту передней колонны, нестабильность МК и потерю коррекции. На основании данных компьютерной томографии построены твердотельные компьютерные модели позвоночника и компоновок ТПФ. Проведено компьютерное биомеханическое моделирование системы кость-металлоконструкция. Моделировались варианты нагружений инструментируемой зоны, соответствующие физиологическим. **Результаты.** Группы больных сопоставимы по параметрам возраста и роста, распределение пациентов осуществлялось по уровню и типу повреждений, высоте передней колонны поврежденного позвонка, дефициту просвета позвоночного канала и интенсивности болевого синдрома. После операции значимые ($p < 0,05$) позитивные различия в отношении результатов лечения больных выявлены у прооперированных с применением промежуточных винтов. Биомеханически 4-винтовая ТПФ менее стабильна, чем 5-винтовая. Костная ткань позвонков менее нагружена при 5-винтовой системе. Компоновка ТПФ, обеспечивающая меньшие напряжения, более предпочтительна. **Заключение.** Для достижения положительного эффекта промежуточной ТПФ возможно унилатеральное введение винта в поврежденный позвонок. В отличие от применения двух промежуточных винтов, возможна корпорэктомия и корпородез без перемонтажа МК.

Ключевые слова: перелом грудного отдела позвоночника, короткосегментарная транспедикулярная фиксация, промежуточные винты.

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

Финансирование: исследование выполнено в рамках разработки темы «Оптимизация методик хирургической реконструкции при повреждениях и заболеваниях переходных отделов позвоночника с применением современных возможностей биомеханического моделирования», номер государственной регистрации НИОКР АААА-А17-1170707660038-0.

Для цитирования: Лихачев С.В., Островский В.В., Арсениевич В.Б., Зарецков В.В., Щаницын И.Н., Шульга А.Е., ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОМЕЖУТОЧНОЙ ТРАСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ ПРИ ОСКОЛЬЧАТЫХ ПЕРЕЛОМАХ ПОЗВОНКОВ ПЕРЕХОДНОГО ГРУДОПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 25–35 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-25-35>

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом

THE USE OF INTERMEDIATE PEDICLE SCREW FIXATION IN BURST FRACTURES OF THE THORACOLUMBAR TRANSITION

SERGEY V. LIKHACHEV, VLADIMIR V. OSTROVSKIY, VLADISLAV B. ARSENIEVICH, VLADIMIR V. ZARETSKOV, IVAN N. SHCHANITSYN, ALEKSEY E. SHULGA

Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education Saratov State Medical University n.a. V.I. Razumovsky, the Russian Federation Ministry of Healthcare, 410002, Saratov, Russia

Abstract. The implantation of the short-segment pedicle screw fixation hardware (PSFH) is a standard surgery for the management of thoracolumbar spine injuries. The disadvantage of this technique is the frequent implant failure along with the deformity and back pain recurrence. The intermediate PSFH

supplemented with another two screws inserted into the fractured vertebrae has been described in the studies; however no outcomes of PSFH supplemented with just one intermediate screw and thus ensuring further anterior fusion without rearranging the system have even been presented. **Methods.** We analyzed the surgical outcomes of 109 (71 men, 38 women) 36 (29; 43.5) years old patients with Th12, L1, L2 type A3 (78) or A4 (31) AOSpine fractures using retrospective, single-center, non-randomized methods. The patients were divided into two groups: Group I – 58 patients with the standard 4 screws short-segment fixation hardware; Group II – 51 patients who had their PSFH supplemented with another pedicle screw inserted into the fractured vertebrae. The outcomes were assessed by the severity pattern of pain and kyphotic deformity, the anterior column height, the implant failure and the loss of correction. The computer tomography findings were used to design solid finite element models of the spines and PSFH layout options including biomechanic bone-hardware simulation. This involved the simulation of the loading for the operated area that corresponded to normal physiology. **Results.** The patients were comparable in their age and height, their division was determined by the level and type of their fractures, the anterior column height of the fractured vertebra, and the severity of back pain. The post-surgery follow-up revealed significant ($p < 0.05$) positive differences in the patients who had their implants supplemented with additional pedicle screws. The 4-screw PSFH is biomechanically less stable than the 5-screw one and the load on the vertebrae osseous tissue in 5-screw PSFH is less loaded. Therefore, the PSFH layout that ensures lesser stress should be preferred. **Conclusion.** The positive outcome of management with intermediate PSFH can be ensured by unilateral inserting of the screw into the fractured vertebra. Unlike the PSFH with two intermediate screws, that with just one ensures corpectomy or fusion avoiding PSFH rearrangement.

Keywords: thoracolumbar fracture, short-segment pedicle screw fixation, intermediate pedicle screws.

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: The study was carried out within the framework of the development of the topic "Optimization of surgical reconstruction techniques for injuries and diseases of the transitional spine using modern biomechanical modeling capabilities", state registration number of R&D AAAA17-1170707660038-0.

For citation: Likhachev S.V., Ostrovskij V.V., Arsenievich V.B., Zaretskov V.V., Shchanitsyn I.N., Shulga A.E., THE USE OF INTERMEDIATE PEDICLE SCREW FIXATION IN BURST FRACTURES OF THE THORACOLUMBAR TRANSITION. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1. pp. 25–35 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-25-35>

Введение. Переходный грудопоясничный отдел позвоночника включает в себя Th11, Th12, L1 и L2 позвонки. Терминологическое обособление этой зоны продиктовано особенностями ее биомеханики, обусловленной расположением между ригидным грудным и мобильным поясничным отделам, что и объясняет «концентрацию» повреждений на данном уровне. По литературным сведениям, до 70% костной травмы позвоночника составляют переломы и переломовывихи на уровне Th11-L2 позвоночно-двигательных сегментов [1-4]. На сегодняшний день оптимальная методика хирургической реконструкции при оскольчатых переломах позвонков переходного грудопоясничного отдела является предметом дискуссии. Поставленные цели (коррекция сегментарной деформации, репозиция фрагментов позвонка, декомпрессия структур позвоночного канала, стабильная на протяжении срока консолидации перелома или образования костно-металлического блока металлофиксация) могут быть достигнуты с использованием заднего, переднего или комбинированного хирургических доступов [5]. Большую распространенность получили техники спондилосинтеза, реализуемые из заднего доступа. Техническая доступность и малая травматичность в сочетании с удовлетворительными клиническими и рентгенологическими результатами послужила причиной широкой распространенности короткосегментарной транспедикулярной фиксации (КТПФ). Рядом авторов она рассматривается как «золотой стандарт» спондилосинтеза при тораколумбарной травме. Основным недостатком КТПФ является значительный (до 50%) риск развития нестабильности металлоконструкции. Основным техническим приемом, позволяющим снизить риск миграции/фрагментации конструкции и потери коррекции, является дополнение КТПФ промежуточ-

ными винтами, вводимыми в поврежденный позвонок. КТПФ с промежуточными винтами демонстрирует преимущества по сравнению со стандартной КТПФ.

Оценить стабильность спондилосинтеза возможно с использованием компьютерного биомеханического моделирования, основанного на методе конечных элементов. Сделать предварительный прогноз о результатах хирургической реконструкции на основании биомеханических свойств инструментированного позвоночника возможно на основании кадавр-эксперимента [6]. Более технологичным и современным методом определения стабильности металлофиксации, по мнению ряда авторов, является компьютерное биомеханическое моделирование. Валидность его относительно *in vitro* исследований подтверждена экспериментально [7]. Математической основой моделирования является метод конечных элементов – численный метод решения дифференциальных уравнений с частными производными, а также интегральных уравнений, возникающих при решении задач прикладной физики. Метод широко используется для решения задач механики деформируемого твердого тела, в роли которого можно рассматривать и инструментированный позвоночник [8].

В доступных публикациях рассматривается вариант компоновки КТПФ с билатерально введенными в разрушенный позвонок винтами [9, 10]. Ее недостатком служит невозможность выполнить передний опорный корпородез без удаления промежуточных винтов при развитии в условиях ТПФ посттравматического остеонекроза тела позвонка. Таким образом, оптимизация компоновки КТПФ, дополненной промежуточными винтами, видится актуальным вопросом.

Цель исследования: сравнительный анализ клинических, интроскопических, биомеханических параметров эффективности

применения различных вариантов компоновки короткосегментарных транспедикулярных систем у пациентов с оскольчатыми переломами позвонков переходного грудопоясничного отдела.

Материал и методы. По дизайну исследование ретроспективное моноцентровое нерандомизированное, серия случаев. Выполнен анализ результатов хирургического лечения 109 взрослых пациентов с компрессионно-оскольчатыми переломами Th12, L1, L2 позвонков (тип A3, A4 по классификации AOSpine). Операции выполнены одной бригадой хирургов в 2018-2021 гг. Показания к операции определялись согласно актуальным на момент госпитализации клиническим рекомендациям МЗ РФ по лечению пациентов с переломами грудных и поясничных позвонков. Критериями включения пациентов в исследование послужили возраст 18-65 лет, нормальная минеральная плотность костной ткани (Т критерий более -1 SD), тип одноуровневого повреждения Th12-L2 позвонков A3, A4 по классификации AOSpine.

Включенных в исследование пациентов разделили на 2 клинические группы сообразно особенностям хирургического лечения: I группа – 58 пациентов, которым выполняли бисегментарную 4-винтовую транспедикулярную фиксацию; II группа – 51 пациент, транспедикулярная фиксация у которых была дополнена введением одного транспедикулярного винта в поврежденный позвонок (рис. 1).

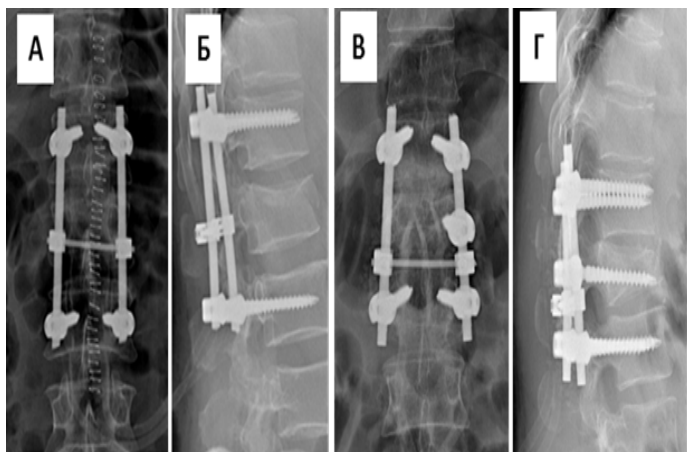


Рисунок 1. Рентгенограммы стандартной транспедикулярной фиксации и транспедикулярной фиксации, дополненной промежуточным винтом в прямой (А, В) и боковой (Б, Г) проекциях

Для объективной динамики состояния пациента и оценки результата спондилосинтеза использовали неврологический и клинический осмотры, регистрировали интенсивность болевого синдрома (визуально-аналоговая шкала ВАШ 10). Нарушение оси позвоночника, высоту передней опорной колонны поврежденного позвонка, выраженность дефицита просвета позвоночного канала (ДППК) оценивали по рентгенограммам в двух проекциях и компьютерной томографии (КТ), минеральную плотность костной ткани изучали с использованием

рентгеновской денситометрии. Регистрировали развитие нестабильности металлоконструкции и наличие потери достигнутой интраоперационно коррекции посттравматической деформации.

Биомеханическое моделирование проводилось на базе кафедры математической теории упругости и биомеханики ФГБОУ ВО «Саратовский национальный исследовательский государственный университет имени Н.Г. Чернышевского». Для проведения биомеханического моделирования были исследованы DICOM-файлы, полученные при компьютерной томографии грудопоясничного переходного отдела позвоночника. Исходные снимки КТ имели разрешение 512 на 512 пикселей, толщина среза 0,5 мм. Обработка данных компьютерной томографии (КТ) выполнена в программном комплексе Mimics. Далее твердотельная геометрическая компьютерная модель позвоночника создавалась в программном комплексе SolidWorks. Численное моделирование различных нагружений рассматриваемого сегмента позвоночника осуществлялось в конечно-элементном пакете Ansys.

С использованием полученных данных была построена трехмерная геометрическая модель позвоночника. В модель включали также ребра, межпозвонковые диски, фасеточные суставы и связки. Ткани позвонков, элементы транспедикулярной системы моделировались линейно-упругими материалами с изотропными и однородными свойствами. Все элементы позвоночника, кроме связок, моделировались трехмерными телами. Связки представлялись линейными одномерными элементами. Материалы элементов позвоночника являлись линейно-упругими, изотропными и однородными [11]. Связки позвоночника моделировались одномерными механическими элементами типа Spring, которые могут работать на растяжение и сжатие, при задании которых необходимо учитывать величину осевой жесткости. Жесткости связок брались из литературы [12], которые различаются в зависимости от сегмента позвоночника и от типа связки. Толщина кортикального слоя позвонков считалась равной 0,5 мм [13]. Фасеточные суставы задавались контактным условием, при котором коэффициент трения равен нулю. Трение в суставе не учитывалось; учитывались только передаваемые нормальные силы. Границы других тканей считались склеенными. Интерфейсы «кость-винт» моделировались как контактные элементы «поверхность-поверхность» для расчета контактной силы. С использованием построенных твердотельных трехмерных моделей переходных сегментов позвоночника с имплантатами и металлофиксациями созданы биомеханические модели. Проведены расчеты биомеханических моделей в системе Ansys Workbench под действием осевой нагрузки, а также изгибающих и скручивающих моментов.

В соответствии с таблицей 1 были заданы механические свойства тканей позвоночного столба, имплантатов и металлофиксаторов.

Для моделирования осевой нагрузки к замыкательной пластине верхнего позвонка прикладывали силу, моделирующую вес тела человека, величиной 600 Н. Моделировались несколько

нагружений инструментируемой зоны позвоночника: сгибание, ротационный поворот, разгибание, наклон вправо, наклон влево (величиной 7,5 Н*м) [14]. На нижнюю замыкательную пластинку нижнего позвонка накладывали ограничение по перемещениям. Для моделирования падения с высоты роста человека, прикладываемая к моделям компрессионная нагрузка увеличивалась до 1200 Н. Имплантаты и металлофиксаторы изготовлены из титанового сплава, предел текучести которого составляет 550 МПа. В результате моделирования были рассчитаны поля напряжений и перемещений. Анализировали эквивалентные напряжения в позвонках: в губчатой и кортикальной кости. Решение задачи биомеханики о воздействии внешних нагрузок на сегмент позвоночника вместе с установленными системами фиксации выполнялось также численно методом конечных элементов с автоматической генерацией сетки в системе Ansys. Анализировали стабильность систем фиксации, а также величины нагрузок, стратегия построения сетки была разработана для криволинейной границы элемента и, таким образом, позволила избежать резких разрывов, вызывающих нереально высокую концентрацию напряжений. Используя соотношение сторон и проверку Якобиана, все элементы находились в допустимых пределах искажения, чтобы максимизировать точность наших результатов. Сетку моделей составляли десятиузловые тетраэдрические твердые элементы. В среднем окончательные сетки двух моделей состояли примерно из 231 000 элементов и 340 000 узлов. Для точности моделирования выполнялось измельчение сетки до тех пор, пока не была достигнута превосходная монотонная сходимость с разницей в общей энергии деформации < 5%. Нелинейный алгоритм с формулой большой деформации и прямым разреженным решателем был использован в программе Simulation Ed. 2018 (Корпорация SolidWorks, Конкорд, Массачусетс, США).

Таблица 1

Механические свойства тканей позвоночного столба и имплантатов

Материал	Модуль Юнга, МПа	Коэффициент Пуассона	Продольная жесткость, Н/мм
Кортикальный слой кости	12000	0,3	-
Губчатый слой кости	100	0,2	-
Межпозвонковый диск	24	0,49	-
Фасеточный сустав	10	0,4	-
Межпоперечная связка	-	-	50
Межостистая связка	-	-	9,8
Надостистая связка	-	-	20
Титановый сплав	112000	0,3	-

Статистические методы исследования. При статистической обработке данных использовали программные продукты Microsoft Excel 2010 и SPSS 21.0 (США). Для выбора методов описательной и аналитической статистики проводили оценку нормальности распределения по критериям Колмогорова-Смирнова и Шапиро-Уилка. Распределение большинства количественных параметров не соответствовало нормальному. С учетом малого объема выборки и ненормального распределения большинства изучаемых параметров было принято решение об использовании методов непараметрической статистики.

Количественные данные представлены как медиана и квартили, Me [Q1; Q3]; качественные признаки – в абсолютных значениях и процентах. Анализ различий между группами по количественным признакам проводили с использованием U-критерия Манна-Уитни (для двух групп, двухсторонний тест). К количественным данным в случае связанных выборок применяли парный критерий знаковых рангов Вилкоксона (для двух групп). Сравнение групп по качественным признакам проводили путем оценки таблиц сопряженности и расчета критерия χ^2 . При числе наблюдений в ячейках таблицы менее 5 использовали точный критерий Фишера (двухсторонний тест). Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$ для всех методов.

Результаты. Общая характеристика вошедших в исследование пациентов представлена в таблице 2.

Таблица 2

Общая характеристика пациентов

Параметры пациентов до операции (n=109)	
Пол	
Мужчины	71
Женщины	38
Возраст	36 (29; 43,5)
Рост	172 (165; 180)
Вес	76 (70-87)
Уровень повреждения n (%)	
Th12	58 (53,2)
L1	42 (38,5)
L2	9 (8,3)
Тип повреждения n (%)	
A3	78 (71,6)
A4	31 (28,4)
Сроки с момента травмы	19 (12; 21)
Высота передней колонны позвонка, мм	17 (15; 19)
Сегментарная кифотическая деформация, °	8 (2; 22)
ДППК, %	0 (0; 12,5)
ВАШ	7 (6; 8)

Предоперационный анализ исходных клинических и интроскопических данных обеих групп пациентов представлен в таблице 3.

Таблица 3

Анализ исходных параметров пациентов

Предоперационные данные пациентов групп исследования	Группа I	Группа II	p-значение
Пол			
Мужчины	31	40	0,006
Женщины	27	11	0,006
Возраст	38,5 (28; 42)	32 (29; 45)	0,768
Рост	167 (165; 178)	175 (167; 180)	0,064
Вес	72 (68,7; 82)	79 (71; 87)	0,017
Уровень повреждения n (%)			
Th12	33	25	0,116
L1	18	24	0,116
L2	7	2	0,116
Тип повреждения n (%)			
A3	46 (79%)	32 (62%)	0,056
A4	12 (21%)	19 (38%)	0,056
Сроки с момента травмы	19 (14; 22)	14 (7; 20)	0,016
Высота передней колонны позвонка, мм	18 (17; 18)	17 (15; 18)	0,167
Сегментарная кифотическая деформация, °	8 (3; 23)	3 (2; 21)	0,01
ДППК, %	0 (0; 8,7)	0 (0; 20)	0,733
ВАШ	7 (6; 8)	7 (6; 8)	0,568

Средний возраст пациентов – 36 (29; 43,5) лет. Среди исследуемых преобладали мужчины – 71 человек (65%). По уровню повреждения и морфологии повреждения преобладали неполные взрывные переломы (A3 – 71,6%) Th12 (53,2%) позвонка.

Предоперационный анализ исходных данных групп больных показал сопоставимость параметров возраста, роста, распределения пациентов по уровню и типу повреждений, высоте передней колонны поврежденного позвонка, дефициту просвета позвоночного канала и интенсивности вертеброгенного болевого синдрома. Обращает на себя внимание наличие статистически значимых различий между группами пациентов по половому составу, весу, срокам, прошедшим от момента травмы до операции и выраженности кифотической деформации. Разница по данным параметрам обусловлена, по всей видимости, стремлением осуществить более стабильную фиксацию у пациентов большей

массы, которыми, как правило, были мужчины. Медианы сроков с момента травмы (I группа – 19 суток, II группа – 14 суток) и кифотической деформации (I группа – 8°, II группа – 3°), несмотря на статистически значимые отличия, не предполагают изменения алгоритма проведения хирургической реконструкции.

Послеоперационные данные пациентов групп исследования представлены в таблице 4. После выполнения вмешательства статистически значимые позитивные результаты лечения больных, прооперированных с применением промежуточных винтов, были выявлены в отношении увеличения высоты передней колонны тела позвонка, интенсивности болевого синдрома в сроки 2-12 месяцев после операции, частоты развития нестабильности металлоконструкции (у 50% пациентов I группы, 9,8% пациентов II группы).

Развившийся в послеоперационном периоде посттравматический остеонекроз тела поврежденного позвонка послужил показанием к выполнению переднего опорного корпорореза имплантатом MESH у 15 (26%) пациентов I группы и 13 (25%) пациентов II группы. При этом второй этап хирургического лечения у 9 из 15 пациентов I группы выполнялся на фоне нестабильности металлоконструкции и включал в себя ревизионный транспедикулярный спондилосинтез.

Таблица 4

Послеоперационные параметры пациентов групп исследования

Послеоперационные данные пациентов групп исследования	Группа I	Группа II	p-значение
Продолжительность операции, мин	65 (65; 70)	75 (65; 80)	0,003
Кровопотеря, мл	150 (150; 150)	150 (150; 200)	0,002
Высота передней колонны позвонка, мм, п/о	22 (18,7; 24)	26 (24; 28)	<0,001
Сегментарная кифотическая деформация, п/о°	3 (2; 9)	2 (2; 9)	0,363
ДППК, % п/о	0 (0; 7,5)	0 (0; 10)	0,737
ВАШ 7 дней п/о	3 (3; 4)	4 (3; 4)	0,73
ВАШ 2 месяца п/о	3 (2; 3)	2 (2; 3)	0,006
ВАШ 6 месяцев п/о	4 (3; 5)	1 (1; 3)	<0,001
ВАШ 12 месяцев п/о	3 (2; 4)	1 (1; 2)	<0,001
Нестабильность м/к	29 (50%)	5 (9,8%)	<0,001
Потеря коррекции	18 (31%)	5 (9,8%)	0,004
Отсроченный опорный корпорорез	15	13	0,965

Также проведен корреляционный анализ зависимости риска развития нестабильности металлоконструкции от исходной морфологии перелома. В I группе пациентов при взрывном переломе позвонка (A4) ОШ (95%ДИ) = 17 (2,0-144,1). При этом в отношении пациентов II группы связи риска развития нестабильности МК с типом перелома не выявлено, что свидетельствует о значительном снижении риска развития нестабильности МК при использовании промежуточной транспедикулярной фиксации.

Было выполнено биомеханическое моделирование двух вариантов транспедикулярной фиксации:

□ Фиксация в сегментах Th12 – L2. Транспедикулярная система с 4 винтами, введенными в смежные с поврежденными позвонки (рис. 1 А, Б);

□ Фиксация в сегментах Th12 – L2. Транспедикулярная система с 4 винтами, введенными в смежные с поврежденными позвонки и дополненная одним «промежуточным» транспедикулярным винтом, введенными в поврежденный позвонок (рис. 1 В, Г);

На рисунке 2 и 3 представлены трехмерные модели двух вариантов компоновки КТПФ. Результаты моделирования для расчёта полей напряжений и перемещений представлены на рисунках 4-6.

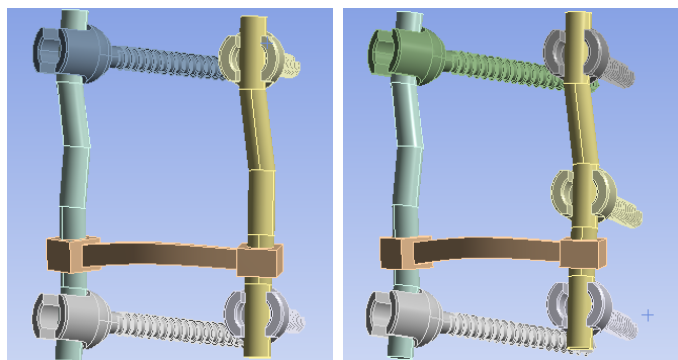


Рисунок 2. Трехмерные модели КТПФ без промежуточных винтов и с одним винтом

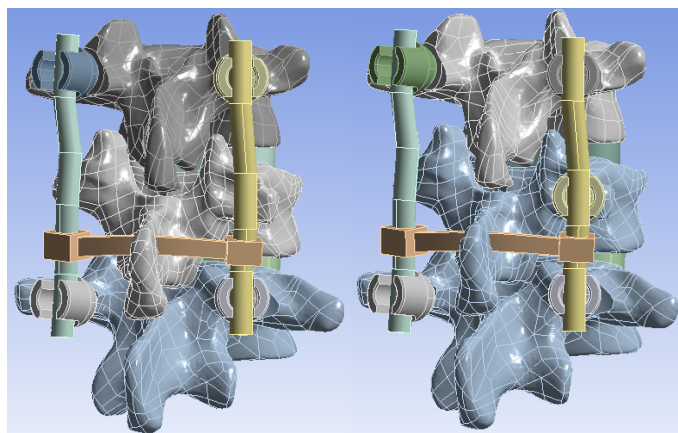


Рисунок 3. Модели КТПФ без промежуточных винтов и с одним промежуточным винтом

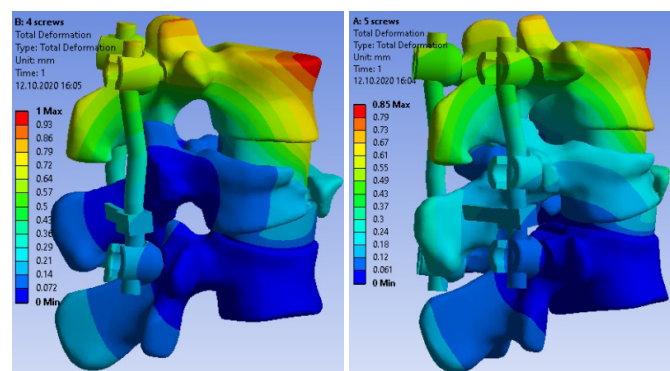


Рисунок 4. Перемещения в модели при наклоне вперед без промежуточных винтов, с одним винтом

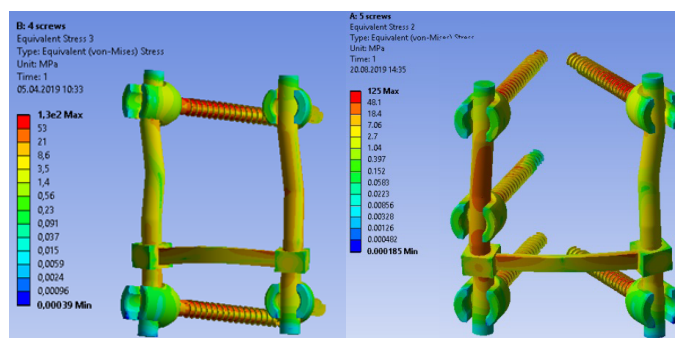


Рисунок 5. Поля эквивалентных напряжений в имплантатах при наклоне вперед в моделях без промежуточных винтов, с одним винтом

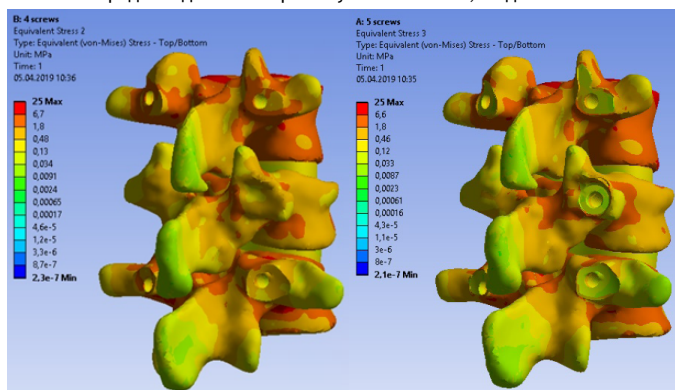


Рисунок 6. Поля эквивалентных напряжений в костной ткани при наклоне вперед в моделях без промежуточных винтов, с одним винтом

Результаты расчетов для всех вариантов нагружения и систем фиксации представлены в таблицах 5-7. В таблицы сведены напряжения в винтах и позвонках. В каждом из рассмотренных случаев напряжения не превышали критических значений, которые могут разрушить костную ткань позвонков и фиксаторов. Однако, учитывая сроки фиксации и количество циклов приложения нагрузок, меньшие напряжения более предпочтительны.

Таблица 5

Максимальные перемещения в моделях (мм)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	1,0	1,0	0,7	0,8	0,6
ТПФ 1 промежуточный винт	1,0	1,0	0,7	0,5	0,6

Таблица 6

Максимальные напряжения в транспедикулярной конструкции (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	170	390	160	260	190
ТПФ 1 промежуточный винт	130	300	150	200	170

Таблица 7

Максимальные напряжения в костных структурах (МПа)

Вариант ТПФ	Наклон вперед	Поворот	Наклон назад	Наклон вправо	Наклон влево
ТПФ без промежуточ. винтов	25	25	40	40	45
ТПФ 1 промежуточный винт	20	21	31	30	24

С точки зрения биомеханики напряжения в 5-винтовой системе фиксации на 18% меньше, чем в 4-винтовой. Костная ткань позвонков в условиях 5-винтовой системы на 26% менее нагружена, чем при 5-винтовой. Максимальные перемещения в системе кость-металлоконструкция не отличались.

Обсуждение. Выбор оптимальной тактики хирургического лечения пациентов с повреждениями переходного груднопоясничного отдела позвоночника представляют собой сложную задачу. Учитывая возрастной состав больных с повреждениями данной локализации, приоритетной задачей является скорейшее их возвращение к трудовой деятельности. Для этого важна максимальная первичная стабильность имплантируемой системы фиксации.

Ряд авторов описывают удовлетворительные результаты консервативного лечения тораколюмбарной травмы. Дискомфорт от ношения корсета, недостаточную стабильность внешней фиксации, развитие контрактур и атрофии мышц можно считать контраргументами для использования корсетотерапии при оскольчатых переломах у пациентов трудоспособного возраста. «Золотым стандартом» можно считать металлоспондилосинтез. На выбор тактики оперативного лечения у пациентов с повреждениями груднопоясничного перехода влияют параметры минеральной плотности костной ткани, выраженности посттравматической кифотической деформации и дефицита просвета позвоночного канала. Известны положительные стороны изолированного переднего [15, 16] и заднего [17] спондилосинтеза, а также комбинированной методики. Большой травматичности прямой хирургической реконструкции тела позвонка в сочетании с фиксацией короткосегментарной стержневой системы исключительно из вентрального хирургического доступа в ряде публикаций противопоставляется полисегментарная транспедикулярная фиксация в свою очередь несущая в себе повышенный риск развития синдрома смежного сегмента. Традиционная же короткосегментарная транспедикулярная фиксация, среди положительных свойств которой является минимальное воздействие на биомеханику позвоночника и низкая травматичность, сопровождается высокой (до 50% случаев) частотой развития нестабильности металлоконструкции [18]. В поиске методики, лишенной недостатков стандартной КТПФ, предлагается КТПФ, дополненная транспедикулярными винтами, введенными в поврежденный позвонок билатерально [19, 20]. Клинические и биомеханические исследования при этом демонстрируют при этом большую стабильность шестивинтовой системы при репозиционных возможностях, что сопоставимо с полисегментарной транспедикулярной системой [21]. Полученные нами результаты клинко-биомеханического исследования согласуются с уже опубликованными. Дополнительные винты более равномерно распределяют нагрузку на элементы транспедикулярной системы, снижая тем самым риск фрагментации ее винтов и стержней. Изгибающее воздействие на стержень вследствие оказываемой на него нагрузки более выражен в 4-винтовой КТПФ нежели в 6-и винтовой. Norton R. et al. (2014) связывает это с меньшими участками свободных стержней между винтами, основываясь на результатах эксперимента на трупном материале [22]. По мнению Xiong C. et al (2020) применение стандартной короткосегментарной транспедикулярной системы с промежуточными винтами, несмотря на ее эффективность при коррекции кифотической деформации, не обеспечивает адекватной стабильности передней опорной колонны поврежденного позвонка. Автор предлагает вводить промежуточные полиаксиальные винты при переломах типа В по Denis (соответствует перелому тип А3 по классификации AOSpine в сохранную нижнюю часть тела по траектории, обеспечивающей реклинацию поврежденного позвонка, применяя термин intermediate inclined-angle poliaxial

screw [23]. Подобной траекторией обеспечивается возможность ввести винт большей длинны чем при его введении параллельно замыкательным пластинкам, что увеличивает стойкость к «вырывающей нагрузке». Кроме того, описывая формирование дефицита объема губчатой кости, формирующегося после реклинации тела поврежденного позвонка (eggshell deformation), автор считает введение винта вне потенциально неопороспособной зоны залогом сохранения стабильности системы. В литературе описаны методики хирургической реконструкции подобного дефекта тела позвонка. Пластика дефекта кости возможна полиметилметакрилатом и кальций-фосфатным цементом [24]. Мнения об эффективности дополнения стандартной ТПФ введением композита в поврежденный позвонок полярны. В качестве преимуществ приводится первично-стабильная фиксация фрагментов позвонка, в качестве недостатков – риск выхода полимера в позвоночный канал, а также биомеханически сомнительное преимущество в стабильности системы кость-металлоконструкции введением в поврежденное тело цемента. Биомеханическое исследование Elmasry L. et al (2018), основанное на методе конечных элементов, не выявило большей стабильности системы кость-транспедикулярная система, дополненной кифопластикой поврежденного позвонка, по сравнению с изолированным применением ТПФ [25]. Это связано с частично сохраняющейся подвижностью в пределах зоны спондилосинтеза за счет интактных межпозвонковых дисков.

Также описана комбинация промежуточной транспедикулярной фиксации с пластикой дефекта кости кальций-сульфатным костным цементом. Биомеханическое исследование, проведенное Liao JC et al. (2017), демонстрирует преимущество комбинированной методики перед другими вариантами транспедикулярной фиксации в отношении меньших напряжений в элементах металлоконструкции [10].

Выполнение отсроченного опорного корпородеза при нарушении опороспособности тела позвонка вследствие формирования «eggshell»-деформации или посттравматического остеонекроза является стандартным решением для профилактики нестабильности металлоконструкции, рецидива посттравматической деформации и реколлапса – тела позвонка [26]. Описано развитие посттравматического остеонекроза с последующей потерей коррекции посттравматической деформации в условиях промежуточной транспедикулярной фиксации. Авторы отмечают, что подобное осложнение встречается в 3 раза чаще у пациентов с ожирением. Представленный в нашей работе вариант компоновки транспедикулярной фиксации с использованием одного введенного в поврежденный позвонок транспедикулярного винта позволяет выполнить при необходимости субтотальную резекцию тела поврежденного позвонка и передний опорный корпородез. Кроме того, данная компоновка не препятствует реализации известных малоинвазивных методик пластики костного дефекта из унилатерального транспедикулярного доступа [27-29].

При анализе параметров сегментарной кифотической деформации обращает на себя внимание ее минимальная выраженность у обеих групп пациентов в дооперационном периоде. Связано это, по всей видимости, с тем фактом, что все пациенты в наш стационар были переведены из учреждений, куда поступили непосредственно после травмы через 19 (14; 22) – 14 (7; 20) суток с момента травмы и получали консервативное лечение включающее реклинацию в гамаке. При этом обе применяемые компоновки транспедикулярной системы позволили имеющуюся остаточную посттравматическую деформацию полностью устранить. В отношении реклинации тела поврежденного позвонка использование промежуточного винта играет положительную роль, что отражается в статистически значимо большей высоте передних отделов тела позвонка. Динамика выраженности вертеброгенного болевого синдрома в послеоперационном периоде демонстрирует преимущество использования модернизированной методики транспедикулярного спондилосинтеза: значимо меньшую боль испытывают пациенты II группы уже через 2 месяца после операции. Спустя полгода после вмешательства в I группе больных отмечается прогрессирование болевого синдрома, связанное с развитием к этому моменту у 50% оперированных нестабильности металлоконструкции и потери коррекции, тогда как во II группе наблюдается стойкий выраженный антальгический эффект. Частота развития несостоятельности фиксации в I группе пациентов составляет 50% и соответствует таковой в ряде доступных публикаций [18, 23, 30, 31].

Биомеханические исследования демонстрируют преимущества применения промежуточной транспедикулярной фиксации [9, 20, 32-34]. Обобщение существующей информации о КТПФ приведено в метаанализе Кароен С. et al (2020). Описаны биомеханические и клинические преимущества 6-винтовой транспедикулярной фиксации в отношении лучшей коррекции кифотической деформации, стабильности конструкции и антальгического эффекта [35].

Принимая во внимание полученные в нашем исследовании данные биомеханического моделирования, можно сказать о достаточной стабильности обоих вариантов транспедикулярной фиксации при однократном нагружении, исключающей разрушение системы кость-металлоконструкция. При этом в 5-и винтовой системе зарегистрированы значения напряжений и перемещений ниже, нежели в 4-х винтовой. Сопоставление полученных биомеханических параметров и клинической составляющей работы позволяют сделать вывод о проявлении биомеханических преимуществ 5-и винтовой ТПФ при продолжительных нагрузках. Таким образом, стабильность у 5-ти винтовой фиксации достаточно высокая. Из этого можно сделать вывод, что для достижения клинически значимого положительного эффекта промежуточной транспедикулярной фиксации достаточно унилатерального введения винта в поврежденный позвонок. При этом, в отличие от ставшей уже стандартной практики применения двух промежуточных винтов, сохра-

няется возможность резекции тела поврежденного позвонка и выполнения опорного корпородеза без перемонтажа транспедикулярной системы. Также использование унилатеральной промежуточной транспедикулярной фиксации возможно у пациентов, опорный корпородез у которых противопоказан в связи с тяжелой политравмой или соматической патологией.

Заключение. Использование промежуточной транспедикулярной фиксации в 5-и винтовой компоновке позволяет значительно снизить риск развития нестабильности металлоконструкции, что обеспечивает стойкий анталгический эффект и сохранение достигнутой интраоперационно коррекции сегментарной кифотической деформации и реклинации тела позвонка. 5-винтовая компоновка короткосегментарной транспедикулярной системы не препятствует выполнению переднего опорного корпородеза. Результаты биомеханического моделирования подтверждают итоги клинического исследования, что позволяет учитывать его как один из аргументов в пользу выбора той или иной компоновки металлоконструкции при предоперационном планировании.

Этическая экспертиза. Пациенты дали согласие на обработку и публикацию персональных данных. Проведение исследования одобрено решением локального этического комитета.

Список литературы / References

1. Leucht P, Fischer K, Muhr G, Mueller E.J. Epidemiology of traumatic spine fractures. *Injury*. 2009;40(2):166-72. DOI: 10.1016/j.injury.2008.06.040
2. Tian Y, Zhu Y, Yin B, Zhang F, Liu B, Chen W, Zhang Y. Age- and gender-specific clinical characteristics of acute adult spine fractures in China. *Int Orthop*. 2016;40(2):347-53. DOI: 10.1007/s00264-015-3025-y
3. Лихачев С.В., Зарецков В.В., Шульга А.Е., Грамма С.А., Щаницын И.Н., Бажанов С.П., Зарецков А.В., Донник А.М. Повреждения переходного груднопоясничного отдела позвоночника: библиометрический анализ англоязычной литературы. *Хирургия позвоночника*. 2018;15(4): 52-69. [Likhachev S.V., Zaretskov V.V., Shulga A.E., Gramma S.A., Shchanitsyn I.N., Bazhanov S.P., Zaretskov A.V., Donnik A.M. Injuries to the thoracolumbar junction: bibliometric analysis of English-language literature. *Hirurgiâ pozvonochnika (Spine Surgery)*. 2018;15(4):52-69. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2018.4.52-69
4. Rosenthal B.D., Boody B.S., Jenkins T.J., Hsu W.K., Patel A.A., Savage J.W. Thoracolumbar Burst Fractures. *Clin Spine Surg*. 2018;31(4):143-151. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000634
5. Афаунов А.А., Чайкин Н.С. Анализ технических вариантов декомпрессионно-стабилизирующих операций при повреждениях нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника: систематический обзор литературы. *Хирургия позвоночника*. 2022;19(3):22-37. [Afaunov A.A., Chaikin N.S. Analysis of technical options for decompression and stabilization surgery for injuries of the lower thoracic and lumbar spine: a systematic review of the literature. *Hirurgiâ pozvonochnika (Spine Surgery)*. 2022;19(3):22-37. In Russian] DOI: 10.14531/ss2022.3.22-37
6. McDonnell M., Shah K.N., Paller D.J., Thakur N.A., Koruprolu S., Palumbo M.A., Daniels A.H. Biomechanical Analysis of Pedicle Screw Fixation for Thoracolumbar Burst Fractures. *Orthopedics*. 2016;39(3):514-518. DOI: 10.3928/01477447-20160427-09
7. Couvertier M., Germaneau A., Saget M., Dupré J.C., Doumalin P., Brémand F., Hesser F., Brèque C., Roulaud M., Monlezun O., Vendevre T., Rigoard P. Biomechanical analysis of the thoracolumbar spine under physiological loadings: Experimental motion data corridors for validation of finite element models. *Proc Inst Mech Eng H*. 2017; 231(10):975-981. DOI: 10.1177/0954411917719740
8. Wang H., Zhao Y., Mo Z., Han J., Chen Y., Yu H., Wang Q., Liu J., Li C., Zhou Y., Xiang L. Comparison of short-segment monoaxial and polyaxial pedicle screw fixation combined with intermediate screws in traumatic thoracolumbar fractures: a finite element study and clinical radiographic review. *Clinics (Sao Paulo)*. 2017;72(10):609-617. DOI: 10.6061/clinics/2017(10)04
9. Bolesta M.J., Caron T., Chinthakunta S.R., Vazifeh P.N., Khalil S. Pedicle screw instrumentation of thoracolumbar burst fractures: Biomechanical evaluation of screw configuration with pedicle screws at the level of the fracture. *Int J Spine Surg*. 2012;6:200-5. DOI: 10.1016/j.ijssp.2012.09.002
10. Liao J.C., Chen W.P., Wang H. Treatment of thoracolumbar burst fractures by short-segment pedicle screw fixation using a combination of two additional pedicle screws and vertebroplasty at the level of the fracture: a finite element analysis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2017;18(1):262. DOI: 10.1186/s12891-017-1623-0
11. Донник А.М., Иванов Д.В., Коссович Л.Ю., Левченко К.К., Киреев С.И., Морозов К.М., Островский Н.В., Зарецков В.В., Лихачев С.В. Создание трехмерных твердотельных моделей позвоночника с транспедикулярной фиксацией с использованием специализированного программного обеспечения. *Известия Саратовского университета. Новая серия. Серия: Математика. Механика. Информатика*. 2019;19(4):424-438. [Donnik A.M., Ivanov D.V., Kossovich L.Yu., Levchenko K.K., Kireev S.I., Morozov K.M., Ostrovsky N. V., Zaretskov V. V., Likhachev S.V. Creation of Three-Dimensional Solid-State Models of a Spine with Transpedicular Fixation Using a Specialized Software. *Izvestiya Saratovskogo universiteta Novaya seriya Seriya Matematika Mekhanika Informatika (Izv. Saratov Univ. (N. S.), Ser. Math. Mech. Inform.)*. 2019;19(4):424-438. In Russian]. DOI: 10.18500/1816-9791-2019-19-4-424-438
12. Putzer M., Auer S., Malpica W., Suess F., Dendorfer S. A numerical study to determine the effect of ligament stiffness on kinematics of the lumbar spine during flexion. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:95. DOI: 10.1186/s12891-016-0942-x
13. Maknickas A., Alekna V., Ardatov O., Chabarov O., Zabulionis D., Tamulaitienė M., Kačianauskas R. FEM-Based Compression Fracture Risk Assessment in Osteoporotic Lumbar Vertebra L1. *Appl. Sci*. 2019;9(15):3013. DOI: 10.3390/app9153013
14. Manickam P.S., Roy S. The biomechanical study of cervical spine: A Finite Element Analysis. *Int J Artif Organs*. 2022;45(1):89-95. DOI: 10.1177/0391398821995495
15. Sasso R.C., Best N.M., Reilly T.M., McGuire R.A. Jr. Anterior-only stabilization of three-column thoracolumbar injuries. *J Spinal Disord Tech*. 2005;18 Suppl:S7-14. DOI: 10.1097/01.bsd.0000137157.82806.68

16. Dai L.Y., Jiang L.S., Jiang S.D. Anterior-only stabilization using plating with bone structural autograft versus titanium mesh cages for two- or three-column thoracolumbar burst fractures: a prospective randomized study. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(14):1429-35. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181a4e667
17. Haiyun Y., Rui G., Shucui D., Zhanhua J., Xiaolin Z., Xin L., Xue W., Gongyi L., Jiankun L. Three-column reconstruction through single posterior approach for the treatment of unstable thoracolumbar fracture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(8):E295-302. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c392b9
18. Scholl B.M., Theiss S.M., Kirkpatrick J.S. Short segment fixation of thoracolumbar burst fractures. *Orthopedics*. 2006;29(8):703-708. DOI: 10.3928/01477447-20060801-14
19. Mahar A.K.C., Wedemeyer M., Mitsunaga L., Odell T., Johnson B., Garfin S. Shortsegment fixation of lumbar burst fractures using pedicle fixation at the level of the fracture. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(14):1503-1507. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318067dd24
20. Dick J.C., Jones M.P., Zdeblick T.A., Kunz D.N., Horton W.C. A biomechanical comparison evaluating the use of intermediate screws and cross-linkage in lumbar pedicle fixation. *J Spinal Disord*. 1994;7(5):402-407.
21. Guven O., Kocaoglu B., Bezer M., Aydin N., Nalbantoglu U. The use of screw at the fracture level in the treatment of thoracolumbar burst fractures. *J Spinal Disord Tech*. 2009;22(6):417-421. DOI: 10.1097/BSD.0b013e3181870385
22. Norton R.P., Milne E.L., Kaimrajh D.N., Eismont F.J., Latta L.L., Williams S.K. Biomechanical analysis of four- versus six-screw constructs for short-segment pedicle screw and rod instrumentation of unstable thoracolumbar fractures. *Spine J*. 2014;14(8):1734-1739. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.01.035
23. Xiong C., Huang B., Wei T., Kang H., Xu F. Effect of the short-segment internal fixation with intermediate inclined-angle polyaxial screw at the fractured vertebra on the treatment of Denis type B thoracolumbar fracture. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):182. DOI: 10.1186/s13018-020-01686-7
24. Cho D.Y., Lee W.Y., Sheu P.C. Treatment of thoracolumbar burst fractures with polymethyl methacrylate vertebroplasty and short-segment pedicle screw fixation. *Neurosurgery*. 2003;53(6):1354-1360; discussion 1360-1361. DOI: 10.1227/01.neu.0000093200.74828.2f
25. Elmasry S.S., Asfour S.S., Travascio F. Finite Element Study to Evaluate the Biomechanical Performance of the Spine After Augmenting Percutaneous Pedicle Screw Fixation With Kyphoplasty in the Treatment of Burst Fractures. *J Biomech Eng*. 2018;140(6). doi: 10.1115/1.4039174
26. Formica M., Zanirato A., Cavagnaro L., Basso M., Divano S., Lamartina C., Berjano P., Felli L., Formica C. Vertebral body osteonecrosis: proposal of a treatment-oriented classification system. *Eur Spine J*. 2018;27(Suppl 2):190-197. DOI: 10.1007/s00586-018-5600-6
27. Knop C., Fabian H.F., Bastian L., Blauth M. Late results of thoracolumbar fractures after posterior instrumentation and transpedicular bone grafting. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2001;26(1):88-99. DOI: 10.1097/00007632-200101010-00016
28. Shen Y.X., Zhang P., Zhao J.G., Xu W., Fan Z.H., Lu Z.F., Li L.B. Pedicle screw instrumentation plus augmentation vertebroplasty using calcium sulfate for thoracolumbar burst fractures without neurologic deficits. *Orthop Surg*. 2011;3(1):1-6. DOI: 10.1111/j.1757-7861.2010.00114.x
29. Marco R.A., Kushwaha V.P. Thoracolumbar burst fractures treated with posterior decompression and pedicle screw instrumentation supplemented with balloon-assisted vertebroplasty and calcium phosphate reconstruction. *J Bone Joint Surg Am*. 2009;91(1):20-8. DOI: 10.2106/JBJS.G.01668
30. Jindal R., Jasani V., Sandal D., Garg S.K. Current status of short segment fixation in thoracolumbar spine injuries. *J Clin Orthop Trauma*. 2020;11(5):770-777. DOI: 10.1016/j.jcot.2020.06.008
31. Chokshi J.J., Shah M. Outcomes of Including Fracture Level in Short- Segment Fixation for Thoracolumbar Fracture Dislocation. *Asian Spine J*. 2019;13(1):56-60. DOI: 10.31616/asj.2018.0064
32. Norton R.P., Milne E.L., Kaimrajh D.N., Eismont F.J., Latta L.L., Williams S.K. Biomechanical analysis of four- versus six-screw constructs for short-segment pedicle screw and rod instrumentation of unstable thoracolumbar fractures. *Spine J*. 2014;14(8):1734-1739. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.01.035
33. Baaj A.A., Reyes P.M., Yaqoobi A.S., Uribe J.S., Vale F.L., Theodore N., Sonntag V.K., Crawford N.R. Biomechanical advantage of the index-level pedicle screw in unstable thoracolumbar junction fractures. *J Neurosurg Spine*. 2011;14(2):192-197. DOI: 10.3171/2010.10.SPINE10222
34. Wang H., Li C., Liu T., Zhao W.D., Zhou Y. Biomechanical efficacy of monoaxial or polyaxial pedicle screw and additional screw insertion at the level of fracture, in lumbar burst fracture: An experimental study. *Indian J Orthop*. 2012;46(4):395-401. DOI: 10.4103/0019-5413.98827
35. Kapoen C., Liu Y., Bloemers F.W., Deunk J. Pedicle screw fixation of thoracolumbar fractures: conventional short segment versus short segment with intermediate screws at the fracture level-a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2020;29(10):2491-2504. DOI: 10.1007/s00586-020-06479-4

Информация об авторах:

Лихачев Сергей Вячеславович – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИТОН ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: Likha4@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-1874-2507>

Островский Владимир Владимирович – доктор медицинских наук, директор НИИТОН ФГБОУ ВО СГМУ им. В. И. Разумовского МЗ РФ, профессор кафедры травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: ostrw@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>

Арсениевич Владислав Бранкович – кандидат медицинских наук, заведующий травматолого-ортопедическим отделением №3 НИИТОН ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: vbarsenievich@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4808-1578>

Зарецков Владимир Владимирович – доктор медицинских наук, ведущий научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИТОН ФГБОУ

ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: vvzaretskov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5921-2786>

Щаницын Иван Николаевич – кандидат медицинских наук, старший научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИТОН ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: dr.green@list.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1874-2507>

Шульга Алексей Евгеньевич – кандидат медицинских наук, научный сотрудник отдела инновационных проектов в нейрохирургии и вертебрологии НИИТОН ФГБОУ ВО СГМУ им. В.И. Разумовского МЗ РФ, г. Саратов, 410002, ул. им. Н.Г. Чернышевского, 148, Россия; e-mail: doc.shulga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8476-0231>

Information about authors:

Likhachev Sergey Vyacheslavovich – MD, PhD, Senior Research Assistant, Department of Neurosurgery and Vertebrology Innovations, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: Likha4@mail.ru <http://orcid.org/0000-0003-1874-2507>

Ostrovskij Vladimir Vladimirovich – MD, DSc, Director of the Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: ostrw@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0002-8602-2715>

Arsenievich Vladislav Brankovich – MD, PhD, Head of Trauma Orthopedic Dept. #3, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: vbarsenievich@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0003-4808-1578>

Zaretskov Vladimir Vladimirovich – MD, DSc, Leading Research Assistant, Department of Neurosurgery and Vertebrology Innovations, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: vvzaretskov@mail.ru; <http://orcid.org/0000-0001-5921-2786>

Shchanitsyn Ivan Nikolaevich – MD, PhD, Senior Research Assistant, Department of Neurosurgery and Vertebrology Innovations, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: dr.green@list.ru; <http://orcid.org/0000-0003-1874-2507>

Shulga Aleksey Evgenyevich – MD, PhD, Research Assistant, Department of Neurosurgery and Vertebrology Innovations, Scientific Research Institute of Traumatology, Orthopedics and Neurosurgery, V.I. Razumovsky Saratov State Medical University, 410002, N.G. Chernyshevskogo str., 148, Saratov, Russian Federation; e-mail: doc.shulga@yandex.ru; <https://orcid.org/0000-0001-8476-0231>

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-36-46>

УДК 616.72-007.248



© А.В. Лычагин, С.В. Иванников, В.В. Сурин, П.И. Петров, Т.А. Жарова, А.И. Наиманн, Я. Ян, Д.С. Бобров, А.В. Гаркави, И.А. Вязанкин, Ю.Р. Гончарук, М.М. Липина, Е.Б. Калинин, А.Ю. Заров, 2023

Оригинальная статья / Original article

АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАЦИИ ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА КОЛЕННОГО СУСТАВА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ УЧАСТКОВ ХОНДРОПАТИИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ

А.В. ЛЫЧАГИН¹, С.В. ИВАННИКОВ¹, В.В. СУРИН¹, П.И. ПЕТРОВ¹, Т.А. ЖАРОВА¹, А.И. НАИМАНН², Я.Я.¹, Д.С. БОБРОВ¹, А.В. ГАРКАВИ¹, И.А. ВЯЗАНКИН¹, Ю.Р. ГОНЧАРУК¹, М.М. ЛИПИНА¹, Е.Б. КАЛИНСКИЙ¹, А.Ю. ЗАРОВ³

¹ Кафедра травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 127994, Москва, Россия

² Государственное бюджетное учреждение здравоохранения города Москвы Городская клиническая больница имени С.П. Боткина, 125284, Москва, Россия

³ Автономная некоммерческая организация Центральная клиническая больница Святителя Алексия Митрополита Московского Московской Патриархии Русской Православной Церкви, 119071, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование: Обработка хряща в очаге хондропатии во время артроскопических вмешательств является одним из методов лечения гонартроза. Лазерный метод обработки хряща имеет преимущество над остальными (холодноплазменные, механические) так как позволяет производить более точные и менее объёмные воздействия.

Цель исследования: целью данной работы является улучшение результатов лечения гонартроза за счёт включения лазерной обработки хряща в очаге хондропатии в комплекс лечения.

Методы: Было проведено лечение 35 пациентов с локальными повреждениями хряща коленного сустава. Пациентам основной группы (20 человек) артроскопическая обработка очагов хондропатии производилась с помощью лазерного метода, пациентам группы сравнения (15 человек) – с помощью механических и холодноплазменных методик. Первичное обследование производилось перед операцией. Повторное обследование через 3 и 6 месяцев с момента операции. Обследование включало клинический осмотр врача-ортопеда МРТ коленного сустава и анкетирование по шкалам VAS, LFI, WOMAC.

Результаты: Все пациенты отметили положительную динамику, что выразилось в возросшей толерантности к физиологическим и спортивным нагрузкам, а также в средних значениях показателей оценочных шкал. Однако в основной группе показатели шкал изменились более значительно, чем в группе сравнения. Также у пациентов основной группы отмечалось частичное восстановление толщины хряща в очаге хондропатии и снижение глубины поражения субхондральной кости, чего не наблюдалось у пациентов группы сравнения.

Заключение: Артроскопическая лазерная обработка очагов хондропатии позволяет снизить риски прогрессирования остеоартроза, что делает её методикой выбора при лечении локальной хондропатии, как имеющей высокую эффективность по стимулированию регенерации хрящевой ткани.

Ключевые слова: лазер, хрящ, регенерация, хондропатия, остеоперфорация, абляция, хондронекроз, артроз, нестабильность сустава, коленный сустав, фотобиомодуляция

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

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

Для цитирования: Лычагин А.В., Иванников С.В., Сурин В.В., Петров П.И., Жарова Т.А., Наиманн А.И., Ян Янъбинь, Бобров Д.С., Гаркави А.В., Вязанкин И.А., Гончарук Ю.Р., Липина М.М., Калинин Е.Б., Заров А.Ю., АНАЛИЗ РЕГЕНЕРАЦИИ ГИАЛИНОВОГО ХРЯЩА КОЛЕННОГО СУСТАВА ПОСЛЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ УЧАСТКОВ ХОНДРОПАТИИ РАЗЛИЧНОЙ СТЕПЕНИ. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 36–46 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-36-46>

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

ANALYSIS OF REGENERATION OF HYALINE CARTILAGE OF THE KNEE JOINT AFTER LASER TREATMENT OF CHONDROPATHY SITES OF VARYING DEGREES

ALEXEY V. LYCHAGIN¹, SERGEY V. IVANNIKOV¹, VLADIMIR V. SURIN¹, PAVEL I. PETROV¹,
TATIANA A. ZHAROVA¹, ANDREY I. NAIMANN², YA. YAN¹, DMITRY S. BOBROV¹, ANDREY V. GARKAVI¹,
IVAN A. VIAZANKIN¹, YULIA R. GONCHARUK¹, MARINA M. LIPINA¹, EVGENY B. KALINSKY¹,
ALEXEY Y. ZAROV³

¹Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 127994, Moscow, Russia

²State Budgetary Healthcare Institution of the City of Moscow S.P. Botkin City Clinical Hospital, 125284, Moscow, Russia

³Autonomous non-profit organization Central Clinical Hospital of St. Alexis Metropolitan of Moscow of the Moscow Patriarchate of the Russian Orthodox Church, 119071, Moscow, Russia

Abstract

Justification: Treatment of cartilage in the focus of chondropathy during arthroscopic interventions is one of the methods of treatment of gonarthrosis. The laser method of cartilage treatment has an advantage over the rest (cold plasma, mechanical) since it allows you to produce more accurate and less voluminous effects.

Purpose: the aim of this work is to improve the results of treatment of gonarthrosis by including laser treatment of cartilage in the focus of chondropathy in the treatment complex.

Materials and methods: 35 patients with local cartilage injuries of the knee joint were treated. Patients of the main group (20 people) underwent arthroscopic treatment of foci of chondropathy using the laser method, patients of the comparison group (15 people) – using mechanical and cold plasma techniques. The initial examination was performed before the operation. Repeated examination 3 and 6 months after the operation. The examination included a clinical examination by an orthopedic surgeon, an MRI of the knee joint and a questionnaire on the VAS, LFI, and WOMAC scales.

Results: All patients noted positive dynamics, which was reflected in increased tolerance to physiological and athletic loads, as well as in the average values of the evaluation scales. However, in the main group, the indicators of the scales changed more significantly than in the comparison group. Also, in patients of the main group, there was a partial restoration of cartilage thickness in the focus of chondropathy and a decrease in the depth of damage to the subchondral bone, which was not observed in patients of the comparison group.

Conclusion: Arthroscopic laser treatment of foci of chondropathy reduces the risks of progression of osteoarthritis, which makes it the method of choice in the treatment of local chondropathy, as having high efficiency in stimulating the regeneration of cartilage tissue.

Keywords: laser, cartilage, regeneration, chondropathy, osteoperforation, ablation, chondronecrosis, arthrosis, joint instability, knee joint, photobiomodulation

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Lychagin A.V., Ivannikov S.V., Surin V.V., Petrov P.I., Zharova T.A., Naimann A.I., Yang Yanbin, Bobrov D.S., Garkavi A.V., Vyazankin I.A., Goncharuk Y.R., Lipina M.M., Kalinsky E.B., Zarov A.U., ANALYSIS OF REGENERATION OF HYALINE CARTILAGE OF THE KNEE JOINT AFTER LASER TREATMENT OF CHONDROPATHY SITES OF VARYING DEGREES. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023 № 1. pp. 36–46 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-36-46>

Введение

Хондропатия — это патология, при которой происходит истончение, размягчение и последующее постепенное разрушение суставного хряща. Наличие на поверхности хряща очагов хондропатии считают одним из основных проявлений остеоартроза на его ранних стадиях. [1]

Остеоартроз - болезнь, проявляющееся повреждением суставного хряща, - является одним из наиболее распространенных заболеваний, поражающая до 50 % взрослого трудоспособного населения старше 50 лет; при этом коленный сустав является наиболее распространенной локализацией остеоартроза [2,3,4].

Выделяют первичный гонартроз, развивающийся с возрастом вследствие хронических дегенеративных изменений, и вторичный гонартроз, ассоциированный с травмами различных структур коленного сустава – таких, как мениски или крестообразные связки [5,6,7,8].

При вторичном гонартрозе консервативные методы недостаточно эффективны, и наиболее предпочтительной тактикой является устранение механических причин его возникновения. Однако даже после хирургического лечения наблюдается тенденция к прогрессированию гонартроза [9, 10, 11, 12, 13, 14, 15].

Это обуславливает необходимость включения в алгоритм лечения дополнительных методик, призванных способствовать восстановлению поврежденных участков и тем самым снизить риски развития посттравматического гонартроза. Одной из таких методик является лазерная обработка очагов хондропатии [15].

При артроскопическом вмешательстве на коленном суставе для обработки суставного хряща в очаге хондропатии наиболее часто применяют механические и холодноплазменные методы, однако во время их использования сложно контролировать степень и область воздействия на хрящ, что обуславливает существенные риски повреждения тка-

ней, смежных с обрабатываемой областью [15, 16, 17, 18]. Лазерные методы позволяют дозировать воздействие на ткани и благодаря этому менее травматичны для хряща, окружающего обрабатываемую область, что даёт возможность производить более точные и менее объёмные воздействия [19, 20, 21]. Ранее нами была проведена серия экспериментов на препаратах суставного хряща свиньи и человека. В результате было установлено, что оптимальным лазерным излучением для обработки хряща в среде 0.9% раствора NaCl является сочетанное излучение λ (длина волны) = 0,97 мкм при мощности 3 Вт в сочетании с $\lambda=1,55$ мкм, при мощности 5 Вт [22]

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ:

В период с октября 2018 года по январь 2021 года было проведено лечение 35 пациентов с локальными повреждениями хряща коленного сустава.

Критерии включения в исследование:

1. Возраст старше 18 лет
2. Верифицированное клинически и с помощью МРТ повреждение хряща.
3. Верифицированная с помощью МРТ хондропатия I-III степени по классификации ICRS (International Cartilage Repair Society) общей площадью не более 4 см²
4. Готовность и способность пациентов к продуктивному сотрудничеству, выполнению рекомендаций; их информированное согласие на участие в исследовании.

Критерии не включения.

1. Сопутствующие ортопедические нарушения нижних конечностей, влияющие на опороспособность и походку.
2. Ранее выполнение реконструктивных операции на коленном суставе.
3. Неоднократные внутрисуставные инъекции кортикостероидов в анамнезе.
4. Сопутствующие заболевания, являющиеся противопоказаниями к выполнению запланированной операции или полноценному проведению реабилитационного периода.

Характеристика пациентов.

В исследование были включены 35 пациентов в возрасте от 23 до 65 лет (средний возраст 32 ± 1.8 лет) с хондропатиями I (A, B), II и III (A,B,C, D) степени по классификации ICRS (International Cartilage Repair Society). Пациенты были разделены на основную группу – 20 человек, которым в ходе операции выполняли лазерную обработку очага хондропатии, и группу сравнения – 15 человек, которым обработку

очага хондропатии выполняли традиционными способами (кусачками, артроскопический шейвером и холодноплазменной абляцией) (табл.1)

Таблица 1

Степень хондропатии у пациентов по классификации ICRS (кол-во наблюдений)

Степень	Основная группа	Группа сравнения	ВСЕГО
I	5	4	9
II	5	6	11
III	10	5	15
ВСЕГО	20	15	35

Диагностику наличия и степени хондропатии производили при помощи магнитно-резонансной томографии (МРТ), выполненной на аппаратах с различной мощностью (1; 1,5; 3 Тесла). При этом мощность и марка аппаратуры не влияли на точность диагностики – интраоперационно расхождений с данными МРТ выявлено не было.

Сроки от начала заболевания в обеих группах составили 5 ± 2 месяца.

Все пациенты были прооперированы одной хирургической бригадой в условиях одной операционной.

Обследование.

В рамках данного исследования обследование всех пациентов проводили перед операцией, а также в ходе двух контрольных визитов – через 3 и 6 месяцев после операции с заполнением анкет-опросников. Оценивали глубину и локализацию хондральных дефектов, а также функциональное состояние коленного сустава и интенсивность болевого синдрома (табл.2)

Таблица 2

Обследование пациентов в ходе исследования

	Перед операцией	Через 3 месяца	Через 6 месяцев
Осмотр травматологом-ортопедом	+	+	+
МРТ коленного сустава	+	--	+
Визуальная аналоговая шкала (VAS)	+	+	+
Lequesne algofunctional index (LFI)	+	+	+
Western Ontario and McMaster Universities Osteoarthritis Index (WOMAC)	+	+	+

Методика применения лазера:

У всех пациентов основной группы лазерную обработку очагов хондропатии производили по одной методике на одном оборудовании.

Во время хирургического вмешательства применяли двух-волновый волоконный лазерный аппарат ЛСП – «ИРЭ-Полус» (НТО «ИРЭ-Полус», Россия) с длинами волн излучения $\lambda=0,97$ мкм (до 30 Вт) и $\lambda=1,55$ мкм (до 15 Вт), с выводом излучения через кварц-кварцевый световод с диаметром светонесущей жилы 600 мкм (регистрационное удостоверение № РЗН 2013/850).

Для обработки очагов хондропатии использовали сочетанное импульсно-периодическое (100мс/50мс) лазерное излучение с $\lambda = 0,97$ мкм при мощности 3 Вт + $\lambda=1,55$ мкм, при мощности 5 Вт.

Применяли световоды с прямым и боковым выводом излучения, выбор вывода излучения зависел от локализации дефекта.

Расстояние от точки вывода излучения световода до поверхности хряща составляло приблизительно 1-2 мм, максимальная длительность воздействия на один участок хряща составляла 2 секунды.

Артроскопическая обработка суставного хряща

Основная группа:

Всем пациентам очаги хондропатии обрабатывали при помощи лазера по описанной выше методике



Рисунок 1. Артроскопическая картина очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента К. (37 лет) до лазерной обработки. Степень хондропатии IIIB по ICRS.

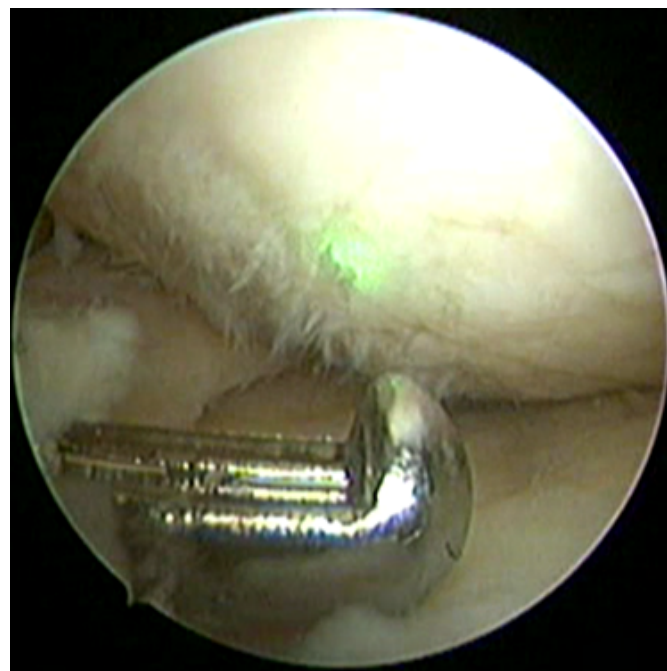


Рисунок 2. Артроскопическая лазерная обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента К. Используется боковой световод, лазерное излучение с длиной волны 0,97 мкм и 1,56 мкм.



Рисунок 3. Артроскопическая картина очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента К. после завершения лазерной обработки.

Группа сравнения:

Всем пациентам очаги хондропатии обрабатывали при помощи холодноплазменного аблятора, артроскопического шейвера и кусачек.

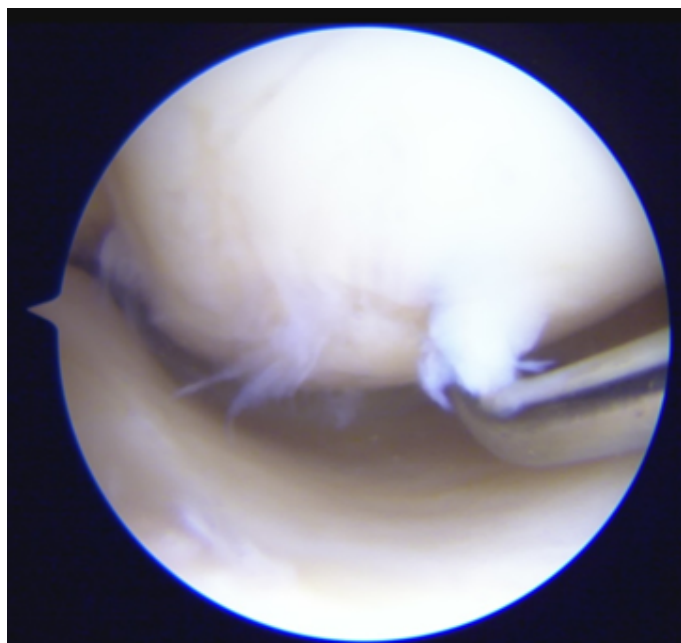


Рисунок 4. Артроскопическая картина очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. (35 лет) Степень хондропатии III.

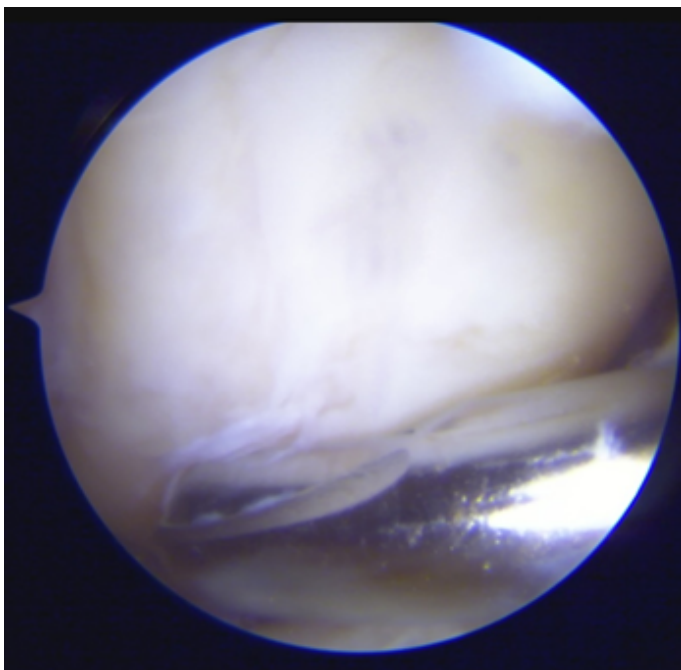


Рисунок 5. Механическая обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. С помощью артроскопического шейвера.

Послеоперационное ведение:

В послеоперационном периоде применяли стандартный алгоритм реабилитации пациентов, включающий:

- 1) ограничение физических нагрузок на оперированную конечность.
- 2) иммобилизация оперированной конечности в коленном туторе до 3 недель с момента операции, далее постепенное увеличение угла сгибания коленного сустава до 90 градусов к 6 неделе с момента операции)
- 3) регулярные перевязки послеоперационных ран, снятие швов через 14 суток.
- 4) курс противовоспалительной терапии.
- 5) курс хондропротекторной терапии.
- 6) курс антибактериальной профилактики.
- 7) курс лечебной физкультуры.
- 8) антикоагулянтная терапия - Ксарелто 10 мг x 1 р/д в течении 14 дней с момента операции

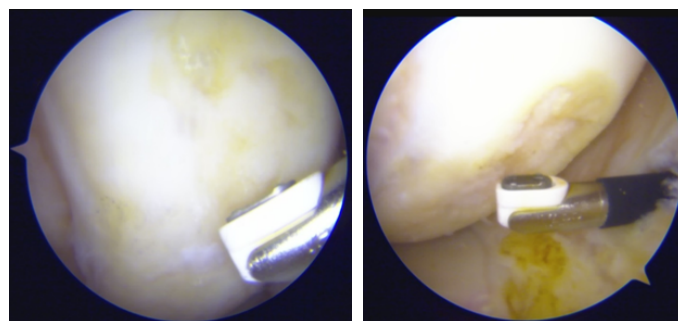


Рисунок 6. Обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. с помощью холодноплазменного аблятора.

Методы статистической обработки:

Для статистических расчётов использовали программу MedCalc 19.5.2 for Windows (MedCalc, Belgium). Данные из опросных листов вручную вводили в программу. Выполнена программная и визуальная проверка данных на полноту, допустимые диапазоны, логические и медицинские взаимосвязи. Нормальность выборки проверена по критерию Шапиро-Уилка. Произведён расчёт минимальных(min) и максимальных(max) значений, далее произведён расчёт средних значений(M) и значений стандартных отклонений от значения средней арифметической (σ). При расчёте динамики изменения количественных показателей до и после лечения использовали W-критерий Вилкоксона.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Оценочные шкалы.

Средние результаты заполнения опросных шкал при первичном и повторном обследовании у основной и контрольной групп представлены в таблицах 3 и 4.

Таблица 3

Результаты лечения у пациентов основной группы (средние показатели по исследуемым шкалам).

Оценочная шкала Rating scale	VAS	LFI	WOMAK
Первичное обследование Initial examination	3,77 ± 0,82	5,46 ± 1,11	49,62 ± 7,96
Спустя 3 месяца с момента операции 3 months after the operation	2,24 ± 0,76	4,31 ± 1,10	42,17 ± 6,82
Спустя 6 месяцев с момента операции 6 months after the operation	1,61 ± 0,71	3,27 ± 1,04	36,84 ± 5,71

Таблица 4

Результаты лечения у пациентов группы сравнения (средние показатели по исследуемым шкалам).

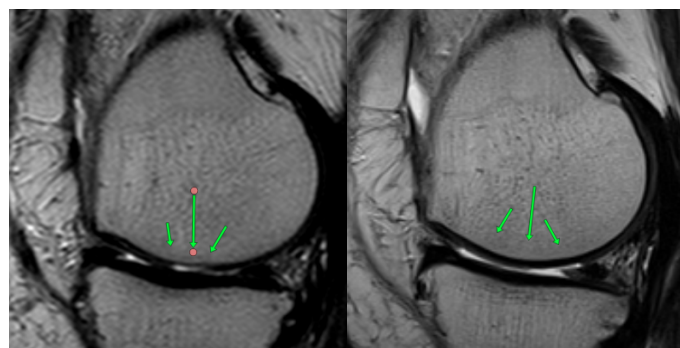
Оценочная шкала	VAS	LFI	WOMAK
Первичное обследование Initial examination	3,65 ± 0,72	6,2 ± 1,08	48,1 ± 8,51
Спустя 3 месяца с момента операции 3 months after the operation	2,72 ± 0,71	5,46 ± 1,11	42,67 ± 6,44
Спустя 6 месяцев с момента операции 6 months after the operation	2,24 ± 0,63	4,5 ± 1,23	41,11 ± 6,49

МРТ:

Типичные клинические примеры динамики МРТ при первичном и повторном обследовании в исследуемых группах представлены на рисунках 4-7.

Основная группа.

На рисунке 7 представлена динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии у пациентки А (основная группа, женщина 36 лет). Стрелки указывают на очаг хондропатии. На МРТ, выполненной через 6 месяцев после, можно наблюдать снижение глубины поражения и частичное восстановление структуры суставного хряща по сравнению со аналогичным исследованием, выполненным до обработки очага хондропатии.

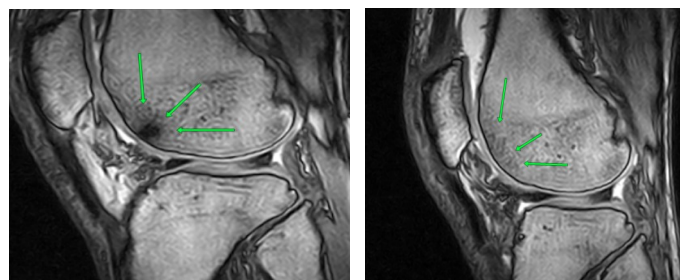


а

б

Рисунок 7. МРТ коленного сустава у пациентки А, 36 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после лазерной обработки очага хондропатии (б)

На рисунке 8 представлена динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии у пациента С (основная группа, мужчина, 54 года). Стрелки указывают на очаг остеохондропатии. На снимке, сделанном через 6 месяцев после, можно наблюдать снижение глубины поражения и частичное восстановление структуры суставного хряща и субхондральной кости по сравнению со снимком, выполненным до обработки очага хондропатии.



а

б

Рисунок 8. МРТ коленного сустава у пациента С, 54 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после лазерной обработки очага хондропатии (б)

Группа сравнения.

На рисунке 9 представлена динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии у пациента Е (группа сравнения, мужчина 29 лет). Стрелки указывают на очаг хондропатии. На снимке, сделанном через 6 месяцев после, можно наблюдать увеличение глубины повреждения и прогрессирующие изменения структуры суставного хряща по сравнению со снимком, выполненным до обработки очага хондропатии.

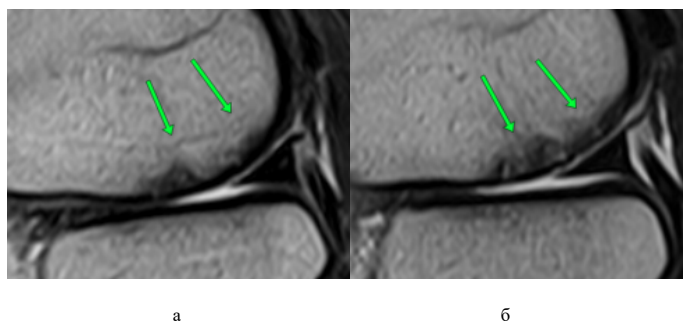


Рисунок 9. МРТ коленного сустава у пациента Е, 29 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после обработки очага хондропатии аблатором. (б)

На рисунке 10 представлена динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии у пациентки Ф (группа сравнения, женщина 57 лет). Стрелки указывают на очаг хондропатии. На снимке, сделанном через 6 месяцев, можно наблюдать увеличение глубины повреждения и прогрессирующие изменения структуры суставного хряща, по сравнению со снимком, выполненным до обработки очага хондропатии.

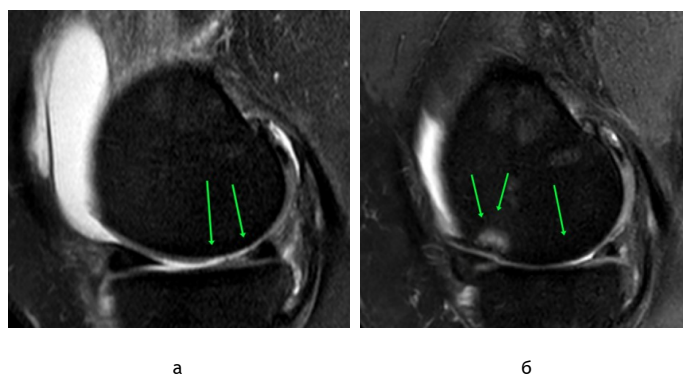


Рисунок 10. МРТ коленного сустава у пациентки Ф, 57 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после обработки очага хондропатии шейвером и аблатором. (б)

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ:

Ограничения подвижности, выпот, отёки, болезненность при пальпации коленного сустава через 6 месяцев отсутствовали у всех пациентов.

Все пациенты через 6 месяцев после операции отметили положительную динамику, что выразилось в возросшей толерантности к физиологическим и спортивным нагрузкам, а также в средних значениях показателей оценочных шкал. Болевой синдром по 10-балльной шкале VAS снизился на 2,16 балла в основной группе и на 1,41 балла в группе сравнения, то есть в основной группе средний показатель положительной динамики был лучше в 1,5 раза ($p < 0,05$) (рис.11)

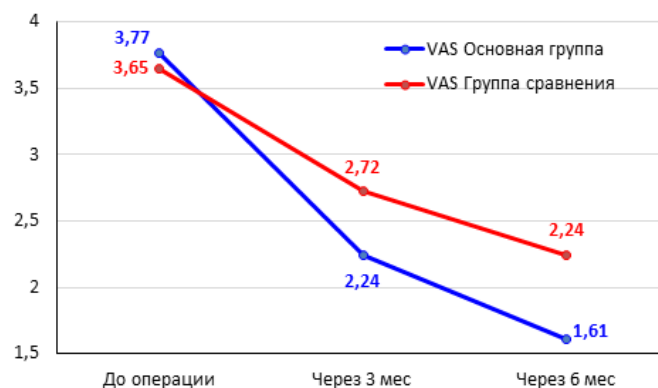


Рисунок 11. Динамика средних показателей болевого синдрома по VAS.

LFI в основной группе снизился на 2,19 балла, и в группе сравнения – на 1,7 балла, то есть в основной группе средний показатель положительной динамики был лучше в 1,3 раза ($p < 0,05$).

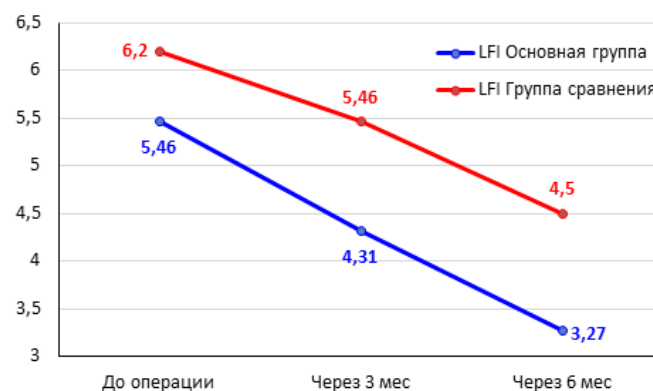


Рисунок 12. Динамика средних показателей болевого синдрома по LFI.

WOMAK в основной группе снизился на 12,78 балла, и в группе сравнения – на 6,99 балла, то есть в основной группе средний показатель положительной динамики был лучше в 1,8 раза ($p < 0,05$).

Таким образом средние значения всех исследованных показателей в основной группе через 6 месяцев после операции снизились в большей степени, чем в группе сравнения, что позволяет сделать вывод о лучших клинических результатах в основной группе.

У 70% (14 из 20) пациентов основной группы отмечалось частичное восстановление толщины хряща в очаге хондропатии, а также снижение глубины поражения субхондральной кости.

У пациентов группы сравнения подобных изменений не наблюдалось ни в одном из случаев.

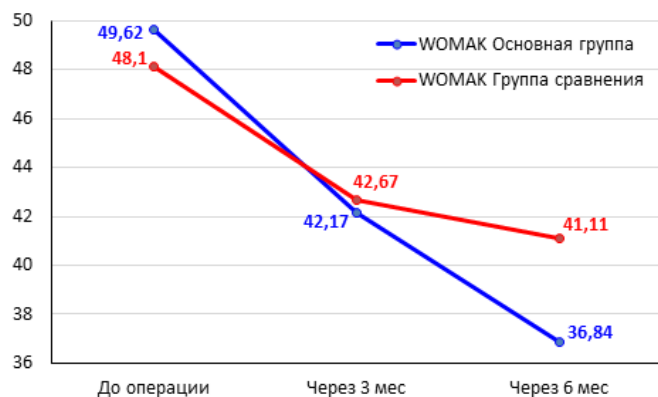


Рисунок 13. Динамика средних показателей болевого синдрома по WOMAC

ЗАКЛЮЧЕНИЕ:

Лазерная обработка очагов хондропатии является эффективным методом профилактики посттравматического остеоартроза коленного сустава. Вследствие лазерной обработки происходит частичное восстановление структурности суставной поверхности, что приводит к улучшению функциональных свойств сустава.

Восстановление структурности суставного хряща происходит как интраоперационно, за счёт непосредственного воздействия на ткани в очаге хондропатии, так и в послеоперационном периоде за счёт индукции хрящевой регенерации, вызванной интраоперационным воздействием лазерного излучения, что соответствует данным литературы [23, 24, 25, 26, 27, 28, 29, 30, 31, 32].

Таким образом артроскопическая лазерная обработка очагов хондропатии позволяет снизить риски прогрессирования остеоартроза, что делает её методикой выбора при лечении локальной хондропатии, как имеющей высокую эффективность по стимулированию регенерации хрящевой ткани.

Список литературы / References:

1. Cheng K. Y. et al. Knee Cartilage Imaging . Clinics in Sports Medicine 2021;4(40):677-692.
2. Glyn-Jones S., Palmer A. J. R. Agricola, AJ Price, TL Vincent, H. Weinans . AJ Carr, Osteoarthritis. *Lancet*, 2015; 9991(386):376-87 Doi: 10.1016/S0140-6736(14)60802-3
3. Madry H., Kon E., Condello V., Peretti G.M., Steinwachs M., Seil R., Berruto M., Engebretsen L., Filardo G., Angele P. (2016) Early osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016;24:1753-1762 Doi: 10.1007/s00167-016-4068-3
4. Корнилов Н. Н., Денисов А. А. Парадигма раннего гонартроза: обзор современных возможностей диагностики и лечения (часть 1) //Терапевтический архив // 2017; 12-2(89):238-243. [Kornilov N. N., Denisov A. A. Paradigma rannego gonartroza: obzor sovremennykh voz-

mozhnostej diagnostiki i lecheniya (chast' 1) *Tерапевтический архив* 2017; 12-2(89):238-243]

5. Lamonaca F. et al. Measurement Techniques for the Objective Diagnosis of Primary Gonarthrosis //International Journal of Biology and Biomedical Engineering 2014;8:184-190

6. Клинические рекомендации – Гонартроз – 2021-2022-2023 (03.09.2021) – Утверждены Минздравом РФ [Klinicheskie rekomendacii – Gonartroz – 2021-2022-2023 (03.09.2021) – Utverzhdeny` Minzdravom RF]

7. Косарева М. А., Михайлов И. Н., Тишков Н. В. Современные принципы и подходы к лечению гонартроза //Современные проблемы науки и образования 2018;6:69-69 [Kosareva M. A., Mixajlov I. N., Tishkov N. V. Sovremennyy`e principy` i podxody` k lecheniyu gonartroza // Sovremennyy`e problemy` nauki i obrazovaniya 2018;6:69-69]

8. Матвеева Е. Л., Лунева С. Н. Исследование некоторых биохимических и клинических показателей гонартроза и их взаимосвязь // Успехи современного естествознания. – 2015;3:51-54 [Matveeva E. L., Luneva S. N. Issledovanie nekotory`x bioximicheskix i klinicheskix pokazatelej gonartroza i ix vzaimosvyaz` //Uspexi sovremennogo estestvoznaniya. – 2015;3:51-54]

9. Ajuied A. et al. Anterior cruciate ligament injury and radiologic progression of knee osteoarthritis: a systematic review and meta-analysis. *The American journal of sports medicine*, 2014;9(42):2242-2252 <https://doi.org/10.1177/0363546513508376>

10. Sanders T. L. et al. Is anterior cruciate ligament reconstruction effective in preventing secondary meniscal tears and osteoarthritis? *The American journal of sports medicine*, 2016;7(44):1699-1707 <https://doi.org/10.1177/0363546516634325>

11. Lie M. M. et al. What's the rate of knee osteoarthritis 10 years after anterior cruciate ligament injury? An updated systematic review. *British journal of sports medicine* 2019;18(53):1162-1167 <http://orcid.org/0000-0002-0547-9781>

12. Li H., Chen C., Chen S. Posttraumatic knee osteoarthritis following anterior cruciate ligament injury: Potential biochemical mediators of degenerative alteration and specific biochemical markers. *Biomedical reports*, 2015;2(3):147-151 <https://doi.org/10.3892/br.2014.404>

13. Risberg M. A. et al. Changes in knee osteoarthritis, symptoms, and function after anterior cruciate ligament reconstruction: a 20-year prospective follow-up study. *The American journal of sports medicine*, 2016;5(44):1215-1224 <https://doi.org/10.1177/0363546515626539>

14. Van Meer B. L. et al. Which determinants predict tibiofemoral and patellofemoral osteoarthritis after anterior cruciate ligament injury? A systematic review. *British journal of sports medicine*. 2015;15(49):975-983 <http://dx.doi.org/10.1136/bjsports-2013-093258>

15. Strobel M. J. Manual of arthroscopic surgery, vol. 1. *Springer Science & Business Media* 2013;672p. DOI:10.1007/978-3-540-87410-2

16. Богатов В. Б., Матвеева О. В., Петров А. Б. Влияние холодно-плазменной абляции на хрящ коленного сустава человека и экспериментального животного //Травматология и ортопедия России 2011;1:61-66 [Bogatov V. B., Matveeva O. V., Petrov A. B. Vliyanie holodno-plazmennoj ablacii na hryashch kolennogo sustava cheloveka

i eksperimental'nogo zhivotnogo *Travmatologiya i ortopediya Rossii* 2011;1:61-66]

17. Воздействие холодной плазмы на структуру суставного гиалинового хряща / Жуликов, А. Л., Маланин, Д. А., Новочадов, В. В., Черезов, Л. Л. //Волгоградский научно-медицинский журнал. 2008;2:29-32 [Zhulikov, A. L., Malanin, D. A., Novochadov, V. V., Cherezov, L. L. *Vozdejstvie holodnoj plazmy na strukturu sustavnogo gyalinovogo hryashcha Volgogradskij nauchno-medicinskij zhurnal* 2008;2:29-32]

18. Морфологические и морфометрические результаты бесконтактного воздействия холодной плазмы на суставной хрящ в эксперименте / Жуликов, А. Л., Маланин, Д. А., Новочадов, В. В., Горячев, А. Н. //Волгоградский научно-медицинский журнал 2010;2 (26);32-36 [Zhulikov, A. L., Malanin, D. A., Novochadov, V. V., Goryachev, A. N. *Morfologicheskie i morfometricheskie rezul'taty beskontaktnogo vozdejstviya holodnoj plazmy na sustavnoj hryashch v eksperimente Volgogradskij nauchno-medicinskij zhurnal* 2010;2 (26);32-36]

19. Изменение оптических свойств гиалинового хряща при нагреве лазерным излучением ближнего ИК диапазона/ Баграташвили, В. Н., Баграташвили, Н. В., Гапонцев, В. П., Махмутова, Г. Ш., Минаев, В. П., Омельченко, А. И., Цыпина, С. И. //Квантовая электроника 2001;6:534-538. DOI: <https://doi.org/10.1070/QE2001v031n06A-BEH001996> [Bagratashvili, V. N., Bagratashvili, N. V., Gaponcev, V. P., Mahmutova, G. SH., Minaev, V. P., Omel'chenko, A. I., Cypina, S. I. *Izmenenie opticheskikh svoystv gyalinovogo hryashcha pri nagreve lazernym izlucheniem blizhnego IK diapazona* [Changing the optical properties of hyaline cartilage when heated by near-IR laser radiation]. *Kvantovaya elektronika* 2001;6:534-538. DOI: <https://doi.org/10.1070/QE2001v031n06A-BEH001996>]

20. Оптические свойства реберного хряща и их изменения в процессе неразрушающего воздействия лазерного излучения с длиной волны 1.56 мкм/ Южаков, А. В., Свиридов, А. П., Щербаков, Е. М., Баум, О. И., Соболев, Э. Н. //Квантовая электроника. 2014. Т. 44. № 1. С. 65-68. <https://doi.org/10.1070/QE2014v044n01ABEH015343>

21. Баграташвили Н. В., Кондюрин А. В., Свиридов А. П. Просветление хрящевой ткани на длине волны 1560 им при механической нагрузке и лазерном нагреве //Альманах клинической медицины. 2008;1(17):13-16 [Bagratashvili N. V., Kondyurin A. V., Sviridov A. P. *Prosvetlenie hryashchevoj tkani na dline volny 1560 im pri mekhanicheskoy nagruzke i lazernom nagreve Almanah klinicheskoy mediciny*, 2008;1(17):13-16]

22. Лазерная обработка хондромалиции суставного хряща / А. В. Лычагин. и [др.]. //Лазерная медицина. 2022;4(25): 9-15 DOI: <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-4-9-15> [A. V. Lychagin et al. *Lazernaya obrabotka hondromalyacii sustavnogo hryashcha Lazernaya* 2022;4(25): 9-15. Doi; <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-4-9-15>]

23. Sobol E. N. et al. Laser-induced regeneration of cartilage. *Journal of Biomedical Optics*, 2011; 8(6): 080902. Doi:10.1117/1.3614565

24. Sobol E. et al. Laser regeneration of spine discs cartilage: mechanism, in-vivo study and clinical applications. *Proceedings of Light-Activated Tissue Regeneration and Therapy Conference*. Springer, Boston, MA, 2008; 259-266. Doi: 10.1007/978-0-387-71809-5_24

25. Лазерная инженерия хрящей / Баграташвили В. Н. [и др.]. Москва. 2006. 448с. [Bagratashvili V. N. et al. *Lazernaya inzheneriya hryashchej* Moscow, 2006. 448 p.]

26. Karu T. Mitochondrial mechanisms of photobiomodulation in context of new data about multiple roles of ATP. 2010. DOI: <https://doi.org/10.1089/pho.2010.2789>

27. Amaroli A. et al. An 808-nm diode laser with a flat-top hand-piece positively photobiomodulates mitochondria activities. *Photomedicine and laser surgery*, 2016;11(34):564-571 DOI: <https://doi.org/10.1089/pho.2015.4035>

28. Pires-Oliveira D. A. A. et al. Laser biomodulation on L 929 cell culture. *Photomedicine and laser surgery*. 2010, vol;2(28):167-171 DOI: <https://doi.org/10.1089/pho.2008.2269>

29. AlGhamdi K. M., Kumar A., Moussa N. A. Low-level laser therapy: a useful technique for enhancing the proliferation of various cultured cells. *Lasers in medical science*, 2012;1(27): 237-249 DOI: 10.1007/s10103-011-0885-2

30. de Freitas L. F., Hamblin M. R. Proposed mechanisms of photobiomodulation or low-level light therapy. *IEEE Journal of selected topics in quantum electronics*, 2016;3(22):348-364. DOI: 10.1109/JSTQE.2016.2561201

31. Чудновский В. М., Юсупов В. И. Некоторые биологические модели и физические механизмы фотомедицины //Бюллетень физиологии и патологии дыхания. 2001;10:60-70 [Chudnovskij V. M., YUsupov V. I. *Nekotorye biologicheskie modeli i fizicheskie mekhanizmy fotomediciny Byulleten' fiziologii i patologii dyhaniya* 2001;10:60-70]

32. Hamblin M. R. Mechanisms and mitochondrial redox signaling in photobiomodulation *Photochemistry and photobiology*, 2018;2(94): 199-212 DOI: 10.1111/php.12864

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Иванников Сергей Викторович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: s.ivanikov@icloud.com

Сурин Владимир Владимирович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: rassvet_1612@mail.ru

Петров Павел Игоревич – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Жарова Татьяна Альбертовна – доктор медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: zharova-mma@yandex.ru

Найманн Андрей Игоревич – кандидат медицинских наук, врач травматолог ортопед, стационар кратковременного пребывания №1 ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина ДЗ, e-mail: naimann.a@mail.ru

Ян Яньбинь – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: yanbin.yang@bk.ru

Бобров Дмитрий Сергеевич – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: dr.bobroff@gmail.com

Гаркави Андрей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: avgar22@yandex.ru

Вязанкин Иван Антонович – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: vzvzvzvan@mail.ru.

Гончарук Юлия Романовна – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru

Липина марина Михайловна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: lipina_m_m@staff.sechenov.ru

Калинский Евгений Борисович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет) e-mail: kalinsky_e_b@staff.sechenov.ru

Заров Алексей Юрьевич – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: zarow@mail.ru

Автор, ответственный за переписку:

Сурин Владимир Владимирович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Ул. Ватутина, Д. 1, г. Химки, 141402, Россия, e-mail: rassvet_1612@mail.ru

Information about authors:

Lychagin Alexey Vladimirovich – MD, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Ivannikov Sergey Viktorovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: s.ivannikov@icloud.com

Surin Vladimir Vladimirovich – Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: rassvet_1612@mail.ru

Petrov Pavel Igorevich – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Zharova Tatiana Albertovna – MD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: zharova-mma@yandex.ru

Naimann Andrey Igorevich – PhD, orthopedic traumatologist, short-stay hospital No. 1 of the State Medical Institution named after S.P. Botkin DZM, Lenskaya Str., 28, Moscow, 129327, Russia, e-mail: naimann.a@mail.ru

Yang Yanbin – Post-graduate student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: yanbin.yang@bk.ru

Bobrov Dmitry Sergeevich – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: dr.bobroff@gmail.com

Garkavi Andrey Vladimirovich – MD, Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: avgar22@yandex.ru

Vyazankin Ivan Antonovich – Assistant Professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: vzvzvzvan@mail.ru

Goncharuk Yulia Romanovna – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru

Lipina Marina Mikhailovna – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: lipina_m_m@staff.sechenov.ru

Kalinskiy Evgeny Borisovich – PhD, Associate Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry

of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: kalinsky_e_b@staff.sechenov.ru

Alexey Yurievich Zarov – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: zarow@mail.ru

Corresponding author:

Surin Vladimir Vladimirovich – Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 1 Vatutina Str., Khimki, 141402, Russia, e-mail: rassvet_1612@mail.ru

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-47-55>

УДК 617-7

© А.В. Лычагин, В.И. Юсупов, В.В. Сурин, С.В. Иванников, П.И. Петров, О.И. Байцаева, Т.К. Маликова, Н.В. Коваленко, Е.Д. Шевелкина, А.Ю. Заров, 2023

Оригинальная статья / Original article



ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СУСТАВНОМ ХРЯЩЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОЧАГА ХОНДРОПАТИИ

А.В. ЛЫЧАГИН¹, В.И. ЮСУПОВ², В.В. СУРИН¹, С.В. ИВАННИКОВ¹, П.И. ПЕТРОВ¹, О.И. БАЙЦАЕВА³, Т.К. МАЛИКОВА⁴, Н.В. КОВАЛЕНКО⁴, Е.Д. ШЕВЕЛКИНА⁴, А.Ю. ЗАРОВ¹

¹ Кафедра травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 127994, Москва, Россия

² Институт фотонных технологий ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН, 119333, г. Москва, Россия

³ Кафедра лазерной физики, национального исследовательского ядерного университета МИФИ, 115409, Москва, Россия

⁴ НТО «ИРЭ-Полюс», 129281 Москва, Россия

Аннотация:

Обоснование: Остеоартроз - одно из наиболее распространённых заболеваний, приводящих к потере трудоспособности. Артроскопическая лазерная обработка суставного хряща является эффективным и перспективным методом лечения остеоартроза, однако её методика может быть улучшена за счёт результатов данного исследования.

Цель исследования: экспериментальная оценка коэффициентов поглощения и рассеяния лазерных излучений с длинами волн $\lambda=1.55$ мкм и $\lambda=0.97$ мкм в тканях суставного хряща и установления роли этих излучений в механизме лазерного воздействия при лечении хондропатии.

Материалы и методы: Из образцов хрящевой ткани свиньи были изготовлены тонкие срезы толщиной 100 мкм и 200 мкм. Срезы подвергались воздействию лазерных излучений с длинами волн $\lambda=1.55$ мкм и $\lambda=0.97$ мкм. Для измерения оптических свойств образцов был использован «метод подвижных интегрирующих сфер».

Результаты: При прохождении через хрящевую ткань, коэффициент поглощения для излучения $\lambda=0.97$ мкм составил $0,14 \pm 0,02$ мм⁻¹ для излучения $\lambda=1,55$ мкм - $0,8 \pm 0,1$ мм⁻¹. Коэффициент рассеяния для излучений с $\lambda=0.97$ и с $\lambda=1.55$ составил 19 ± 2 мм⁻¹ и $3,7 \pm 0,4$ мм⁻¹ соответственно.

Заключение: 1) При прохождении через толщу суставного хряща коэффициент поглощения (μ_a) у лазерного излучения с $\lambda=0,97$ мкм значительно ниже чем у лазерного излучения с $\lambda=1,55$ мкм. 2) При прохождении через толщу суставного хряща коэффициент рассеяния (μ_s) у лазерного излучения с $\lambda=0,97$ мкм значительно выше чем у лазерного излучения с $\lambda=1,55$ мкм. При лазерной обработке очага хондропатии сочетанным излучением $\lambda=0,97$ мкм + $\lambda=1,55$ мкм, излучение $\lambda=1,55$ мкм «сглаживает» поверхность суставного хряща в очаге хондромалиции позволяя достигать восстановления структурности суставной поверхности, а параметры излучения $\lambda=0,97$ мкм в толще суставного хряща позволяют запустить механизмы фотобиомодуляции в суставном хряще и подлежащей субхондральной кости.

Ключевые слова: лазер, хрящ, регенерация, хондропатия, остеоперфорация, абляция

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

Финансирование: Работа выполнена при частичной поддержке Министерства науки и высшего образования в рамках выполнения работ по Государственному заданию ФНИЦ «Кристаллография и фотоника» РАН в части развития медицинских технологий.

Для цитирования: Лычагин А.В., Юсупов В.И., Сурин В.В., Иванников С.В., Петров П.И., Байцаева О.И., Маликова Т.К., Коваленко Н.В., Шевелкина Е.Д., Заров А.Ю., ПОГЛОЩЕНИЕ И РАССЕЯНИЕ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ В СУСТАВНОМ ХРЯЩЕ ПРИ ОБРАБОТКЕ ОЧАГА ХОНДРОПАТИИ. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 47–55 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-47-55>

ABSORPTION AND SCATTERING OF LASER RADIATION IN ARTICULAR CARTILAGE DURING THE TREATMENT OF THE FOCUS OF CHONDROPATHY

ALEXEY V. LYCHAGIN¹, VLADIMIR I. YUSUPOV², VLADIMIR V. SURIN¹, SERGEY V. IVANNIKOV¹, PAVEL I. PETROV¹, OLGA I. BAITSAEVA³, TATIANA K. MALIKOVA⁴, NIKITA V. KOVALENKO⁴, EKATERINA D. SHEVELKINA⁴, ALEXEY Y. ZAROV¹

¹ Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 127994, Moscow, Russia

² Institute of Photon Technologies of the Russian Academy of Sciences "Crystallography and Photonics", Moscow, Russia

³Department of Laser Physics, National Research Nuclear University MEPhI, 115409, Moscow, Russia

⁴NTO "IRE-Polyus", 129281 Moscow, Russia

Abstract

Justification: Osteoarthritis is one of the most common diseases that lead to disability. Arthroscopic laser treatment of articular cartilage is an effective and promising method of treating osteoarthritis, but its technique can be improved due to the results of this study.

Purpose: to experimentally evaluate the absorption and scattering coefficients of laser radiation with wavelengths $\lambda=1.55$ microns and $\lambda=0.97$ microns in articular cartilage tissues and to establish the role of these radiations in the mechanism of laser exposure in the treatment of chondropathy.

Materials and methods: Thin slices with a thickness of 100 microns and 200 microns were made from samples of pig cartilage tissue. The slices were exposed to laser radiation with wavelengths $\lambda=1.55$ microns and $\lambda=0.97$ microns. The "method of mobile integrating spheres" was used to measure the optical properties of images.

Results: When passing through cartilage tissue, the absorption coefficient for radiation $\lambda=0.97$ microns was $0.14 \pm 0.02 \text{ mm}^{-1}$ for radiation $\lambda=1.55$ microns - $0.8 \pm 0.1 \text{ mm}^{-1}$. The scattering coefficient for radiations with $\lambda=0.97$ and with $\lambda=1.55$ was $19 \pm 2 \text{ mm}^{-1}$ and $3.7 \pm 0.4 \text{ mm}^{-1}$, respectively.

Conclusion: 1) When passing through the thickness of articular cartilage, the absorption coefficient (μ_a) of laser radiation with $\lambda = 0.97$ microns is significantly lower than that of laser radiation with $\lambda = 1.55$ microns. 2) When passing through the thickness of articular cartilage, the scattering coefficient (μ_s) of laser radiation with $\lambda = 0.97$ microns is significantly higher than that of laser radiation with $\lambda = 1.55$ microns. With laser treatment of the focus of chondropathy with combined radiation $\lambda=0.97$ microns + $\lambda=1.55$ microns, radiation $\lambda=1.55$ microns "smoothes" the surface of articular cartilage in the focus of chondromalacia, allowing to achieve restoration of the structure of the articular surface, and the radiation parameters $\lambda=0.97$ microns in the thickness of articular cartilage allow to trigger photobiomodulation mechanisms in the articular cartilage and the underlying subchondral bone.

Keywords: laser, cartilage, regeneration, chondropathy, osteoperforation, ablation, chondronecrosis, arthrosis, laser treatment, knee joint, photobiomodulation

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: The work was partially supported by the Ministry of Science and Higher Education as part of the work on the State assignment of the Federal Research Institute "Crystallography and Photonics" of the Russian Academy of Sciences in terms of the development of medical technologies.

For citation: Lychagin A.V., Vladimir I.Y., Surin V.V., Ivannikov S.V., Petrov P.I., Batsayeva O.I., Malikova T.K., Kovalenko N.V., Shevelkina E.D., Zarov A.U., ABSORPTION AND SCATTERING OF LASER RADIATION IN ARTICULAR CARTILAGE DURING THE TREATMENT OF THE FOCUS OF CHONDROPATHY. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023 № 1. pp. 47–55 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-47-55>

Введение

Остеоартроз - болезнь, проявляющееся повреждением суставного хряща, является одним из наиболее распространённых заболеваний, поражающая до 50 % взрослого трудоспособного населения старше 50 лет. Он выражается в появлении на поверхности хряща очагов хондропатии - зон локальной деструкции суставного хряща [1, 2, 3]. Во время артроскопических операций у пациентов с артрозом может выполняться лазерная обработка очагов хондропатии. Лазерная обработка имеет ряд преимуществ по сравнению с другими типами воздействия, такими как холодноплазменная абляция и механическое воздействие [4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21]. В первую очередь такими преимуществами являются:

- дозированность и высокая точность воздействия, позволяющие свести вероятность повреждений хряща вне обрабатываемой области к минимуму;
- стимуляция регенерации хрящевой ткани в очаге хондромалиции по механизмам механобиологии.

Авторами был проведен ряд экспериментов по изучению воздействия сочетанного двухволнового излучения $\lambda=0,97$ мкм + $\lambda=1,55$ мкм на хрящ [22]. Оказалось, что при таком сочетанном двухволновом воздействии необходимый эффект («сглаживание» поверхности хряща) достигается при меньшей суммарной мощности. Было установлено, что в среде 0,9% рас-

твора NaCl эффективное «сглаживание» поверхности хряща при минимальном термическом воздействии на окружающие ткани происходит при использовании двухволнового излучения 1,55 мкм / 5 Вт и 0,97 мкм / 3 Вт в импульсно-периодическом режиме (импульс/пауза=100 мс/50 мс) с расстояния 2 мм в течении 2 с [22]. Также было показано, что наибольший вклад в нагрев хрящевой ткани вносит излучение $\lambda=1.55$ мкм, поглощающееся в поверхностных областях, тогда как излучение $\lambda=0.97$ мкм поглощается слабее и проникает в более глубокие слои [22].

Для отработки этой и подобных лазерных технологий, для уточнения механизма действия лазерного излучения на биоткани, а также для проведения моделирования необходимы данные об оптических характеристиках суставного хряща в используемых спектральных диапазонах. Целью данной работы являются экспериментальная оценка коэффициентов поглощения и рассеяния лазерных излучений с длинами волн $\lambda=1.55$ мкм и $\lambda=0.97$ мкм в тканях суставного хряща и установления роли этих излучений в механизме лазерного воздействия при лечении хондропатии.

Материалы и методы:

В качестве объектов воздействия использовались образцы суставного хряща свиньи. Для изготовления тонких срезов об-

разцов хряща использовался криомикротом Cryostat Microtome CM3550.

При помощи криомикротомы из образцов хрящевой ткани свиной были изготовлены тонкие срезы толщиной 100 мкм и 200 мкм. Срезы были помещены между 2 предметными стёклами, смоченными изотоническим 0,9 % раствором NaCl.

Для измерения оптических свойств образцов был использован «метод подвижных интегрирующих сфер» [25]. По сравнению с классическим методом при котором сферы фиксируются вплотную к образцу [27, 28], данный метод позволяет значительно повысить точность определения оптических свойств, что обусловлено увеличением количества экспериментальных данных при различных положениях образца [29].

Фотография и блок-схема установки представлены на Рисунке 1.

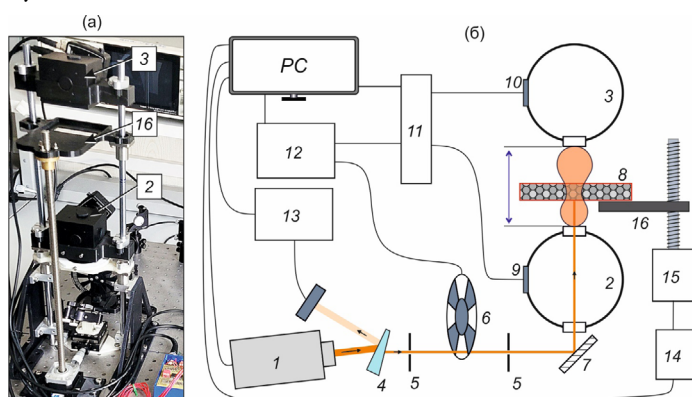


Рисунок 1. Схема установки для оценки оптических характеристик ткани. а - фрагмент общего вида установки для определения оптических характеристик образцов биоткани; б - схема установки. 1 - лазерный источник; 2, 3 - интегрирующие сферы; 4 - клин; 5 - диафрагмы; 6 - чоппер; 7 - зеркало; 8 - образец биоткани; 9, 10 - фотодетекторы; 11 - мультиплексор; 12 - синхронный детектор; 13 - измеритель мощности; 14 - плата управления; 15 - шаговый двигатель; 16 - платформа.

Основу установки составляют лазерный источник 1 FiberLase CR (НТО «ИРЭ-Полус», Россия) и две интегрирующие сферы (2 и 3) Thorlabs IS200-4 диаметром 8 см с входными портами 12,5 мм. Излучение от источника 1 попадало на клин 4, который отводил часть излучения на измеритель мощности 13, необходимый для контроля мощности лазера. Проходящее через клин излучение диафрагмируется до диаметра 1-2 мм на диафрагмах 5, а также модулировалось чоппером (Thorlabs MC2000B-EC) 6 на частоте 130 Гц. После чоппера излучение с помощью зеркала 7 перенаправлялось во входной порт нижней интегрирующей сферы 2. Пройдя через образец 8, часть излучения, попадало в верхнюю сферу 3. Каждая сфера была оснащена фотодетектором Thorlabs PDA10CS2 (9 и 10), сигнал с которых регистрировался с помощью синхронного детектора,

выделяющего сигнал на частоте модуляции излучения (12). Применения метода синхронного детектирования при измерении сигналов с фотодетекторов способствует значительному увеличению точности ввиду исключения влияния электрических и оптических шумов, возникающих вне частоты модуляции. Поочередное считывания показаний детекторов осуществлялось с помощью мультиплексора 11.

В процессе измерения образец располагался на подвижной платформе 16 и с помощью шагового двигателя 15 обеспечивалось его передвижение в пространстве между сферами. Управление ходом эксперимента осуществлялось с помощью компьютера (PC).

В ходе эксперимента измерялись зависимости $\bar{P}_T(L_T)$ и $\bar{P}_R(L_R)$, где $\bar{P}_T$ и $\bar{P}_R$ – мощности регистрируемые детекторами верхней и нижней интегрирующих сфер соответственно, L_T и L_R – расстояния от образца до ближнего порта верхней и нижней сфер соответственно [25].

Полученные значения мощностей нормировались на значения мощности, регистрируемой в отсутствие образца каждой сферой в отдельности. Измеренные нормированные зависимости $P_T(L_T)$ и $P_R(L_R)$ являются монотонно убывающими функциями. На больших расстояниях функция $P_T(L_T)$ стремится к некоторому ненулевому значению, которое соответствует значению коллимированного пропускания.

Оптические свойства биологических тканей определялись при совмещении этих результатов с результатами математического моделирования с использованием численного метода Монте-Карло, подробно описанного в работе [26].

Метод подвижных интегрирующих сфер, представленный в работе, позволяет значительно повысить точность определения оптических свойств. По сравнению с классическим методом, при котором сферы фиксируются вплотную к образцу [27, 28], в данном методе повышение точности обусловлено увеличением количества экспериментальных данных при различных положениях образца [29].

Теоретическая часть:

Описание процессов взаимодействия биологических тканей с лазерным излучением требует знания их оптических свойств. К основным оптическим параметрам биологических материалов следует отнести показатель преломления $n(\vec{s}, \lambda)$ коэффициенты поглощения $\mu_a(\vec{s}, \lambda)$ и рассеяния $\mu_s(\vec{s}, \lambda)$, фазовую функцию рассеяния $p(\vec{s}, \vec{s}', \lambda, \lambda')$, а также параметр анизотропии рассеяния $g(\vec{s}, \lambda)$ (средний косинус угла между направлением распространения до и после рассеяния $\cos\theta$) которые зависят от длины волны λ и направления распространения $\vec{s}$.

Распространение света в изотропной среде в отсутствие неупругого рассеяния может быть описано уравнением переноса [23]:

$$\frac{1}{c} \frac{\partial I(\vec{r}, \vec{s}, t)}{\partial t} = -(\vec{s} \nabla I(\vec{r}, \vec{s}, t)) - (\mu_a + \mu_s) I(\vec{r}, \vec{s}, t) + \mu_s \int_{4\pi} p(\vec{s}, \vec{s}') I(\vec{r}, \vec{s}, t) d\omega' + \varepsilon(\vec{r}, \vec{s}, t) \quad (1)$$

где $I(\vec{r}, \vec{s}, t)$ – лучевая интенсивность [$\text{Вт м}^{-2} \text{ср}^{-1}$] в точке, соответствующей радиус-вектору $\vec{r}$, μ_a – коэффициент поглощения, μ_s – коэффициент рассеяния, $p(\vec{s}, \vec{s}')$ – фазовая функция рассеяния, $\varepsilon(\vec{r}, \vec{s}, t)$ – функция описывающая распределение источников света, $d\omega'$ – телесный угол в направлении $\vec{s}'$. Фазовая функция $p(\vec{s}, \vec{s}')$ описывает рассеивающие свойства среды и представляет собой функцию плотности вероятности для рассеяния в направлении $\vec{s}'$ фотона, изначально движущегося в направлении $\vec{s}$, т.е. характеризует элементарный акт рассеяния. Если рассеяние симметрично относительно направления распространения падающей волны, тогда фазовая функция зависит только от угла θ между направлениями $\vec{s}$ и $\vec{s}'$, т.е. $p(\vec{s}, \vec{s}') = p(\theta)$.

Предположение о случайном распределении рассеивателей в среде означает отсутствие в структуре биоткани пространственной корреляции, что приводит к нормировке:

$$\int_0^\pi p(\theta) 2\pi \sin\theta d\theta = 1 \quad (2)$$

Во многих случаях фазовая функция хорошо аппроксимируется функцией Хенли-Гринштейна [27]:

$$p(\theta) = \frac{1}{4\pi} \cdot \frac{1-g^2}{(1+g^2-2g\cos\theta)^{3/2}} \quad (3)$$

$$g = \langle \cos\theta \rangle = \int_0^\pi p(\theta) \cdot 2\pi \sin\theta d\theta$$

g изменяется от 0 до 1: соответствует случаю изотропного (рэлеевского) рассеяния, $g=1$ – полному рассеянию вперед (рассеянию Ми на крупных частицах).

Стандартный набор измеренных значений состоит из полного пропускания T_t^m , диффузного отражения и коэффициента коллимированного пропускания T_c^m . Верхний индекс m (измеренный) указывает на эмпирическое происхождение используемых значений. Первые два измерения проводятся при помощи установки содержащей одну или две интегрирующие сферы. Конфигурация установки схематично показана на рис. 1а. Измеренные значения T_t^m и R_d^m преобразуются в действительные значения полного пропускания T_t и диффузного отражения R_d с учетом полученных для интегрирующей сферы коррекций [24].

После получения экспериментальных данных и их коррекции решается система уравнений [24]:

$$\begin{aligned} T_c^c(c, g, \tau) - T_c^m &= 0 \\ T_t^c(c, g, \tau) - T_t &= 0 \\ R_d^c(c, g, \tau) - R_d &= 0 \end{aligned} \quad (4)$$

где $\tau = \mu_t d_s$ это оптическая толщина образца, d_s – геометрическая толщина образца, $c = \mu_s / \mu_t$ – альбеда (характеристика диффуз-

ной отражательной способности поверхности), и $\mu_t = \mu_a + \mu_s$ – полный (интегральный) коэффициент ослабления. Индекс c (вычисленный, прогнозируемый, аналитический) указывает на то, что значения вычисляются в соответствии с моделью распространения света в среде. Эта система нелинейна относительно оптических свойств τ , c и g . Обозначим левую часть системы (4) за $\vec{F} = (F_1, F_2, F_3)$. Если вклада рассеянного света в измеряемое коллимированное пропускание нет, оптическая толщина τ может быть оценена в соответствии с законом Бера и система уравнений (4) уменьшится до двух уравнений для c и g . Если, однако, этот вклад значителен, все 3 уравнения решаются совместно.

С целью исключения случайных и инструментальных погрешностей и повышения точности моделирования использовался комбинированный подход, включавший в себя как стандартные измерения при помощи интегрирующих сфер, так и гониометрические измерения [25].

Измерения для излучения с $\lambda=0,97$ мкм проводились на 3 образцах толщиной 100 мкм и одного образца толщиной 200 мкм.

Измерения для излучения с $\lambda=1,55$ мкм проводились на 2 образцах толщиной 100 мкм и 200 мкм соответственно.

Результаты:

Измерения оптических параметров с источником 0,97 мкм

Графики зависимостей нормированных мощностей, регистрируемых верхней (пропускание) и нижней (отражение) сферами от положения образцов представлены на рис. 2 и 3.

На графике коэффициента пропускания для образцов 100 мкм наблюдается разброс $\sim 10\%$, который, как мы полагаем, связан с неоднородностью свойств образцов, и наличием в препарате пузырей.

Из рис. 2 видно, что для образцов ткани толщиной 100 мкм зависимости коэффициента полного пропускания от положения образца между сферами близки к линейным.

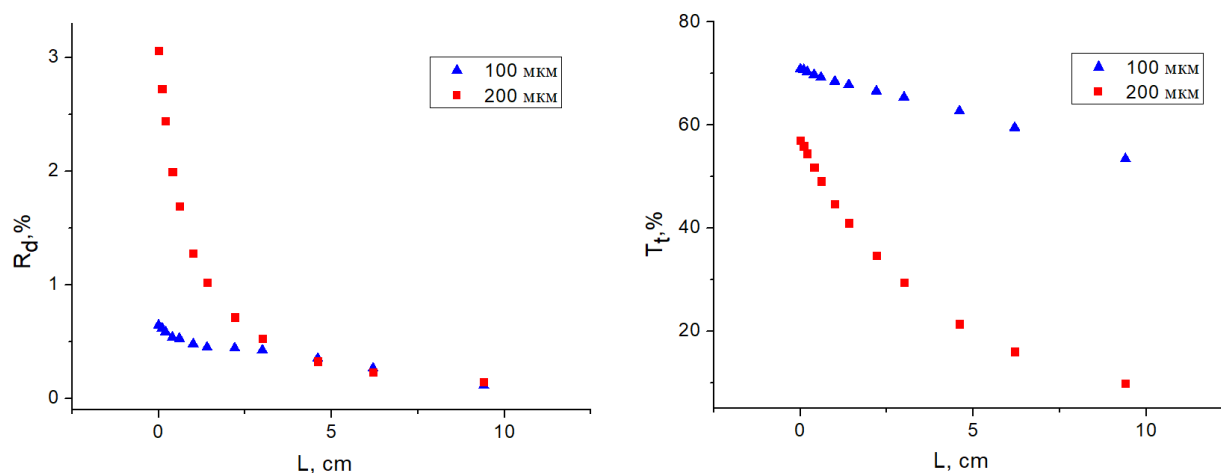


Рисунок 2. Зависимости нормированных мощностей для пропускания и диффузного отражения для срезов хрящевой ткани толщиной 100 и 200 мкм в зависимости от положения образца между сферами.

На графике коэффициента пропускания для образцов 100 мкм наблюдается разброс $\sim 10\%$, который, как мы полагаем, связан с неоднородностью свойств образцов, и наличием в препарате пузырей.

Из рис. 2 видно, что для образцов ткани толщиной 100 мкм зависимости коэффициента полного пропускания от положения образца между сферами близки к линейным.

Измерения оптических параметров с источником 1,55 мкм

Данные зависимостей нормированных мощностей, регистрируемых верхней (пропускание) и нижней (отражение) сферами от положения образца представлены на рис. 3.

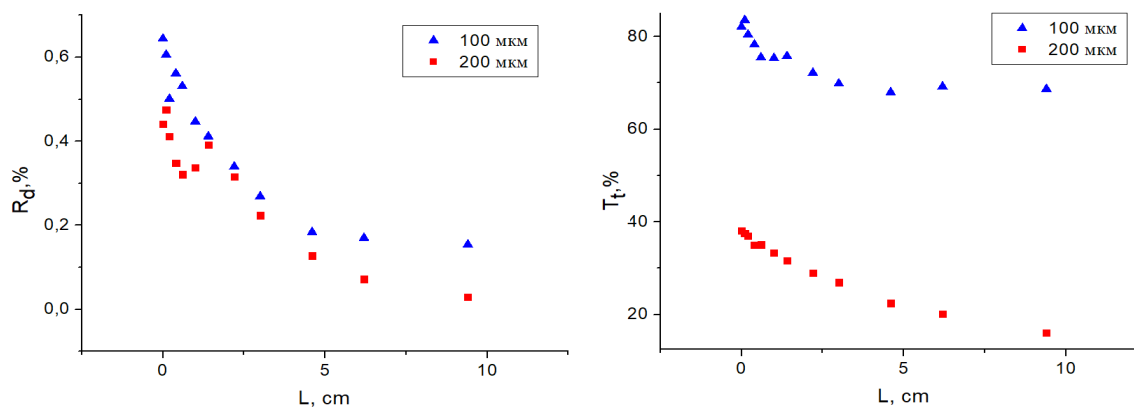


Рисунок 3. Зависимости нормированных мощностей для пропускания () и диффузного отражения () для срезов хрящевой ткани толщиной 100 и 200 мкм в зависимости от положения образца между сферами

Следует отметить, что при измерении на длине волны 1550 нм ввиду меньшей чувствительности используемых фотодетекторов значительно возрастает погрешность.

Для зависимостей коэффициента полного пропускания наблюдается хорошая повторяемость, что свидетельствует о корректности получаемых данных. Для зависимостей коэффициента диффузного отражения (обратного рассеяния) ошибки измерения становятся довольно значительными, т.к. уровень

обратного рассеяния довольно низкий. Следует отметить, что в регистрируемый сигнал вклад вносит также засветка и шум фотодетектора.

Обсуждение:

Ниже, на рисунке 4, приведены графики зависимостей для излучения с $\lambda=0,97$ мкм, рассчитанных методом Монте-Карло, с

использованием оптических параметров, приведенных в табл. 1 для образца толщиной 200 мкм. Расчет параметров проводился

обратным методом Монте-Карло, в качестве функции, описывающей акт рассеяния, использовалась функция Хеньи-Гринштейна.

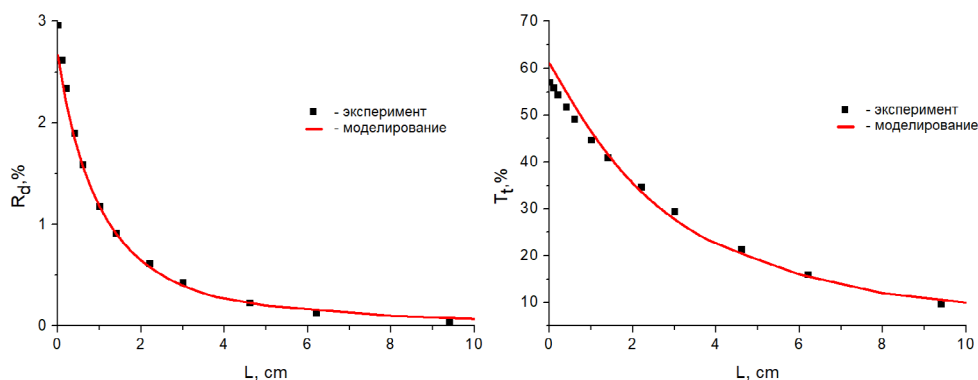


Рисунок 4. Зависимость нормированного сигнала регистрируемой мощности излучения с $\lambda=0,97$ мкм от положения образца ($d = 200$ мкм) слева - отражение, справа - пропускание.

На рисунке 5 приведены графики зависимостей для излучения с $\lambda=1,55$ мкм, рассчитанных методом Монте-Карло, с использованием оптических параметров, приведенных в таблице 2. Расчет параметров проводился обратным методом Монте-Карло, в качестве функции, описывающей акт рассеяния, использовалась функция Хеньи-Гринштейна

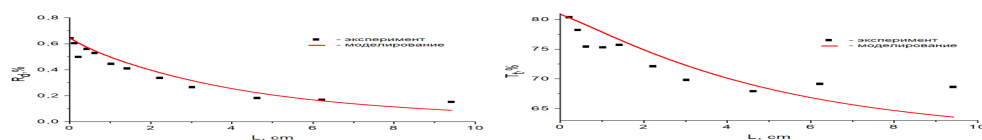


Рисунок 5. Зависимость нормированного сигнала регистрируемой мощности излучения с $\lambda=1,55$ мкм от положения образца ($d = 100$ мкм) слева - отражение, справа - пропускание.

Таблица 1

Оптические характеристики хрящевой ткани для длины волны 0,97 мкм и 1,55 мкм.

Параметр \ Длина волны	$\lambda=0,97$ мкм	$\lambda=1,55$ мкм
Коэффициент поглощения ($\mu_a, \text{ мм}^{-1}$)	$0,14 \pm 0,02$	$0,8 \pm 0,1$
Коэффициент рассеяния ($\mu_s, \text{ мм}^{-1}$)	19 ± 2	$3,7 \pm 0,4$
Фактор анизотропии рассеяния (g)	$0,95 \pm 0,01$	$0,9 \pm 0,01$

Используя данные, представленные в таблице 1, легко оценить, как изменяется интенсивность падающего излучения с глуби-

ной при проникновении в хрящевую ткань. Хорошо известно, что интенсивность света в ткани уменьшается с увеличением расстояния x от источника по экспоненциальному закону:

$$I = I_0 e^{-\frac{x}{\delta}}, \quad \text{где } \delta = \frac{1}{\sqrt{3\mu_a(\mu_a + \mu'_s)}} \text{ и } \mu'_s = \mu_s(1 - g). \quad (5)$$

На рисунке 6 показаны зависимости интенсивности лазерных излучений с $\lambda=0,97$ мкм и $\lambda=1,55$ мкм с глубиной, полученные из соотношения (5). Видно, что интенсивность более длинноволнового излучения спадает значительно быстрее. Для $\lambda=1,55$ мкм интенсивность уменьшается в два раза по сравнению с начальной уже на глубине ~ 0.4 мм, а для $\lambda=0,97$ мкм – на глубине ~ 1 мм. При этом на глубине 1

мм интенсивность излучения с $\lambda = 1,55$ мкм составляет менее 20% от исходной.

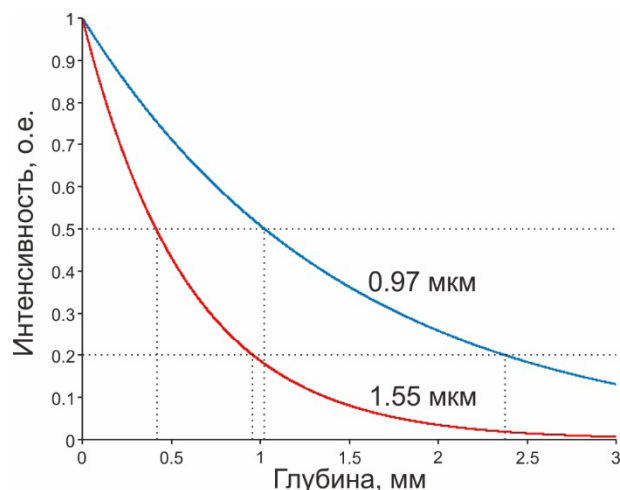


Рисунок 6. Рассчитанные по (5) зависимости интенсивности лазерных излучений с $\lambda = 0,97$ мкм и $\lambda = 1,55$ мкм с глубиной проникновения в хрящевую ткань.

Таким образом при прохождении через толщу хрящевой ткани излучение с длиной волны 0,97 мкм преимущественно не поглощается, и, рассеиваясь, проникает вглубь хряща. При этом мощность постепенно понижается до параметров низкоинтенсивного лазерного излучения, которое, мы полагаем, способно индуцировать регенераторные процессы в хряще и субхондральной кости (куда также проникает) по механизму фотобиомодуляции [30, 31]. В свою очередь, излучение с длиной волны 1,55 мкм при прохождении через толщу хрящевой ткани преимущественно поглощается в поверхностных отделах, лишь незначительно рассеиваясь и незначительно проникая вглубь хряща.

Подобная закономерность наблюдается также и в работах других авторов [32, 33, 34, 35], хотя числовые значения μ_a и μ_s расходятся в отдельных работах, что можно объяснить различиями в условиях экспериментов, качестве образцов, а также методах измерения.

Выводы:

Данный эксперимент позволил нам ответить на возникшие ранее в рамках более крупного исследования [22] вопросы. Были определены коэффициенты поглощения и рассеяния лазерных излучений с длинами волн $\lambda = 1,55$ мкм и $\lambda = 0,97$ мкм и на основании полученных данных сделаны следующие выводы:

1) При прохождении через толщу суставного хряща коэффициент поглощения (μ_a) у лазерного излучения с $\lambda = 0,97$ мкм значительно ниже чем у лазерного излучения с $\lambda = 1,55$ мкм.

2) При прохождении через толщу суставного хряща коэффициент рассеяния (μ_s) у лазерного излучения с $\lambda = 0,97$ мкм значительно выше чем у лазерного излучения с $\lambda = 1,55$ мкм.

3) При лазерной обработке очага хондропатии сочетанным излучением $\lambda = 0,97$ мкм + $\lambda = 1,55$ мкм, излучение $\lambda = 1,55$ мкм «сглаживает» поверхность суставного хряща в очаге хондромалиции позволяя достигать восстановления структурности суставной поверхности, а параметры излучения $\lambda = 0,97$ мкм в толще суставного хряща позволяют запустить механизмы фотобиомодуляции в суставном хряще и подлежащей субхондральной кости.

Список литературы / References:

1. Glyn-Jones S., Palmer A. J. R. Agricola, AJ Price, TL Vincent, H. Weinans . AJ Carr, Osteoarthritis. *Lance.*, 2015; 386(9991): 376-87 Doi: 10.1016/S0140-6736(14)60802-3
2. Madry H., Kon E., Condello V., Peretti G.M., Steinwachs M., Seil R., Berruto M., Engebretsen L., Filardo G., Angele P. (2016) Early osteoarthritis of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*, 2016;24:1753-1762 Doi: 10.1007/s00167-016-4068-3
3. Корнилов Н. Н., Денисов А. А. Парадигма раннего гонартроза: обзор современных возможностей диагностики и лечения (часть 1) //Терапевтический архив // 2017; 12-2(89):238-243. [Kornilov N. N., Denisov A. A. Paradigma rannego gonartroza: obzor sovremennyh vozmozhnostej diagnostiki i lecheniya (chast' 1) Terapevticheskij arhiv 2017; 12-2(89):238-243]
4. Иванников С. В Лазерная артроскопическая хирургия (Дегенеративно-дистрофические поражения коленного сустава). Москва, 2001; 19 с. [Ivannikov S. V. Lazernaya artroskopicheskaya hirurgiya (Degenerativno-distroficheskie porazheniya kolennogo sustava) Moscow, 2001; pp. 19]
5. Перспективы лечения дискогенных компрессионных форм пояснично-крестцовых радикулитов с помощью пункционных неэндоскопических лазерных операций // Сандлер Б. И. [и др.]. Владивосток. 2004. 181 с. [Sandler B. I. et al. Perspektivy lecheniya diskogennyh kompressionnyh form poyasnichno-krestcovykh radikulitov s pomoshch'yu punkcionnyh neendoskopicheskikh lazernyh operacij Vladivostok 2004; 181p.]
6. Лазерная инженерия хрящей / Баграташвили В. Н. [и др.]. Москва. 2006. 448 с. [Bagratashvili V. N. et al. Lazernaya inzheneriya hryashchej Moscow, 2006. 448 p.]
7. Sobol E. et al. Laser regeneration of spine discs cartilage: mechanism, in-vivo study and clinical applications. *Proceedings of Light-Activated Tissue Regeneration and Therapy Conference*. Springer, Boston, MA, 2008. Pp. 259-266. Doi: 10.1007/978-0-387-71809-5_24
8. Holden P. K. et al. The effects of laser irradiation of cartilage on chondrocyte gene expression and the collagen matrix. *Lasers in Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery*, 2009; 7(41):487-491 Doi: <https://doi.org/10.1002/lsm.20795>
9. Wong B. J. F. et al. Identification of chondrocyte proliferation following laser irradiation, thermal injury, and mechanical trauma. *Lasers in*

Surgery and Medicine: The Official Journal of the American Society for Laser Medicine and Surgery, 2005; 1(37):89-96 Doi: <https://doi.org/10.1002/lsm.20180>

10. Yusupov V. I., Chudnovskii V. M., Bagratashvili V. N. Laser-induced hydrodynamics in water-saturated biotissues. 1. Generation of bubbles in liquid. *Laser physics* 2010; 7(20):1641-1646 Doi:10.1134/S1054660X1014001X

11. Yusupov V. I., Chudnovskii V. M., Bagratashvili V. N. Laser-induced hydrodynamics in water-saturated biotissues: 2. Effect on delivery fiber. *Laser Physics*, 2011; 7(21): 1230-1234 Doi:10.1134/S1054660X11140015

12. Yusupov V. I. et al. Laser-induced hydrodynamics in water-saturated tissue: III. Optoacoustic effects. *Laser Physics*, 2013; 1(24): 015601 Doi:10.1088/1054-660X/24/1/015601

13. Yusupov V. I. et al. Generation of acoustic waves by cw laser radiation at the tip of an optical fiber in water. *Acoustical Physics*, 2016; 5(62): 537-544. Doi:10.1134/S1063771016050183

14. O'Connor C. J., Case N., Guilak F. Mechanical regulation of chondrogenesis. *Stem cell research & therapy*, 2013; 4(4): 1-13 Doi:10.1186/scrt211

15. Fahy N., Alini M., Stoddart M. J. Mechanical stimulation of mesenchymal stem cells: Implications for cartilage tissue engineering. *Journal of Orthopaedic Research*, 2018; 1(36): 52-63 Doi:10.1002/jor.23670

16. Juang Y. M. et al. Proteomic analysis of chondrocytes exposed to pressure. *Biomedical Chromatography*, 2010;12(24): 1273-1282 Doi:10.1002/bmc.1436

17. Mizuno S., Ogawa R. Using changes in hydrostatic and osmotic pressure to manipulate metabolic function in chondrocytes. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 2011;6(300): 1234-1245 Doi:10.1152/ajpcell.00309.2010

18. Karameinis K. et al. Continuous hydrostatic pressure induces differentiation phenomena in chondrocytes mediated by changes in polycistins, SOX9, and RUNX2. *Journal of Orofacial Orthopedics/Fortschritte der Kieferorthopädie*, 2017;1(78):21-31 Doi:10.1007/s00056-016-0061-1

19. Sobol E. N. et al. Laser-induced regeneration of cartilage. *Journal of Biomedical Optics*, 2011; 8(6): 080902. Doi:10.1117/1.3614565

20. Alexandrovskaya Y. M. et al. Mechanisms of laser activation of chondrocytes in osteoarthritis healing. *Laser Physics Letters*, 2018;8(15): 085601 Doi:10.1088/1612-202X/aac746

21. Баум О. И. Механизмы модификации хрящевой ткани и тканей глаза под действием лазерного излучения. Москва. 2016. 22 с. [Baum O. I. Mekhanizmy modifikatsii hryashchevoj tkani i tkanej glaza pod dejstviem lazernogo izlucheniya Moscow 2016; 22 p.]

22. Лазерная обработка хондромалиции суставного хряща / А. В. Лычагин и [др.]. //Лазерная медицина. 2022;4(25): 9-15 Doi: <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-4-9-15> [A. V. Lychagin et al. Lazernaya obrabotka hondromalyatsii sustavnogo hryashcha Lazernaya 2022;4(25): 9-15. Doi: <https://doi.org/10.37895/2071-8004-2021-25-4-9-15>]

23. Welch A. J., Van Gemert M. J. Optical-thermal response of laser-irradiated tissue *New York: Springer*, 2011; 2:47 doi: 10.1007/978-90-481-8831-4

24. Yaroslavsky I. V. et al. Inverse hybrid technique for determining the optical properties of turbid media from integrating-sphere measurements. *Applied Optics*, 1996;34(35): 6797-6809 doi: 10.1364/AO.35.006797

25. Kovalenko N. V. et al. Optical properties of biological tissues evaluation with a hybrid goniometer and integrating-sphere technique and Monte Carlo mathematical modelling. *Journal of Physics: Conference Series*, 2019;1(1391):012025 Doi: 10.1088/1742-6596/1391/1/012025

26. Jacques S. L., Wang L. Monte Carlo modeling of light transport in tissues. *Optical-thermal response of laser-irradiated tissue*, Springer, Boston, MA, 1995; pp. 73-100 Doi: 10.1007/978-1-4757-6092-7_4

27. Юсупов В.И., Минаев Н.Б., Свиридов А.П. Установка для определения оптических характеристик тонких образцов // Приборы и техника эксперимента //2019;6:130-131 doi: 10.1134/S0032816219050276

28. Sviridov, A. P., Zhigarkov, V. S., Shubnyi, A. G. E., Yusupov, V. I. Optical fields in porous polylactide matrices. *Quantum Electronics*, 2020;1(50):81 doi: 10.1070/QEL17236

29. Karpova TK, Kovalenko NV, Aloian GA, Ryabushkin OA. Mathematical modelling of optical radiation transport in biological tissues under the conditions of moveable integrating spheres registration. In *Journal of Physics: Conference Series*, 2021;1(209):012026 doi: 10.1088/1742-6596/2090/1/012026

30. Amaroli A. et al. An 808-nm diode laser with a flat-top hand-piece positively photobiomodulates mitochondria activities. *Photomedicine and Laser Surgery*, 2016;11(34): 564-571 <https://doi.org/10.1089/pho.2015.4035>

31. Fekrazad R. et al. Effect of photobiomodulation on mesenchymal stem cells. *Photomedicine and laser surgery*, 2016;11(34):533-542 <https://doi.org/10.1089/pho.2015.4029>

32. Bagratashvili, V. N., Bagratashvili, N. V., Gapontsev, V. P., Makhmutova, G. S., Minaev, V. P., Omelchenko, A. I., ... & Tsypina, S. I. Change in the optical properties of hyaline cartilage heated by the near-IR laser radiation. *Quantum Electronics*, 2001;6(31):534 Doi: 10.1070/QE2001v-031n06ABEH001996

33. Ebert, D. W., Roberts, C. J., Farrar, S. K., Johnston, W. M., Litsky, A. S., & Bertone, A. L. (1998). Articular cartilage optical properties in the spectral range 300--850 nm. *Journal of Biomedical Optics*, 1998;3(3):326-333 Doi: 10.1117/1.429893

34. Sviridov, A. P., & Kondyurin, A. V. Optical characteristics of cartilage at a wavelength of 1560 nm and their dynamic behavior under laser heating conditions. *Journal of Biomedical Optics*, 2010;5(15):055003 Doi: 10.1117/1.3484749

35. Khan, B., Kafian-Attari, I., Nippolainen, E., Shaikh, R., Semenov, D., Hauta-Kasari, M., ... & Afara, I. O. Articular cartilage optical properties in the near-infrared (NIR) spectral range vary with depth and tissue integrity. *Biomedical optics express*, 2021;10(12):6066-6080 Doi: 10.1364/BOE.430053

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии ка-

тастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Юсупов Владимир Исаакович – кандидат технических наук, старший научный сотрудник Института фотонных технологий Федерального научно-исследовательского центра “Кристаллография и фотоника”, Россия, e-mail: iouss@yandex.ru

Сурин Владимир Владимирович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, e-mail: rassvet_1612@mail.ru

Иванников Сергей Викторович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф первого ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, e-mail: s.ivannikov@icloud.com

Петров Павел Игоревич – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Россия, e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Байцаева Ольга Игоревна научный сотрудник кафедры лазерной физики Национального исследовательского ядерного университета “МИФИ”, Россия e-mail: baitsaevaioi@yandex.ru

Маликова Татьяна Кирилловна – научный сотрудник НТО ИРЭ Полус , 117852, Россия e-mail: tatkirkar@gmail.com

Коваленко Никита Валерьевич – научный сотрудник НТО ИРЭ Полус , Россия e-mail: nikomsol94@gmail.com

Шевелкина Екатерина Дмитриевна – научный сотрудник НТО ИРЭ, Россия e-mail: eShevelkina@ntoire-polus.ru

Заров Алексей Юрьевич – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), e-mail: zarow@mail.ru

Information about authors:

Lychagin Alexey Vladimirovich – MD, Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Russia, e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Yusupov Vladimir Isaakovich – Candidate of Technical Sciences, Senior Researcher at the Institute of Photonic Technologies of the Federal Research Center “Crystallography and Photonics”, Russia, e-mail: iouss@yandex.ru

Surin Vladimir Vladimirovich – Postgraduate Student of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Russia, e-mail: rassvet_1612@mail.ru

Ivannikov Sergey Viktorovich – Doctor of Medical Sciences, Professor, Professor of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the First Sechenov First Moscow State Medical

University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Russia, e-mail: s.ivannikov@icloud.com

Petrov Pavel Igorevich – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Surgery of Catastrophes of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), Russia, e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Batsayeva Olga Igorevna – Research Associate of the Department of Laser Physics of the National Research Nuclear University “MEPhI”, Russia, e-mail: baitsaevaioi@yandex.ru

Malikova Tatiana Kirillovna – researcher at NTO IRE Polyus, Russia, e-mail: tatkirkar@gmail.com

Kovalenko Nikita Valeryevich – Researcher at NTO IRE Polyus, Russia, e-mail: nikomsol94@gmail.com

Shevelkina Ekaterina Dmitrievna – Researcher at NTO IRE Polyus, Russia, e-mail: eShevelkina@ntoire-polus.ru

Zarov Alexey Yurievich – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery of the I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), e-mail: zarow@mail.ru

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-56-66>

УДК 617.3

© Б.И. Максимов, 2023

Оригинальная статья / Original article



ПРИМЕНЕНИЕ МИНИИНВАЗИВНОГО ЛАДОННОГО ДОСТУПА В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ ДИСТАЛЬНОГО МЕТАЭПИФИЗА ЛУЧЕВОЙ КОСТИ

Б.И. МАКСИМОВ

ГБУЗ «Городская клиническая больница №29 имени Н.Э. Баумана Департамента здравоохранения г. Москвы», 111020, Москва, Россия

Аннотация

Обоснование: в последнее время появляется все больше публикаций об использовании миниинвазивного ладонного доступа в хирургическом лечении пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости, позволяющем, с одной стороны, не нарушать кровоснабжение отломков и активную стабильность дистального лучелоктевого сочленения, а с другой – выполнять весь спектр технических приемов по репозиции и фиксации перелома.

Цель исследования: оценить результаты использования миниинвазивного ладонного доступа в хирургическом лечении пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости.

Материалы и методы: изучены результаты лечения 68 пациентов (48 женщин и 20 мужчин) с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости, которым в отделении травматологии и ортопедии ГКБ №29 им. Н.Э. Баумана в период с ноября 2015 г. по декабрь 2021 г. выполняли погружной остеосинтез с использованием миниинвазивного ладонного хирургического доступа. Всем пациентам для фиксации перелома использовали ладонные пластины с угловой стабильностью. Средний возраст больных составил 39,26±7,66 лет (от 21 года до 58 лет). По классификации D. Fernandez переломы были распределены следующим образом: тип I – 41 случай (60,3 %), тип II – 12 (17,6 %), тип III – 15 (22,1 %). После выполнения остеосинтеза и выписки из стационара, минимальный период наблюдения за пациентами составил 3 месяца. В процессе наблюдения оценивали рентгенологические (консолидация перелома, высота лучевой кости, ладонная инклинация, лучевая инклинация, суставная конгруэнтность, а также конгруэнтность дистального лучелоктевого сочленения), функциональные (сгибательно-разгибательные движения в лучезапястном суставе, ротационные движения предплечья и силу хвата кисти), а также косметические результаты лечения. Общую оценку результатов лечения проводили с применением критериев Gartland & Werley.

Результаты: у 66 пациентов (97,1%) через 6 недель после операции была достигнута консолидация перелома, подтвержденная рентгенологически при контрольном обследовании. У двух пациенток (2,9%) костного сращения после операции не произошло даже на сроках, превышающих 6 месяцев, что было расценено как ложный сустав дистального метаэпифиза лучевой кости и потребовало повторных хирургических вмешательств. Через 3 месяца после остеосинтеза результаты в соответствии с критериями Gartland & Werley у 52 прооперированных пациентов (76,5%) были расценены как отличные, у 14 (20,6%) – как хорошие, у 2 (2,9%) – как удовлетворительные. Плохих результатов получено не было. В 3 случаях (4,4 %) в результате повреждения ладонной ветви срединного нерва в процессе хирургического доступа в послеоперационном периоде пациенты отмечали выпадение кожной чувствительности в области тенара. Других осложнений не было. Косметический результат у всех прооперированных был расценен как отличный.

Заключение: использование миниинвазивного ладонного хирургического доступа для остеосинтеза переломов ДМЭЛК волярными пластинами с угловой стабильностью является эффективным и эффективным инструментом улучшения результатов лечения пациентов с травмами данной локализации. Главными доводами к применению такого подхода можно считать сохранение квадратного пронатора предплечья, уменьшающее деваскуляризацию костных отломков и благотворно влияющее на процесс консолидации перелома, снижение риска инфекционных осложнений открытой репозиции, более быстрое функциональное восстановление, а также большее удовлетворение пациентов эстетическими результатами операции.

Ключевые слова: перелом; дистальный метаэпифиз лучевой кости; остеосинтез; миниинвазивный хирургический доступ; волярная пластина с угловой стабильностью.

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

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

Для цитирования: Максимов Б.И., ПРИМЕНЕНИЕ МИНИИНВАЗИВНОГО ЛАДОННОГО ДОСТУПА В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПАЦИЕНТОВ С ПЕРЕЛОМАМИ ДИСТАЛЬНОГО МЕТАЭПИФИЗА ЛУЧЕВОЙ КОСТИ. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 56–66 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-56-66>

Этическая экспертиза. Пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и дали согласие на обработку и публикацию клинического материала. Исследование одобрено этическим комитетом.

THE USE OF MINIMALLY INVASIVE VOLAR APPROACH IN THE SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH DISTAL RADIUS FRACTURES

BORIS I. MAXIMOV

Moscow City Hospital #29 named after N.E. Bauman Department of health of Moscow city, 111020, Moscow, Russia

Abstract. Past time, in the literature there has been an increasing interest of using minimally invasive volar approach for surgical treatment of patients with distal radius fractures allowing, on the one hand, not to damage vascularity of bone fragments and active stability of distal radioulnar joint, and on the other hand – giving possibility to do all repositional and fixational steps.

The aim of the study is to assess results of minimally invasive volar approach for surgical treatment of patients with distal radius fractures.

Material and Methods. We analyzed results of surgical treatment of 68 patients (48 female and 20 male) with distal radius fractures treated in the period from November 2015 to December 2021 using minimally invasive volar approach. In all cases for fixation we used volar locking plate. The mean age was $39,26 \pm 7,66$ years (21-58 years). Fractures were classified according to Fernandez classification system as type I – 41 cases (60,3%), type II – 12 cases (17,6%) and type III – 15 cases (22,1%). The minimal follow-up after the surgery and discharge was 3 months, until the final functional result. X-rays (consolidation's signs, volar tilt, radial height, radial inclination, joint congruency as well as distal radioulnar joint congruency), functional (flexion/extension of the wrist, forearm rotation and grip strength) and cosmetic results were evaluated during follow-up period. The overall results were assessed on the basis of Gartland & Werley score.

Results. Primary union of distal radius was achieved within 6 weeks after the surgery in 66 patients (97,1%), confirmed by X-rays. In 2 cases (2,9%) we didn't achieve bone union even after 6 months, that was detected as false joint of distal radius and required re-operation. After 3 months according to Gartland & Werley score 52 patients (76,5%) had an excellent results, 14 (20,6%) – good, 2 (2,9%) – fair. There were no poor results. In 3 cases (4,4%) there were sensitive problems in the field of thenar due to intraoperative damage of palmar branch of median nerve during surgical approach. There were no any complications. The cosmetic result was excellent in all cases.

Conclusions. The usage of minimally invasive volar surgical approach for plate fixation of distal radius fractures is spectacular and effective tool of treatment result's improvement for patients with such kind of trauma. The possibility of preservation of m. pronator quadratus, bone vascularity, contributing to bone healing, lower risk of infectional complications, faster functional recovery and better patient's satisfaction about cosmetic result are the main arguments for using such technique.

Key words: fracture, distal radius, osteosynthesis, minimally invasive surgical approach, volar locking plate

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Maximov B.I., THE USE OF MINIMALLY INVASIVE VOLAR APPROACH IN THE SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH DISTAL RADIUS FRACTURES. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1. pp. 56–66 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-56-66>

Введение

Блокированный погружной остеосинтез волярными пластинами является современным трендом в лечении пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости (ДМЭЛК), прекрасно зарекомендовавшим себя за последние два десятилетия как с точки зрения стабильности фиксации перелома, так и достигаемых рентгенологических и функциональных результатов [1]. Тем не менее, постоянно повышающиеся требования, как к самому процессу лечения, так и к его результатам, диктуют необходимость поиска еще более совершенных методов остеосинтеза переломов ДМЭЛК [2,3,4]. Немаловажным фактором здесь является и общее стремление к малоинвазивным хирургическим вмешательствам в травматологии [1-6].

В последнее время в литературе все больше освещается применение миниинвазивного ладонного доступа для хирургического лечения пациентов с переломами ДМЭЛК [2,7-10], позволяющего, не нарушая кровоснабжение ДМЭЛК и стабильность дистального лучелоктевого сочленения, добиваться жесткой фиксации костных отломков [1,11].

Главными аргументами в пользу подобной тактики хирургического лечения можно считать следующее: сохранение краднатного пронатора предплечья и активной стабильности дистального лучелоктевого сочленения, снижение риска инфекционных осложнений, а также ярко выраженную удовлетворенность пациентами косметическим результатом операции [10,12].

Цель исследования – оценить результаты применения миниинвазивного ладонного хирургического доступа для лечения пациентов с переломами дистального метаэпифиза лучевой кости.

Материал и методы

Изучены результаты лечения 68 пациентов (48 женщин и 20 мужчин) с переломами ДМЭЛК, которым в отделении травматологии и ортопедии ГКБ №29 им. Н.Э. Баумана в период с ноября 2015 г. по декабрь 2021 г. выполняли погружной остеосинтез с использованием миниинвазивного ладонного хирургического доступа.

Критериями включения в исследование являлись:

- добровольное согласие пациента;
- закрытый перелом;
- давность травмы не более 7 дней;
- 3-х месячный минимальный срок наблюдения за пациентом с момента операции.

Критериями исключения являлись:

- переломы типа «тыльный Barton» (подгруппа II типа переломов по D. Fernandez [13]), поскольку переломы данного типа требуют использования исключительно тыльных хирургических доступов и тыльных фиксаторов;
- открытый характер перелома;
- давность травмы более 7 дней;
- сочетание перелома ДМЭЛК с переломом дистального отдела локтевой кости (за исключением перелома шиловидного отростка).

У всех пациентов для фиксации переломов использовали ладонные пластины с угловой стабильностью. Средний возраст больных составил 39,26±7,66 лет (21-58 лет). По классификации D. Fernandez переломы были распределены следующим образом: тип I – 41 случай (60,3 %), тип II– 12 (17,6 %, миниинвазивно оперировали только переломы типа «ладонный Barton»), тип III– 15 (22,1 %). Во всех случаях остеосинтез выполняли по поводу острой изолированной травмы. В 42 случаях (61,7 %) перелому ДМЭЛК сопутствовал перелом шиловидного отростка локтевой кости без смещения отломков либо с незначительным смещением отломков, не потребовавший активных хирургических действий.

Техника операции с применением миниинвазивного ладонного хирургического доступа. Остеосинтез выполняется под проводниковой анестезией плечевого сплетения. Пациент находится в положении на спине, оперируемая верхняя конечность располагается на специальной боковой рентген-прозрачной платформе. Удостоверившись в возможности достижения анатомичной закрытой ручной репозиции отломков (рис. 1), в нижней трети предплечья по ладонной поверхности производится выполнение миниинвазивного доступа.



Рис. 1. Оценка простоты и качества репозиции перелома закрытым ручным способом перед выполнением хирургического доступа

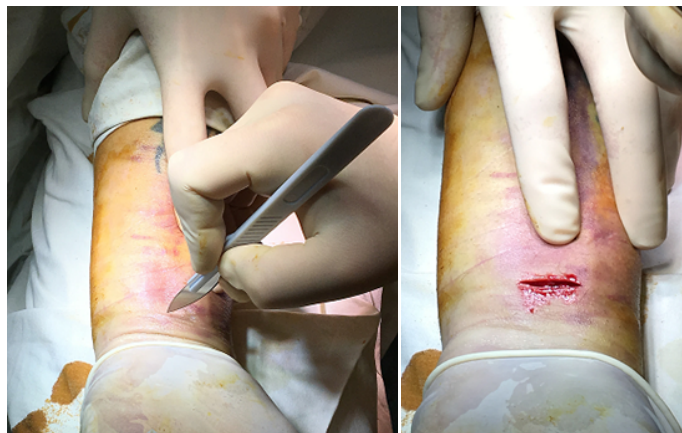


Рис. 2. Основной кожный разрез при миниинвазивном ладонном доступе

Хирургический доступ начинается с поперечного разреза кожи длиной до 15-20 мм в проекции проксимальной ладонной складки (рис. 2), с центрированием его над сухожилием лучевого сгибателя запястья, как наиболее легко определяемым внешне анатомическим ориентиром. Важным моментом данного этапа операции является необходимость соблюдения определенных правил во избежание повреждения ладонной ветви срединного нерва, а именно: скальпелем необходимо работать только в пределах кожи, всю последующую мягкотканую диссекцию выполнять только при помощи деликатных сосудистых зажимов (рис. 3).



Рис. 3. Мягкотканная диссекция при миниинвазивном ладонном доступе

После выполнения кожного разреза производится мобилизация подлежащих сухожилий, при этом сухожилие лучевого сгибателя запястья отводится в локтевую сторону для защиты срединного нерва и его ладонной ветви, тем самым обнажая фасцию предплечья и подлежащий квадратный пронатор. Производится мобилизация последнего распатором с формированием субмускулярного тоннеля (рис. 4) для последующей установки ладонной пластины (рис. 5).



Рис. 4. Формирование тоннеля распором под квадратным пронатором предплечья



Рис. 5. Установка ладонной пластины над местом перелома. Пластина находится под мышечными волокнами квадратного пронатора предплечья

В сформированном под квадратным пронатором предплечья ложе выполняется позиционирование и центрация пластины на дистальном отделе лучевой кости при помощи

зажимов типа «москит» и направителя, заведенного через дополнительный кожный прокол, локализация которого легко может быть определена путем выполнения интраоперационного снимка дистального отдела предплечья и расположенной на нем пластины в передне-задней проекции при помощи электронно-оптического преобразователя (рис. 6).



Рис. 6. Выполнение дополнительного кожного доступа и способ определения его локализации

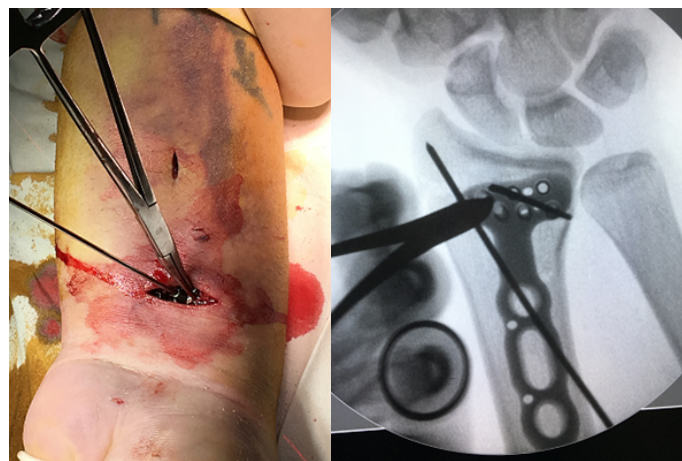


Рис. 7. Фиксация пластины на кости спицами Киршнера

Через этот же прокол в последующем будет осуществляться и фиксация диафизарной части пластины кортикальными винтами к кости, поэтому необходимо выбрать место для дополнительного разреза между двумя отверстиями в пластине, чтобы в последующем за счет эластичности кожи использовать этот один разрез для заведения обоих винтов. Затем выполняется временная фиксация пластины на кости при помощи спиц Киршнера (рис. 7).

Стоит заметить, что на всех этапах операции обязателен рентгенологический контроль в двух проекциях при помощи электронно-оптического преобразователя для оценки корректности выполняемых позиционирования и фиксации пластины на кости (рис. 8).

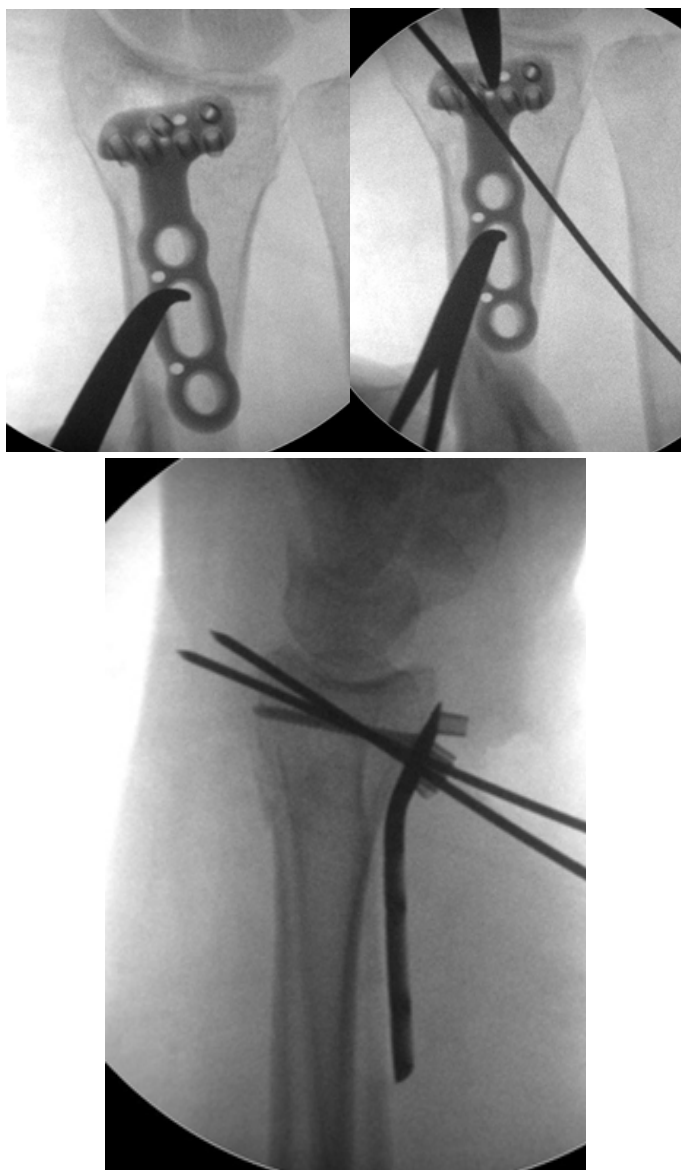


Рис. 8. Рентгенологический контроль этапов позиционирования пластины на кости и ее временной фиксации спицами Киршнера.

Окончательная фиксация перелома осуществляется путем введения винтов в пластину. Первый вводимый винт в метаэпифизарной зоне дистального отдела лучевой кости является самым важным при использовании мининвазивной техники, поскольку помимо функции непосредственной фиксации пластины, выполняет и функцию прижатия ее к кости. Поэтому его рекомендуется выбирать по размеру заведомо несколько длиннее просверленного костного канала для максимального прижатия пластины к кости в этой зоне и использовать при этом кортикальный, а не блокирующий винт. Полезным элементом здесь может быть прижатие ассистентом пластины к кости инструментом в процессе закрутки первого винта. Для более надежной фиксации пластины в метаэпифизарной зоне устанавливаются еще 2-3 блокирующих винта (предпочтительно в разные колонны), после чего первый кортикальный винт должен быть также заменен на блокирующий. Следующим этапом операции является фиксация пластины к диафизу лучевой кости. Используя проводник для сверла, заведенный через отдельный прокол кожи, формируется костный канал для кортикального винта (рис. 9).



Рис. 9. Формирование костного канала для диафизарной фиксации пластины

При этом пластина, до этого находящаяся своей диафизарной частью в несколько подвешенном положении, будет низведена на ладонную поверхность лучевой кости. В этом моменте присутствует элемент авторепозиции, так как дизайн пластин ориентирован на нормальную анатомию этой области и при имеющихся тыльных смещениях позволяет выводить суставную фасетку лучевой кости в корректное положение с восстановлением нормального волярного наклона суставной поверхности.

Завершающим этапом операции является заведение оставшихся метаэпифизарных винтов для увеличения жесткости фиксации

перелома. Выполняется интраоперационный рентгенологический контроль, обработка и ушивание операционной раны (рис.10).



Рис. 10. Вид ушитой операционной раны при миниинвазивном остеосинтезе дистального метаэпифиза лучевой кости

В послеоперационном периоде дополнительная гипсовая иммобилизация, как правило, не требуется.

После остеосинтеза и выписки из стационара, минимальный срок наблюдения за пациентами составил 3 месяца, до определения итогового функционального результата. В процессе наблюдения за пациентами оценивали рентгенологические (консолидация перелома, высота лучевой кости, ладонная инклинация, лучевая инклинация, суставная конгруэнтность, а также конгруэнтность дистального лучелоктевого сочленения), функциональные (сгибательно-разгибательные движения в лучезапястном суставе, ротационные движения предплечья и силу хвата кисти), а также косметические результаты лечения.

Общую оценку результатов лечения проводили с применением критериев Gartland & Werley [14] (таблица 1).

Таблица 1

Оценка результатов остеосинтеза ДМЭЛК по Gartland & Werley

Наличие остаточной деформации	Выступление шиловидного отростка локтевой кости	1 балл
	Неустраненный тыльный наклон суставной фасетки ДМЭЛК	2 балла
	Лучевая девиация кисти	3 балла
Субъективная оценка	Отлично: боли нет/трудоспособность сохранена/ограничений движений нет	0 баллов
	Хорошо: боли редко/трудоспособность сохранена/незначительные ограничения движений	2 балла
	Удовлетворительно: боли редко/незначительные ограничения движений/чувство слабости в кисти/незначительные бытовые и профессиональные ограничения	4 балла
	Плохо: боль/ограничения движений/потеря трудоспособности/заметные бытовые ограничения	6 баллов
Объективная оценка*	- Уменьшение разгибания в лучезапястном суставе	5 баллов
	- Ограничение локтевой девиации	3 балла
	- Ограничение супинации	2 балла
	- Уменьшение сгибания в лучезапястном суставе	1 балл
	- Ограничение лучевой девиации	1 балл
	- Ограничение вращательных движений кистью	1 балл
	- Боль в дистальном лучелоктевом суставе	1 балл
	- Снижение силы хвата кисти (до 60% и ниже от здоровой конечности)	1 балл
Наличие осложнений	- Ограничение пронации	2 балла
	Признаки посттравматического артроза лучезапястного сустава:	
	- минимальные	1 балл
	- минимальные + боль	3 балла
	- умеренные	2 балла
	- умеренные + боль	4 балла
	- выраженные	3 балла
	- выраженные + боль	5 баллов
Результат	Неврологические нарушения	1-3 балла
	Тугоподвижность пальцев кисти	1-3 балла
	Отличный	0-2
	Хороший	3-8
	Удовлетворительный	9-20
	Плохой	>20

* За отправные величины для оценки при этом берут минимальные значения нормальной функции: разгибание – 45 градусов, сгибание – 30 градусов, лучевая девиация – 15 градусов, локтевая девиация – 15 градусов, пронация – 50 градусов, супинация – 50 градусов.

Статистический анализ. Статистический анализ проводили при помощи программ «Excel» и «IBM SPSS Statistics» v. 26. С помощью описательной статистики рассчитывали средние арифметические величины (M) и стандартные отклонения (SD). Для расчета статистической значимости динамических изменений признаков применяли критерий Уилкоксона. Критический уровень значимости при проверке статистических гипотез принимали равным 0,05.

Результаты

Таблица 2

Рентгенологические результаты остеосинтеза ДМЭЛК с использованием миниинвазивного ладонного хирургического доступа

Изучаемый параметр		Показатели (средние значения)		
		Сразу после остеосинтеза	6 недель после остеосинтеза	3 месяца после остеосинтеза
Рентгенологические параметры	Ладонная инклинация (в градусах)	11,89+1,12	11,75+1,13	11,73+1,14
	Высота лучевой кости (в мм)	9,88+1,5	9,73+1,49	9,71+1,49
	Инклинация лучевой кости (в градусах)	22,7+0,6	22,69+0,6	22,68+0,59

Результаты использования миниинвазивного ладонного хирургического доступа для остеосинтеза ДМЭЛК были изучены и оценены у всех пациентов, включенных в исследование. Средний срок наблюдения составил 13,1 месяцев (от 3 до 26 месяцев). При этом у 66 пациентов (97,1%) через 6 недель после остеосинтеза была достигнута консолидация перелома, подтвержденная рентгенологически при контрольном обследовании. У двух пациенток (2,9%) костного сращения после операции не произошло даже на сроках, превышающих 6 месяцев, что было расценено как ложный сустав дистального метаэпифиза лучевой кости и потребовало повторных хирургических вмешательств, завершившихся,

к слову, консолидацией. Стоит особо подчеркнуть, что в обоих случаях несмотря на это имелся отличный функциональный результат. Оценку корректности консолидации проводили, ориентируясь на параметры нормальной рентген-анатомии: высоту лучевой кости, инклинацию лучевой кости и ладонную инклинацию суставной фасетки лучевой кости. Оценивали в сравнении параметры, достигнутые по завершении остеосинтеза, через 6 недель и 3 месяца. Рентгенологические результаты остеосинтеза с применением миниинвазивного ладонного хирургического доступа представлены в таблице 2.

Стоит отметить, что за исключением двух случаев замедленной консолидации переломов, вылившихся в формирование ложного сустава ДМЭЛК, целесообразность выполнения контрольных рентгенологических снимков после 3 месяцев наблюдения отсутствовала и поэтому дальнейший мониторинг не проводили.

Объем движений в лучезапястном суставе, объем ротационных движений предплечья и силу хвата кисти оценивали через 1, 2 и 3 месяца после остеосинтеза (таблица 3).

Таблица 3

Функциональные результаты остеосинтеза ДМЭЛК с использованием миниинвазивного ладонного хирургического доступа

Функциональные параметры	Показатели (средние значения)		
	1 месяц после остеосинтеза	2 месяца после остеосинтеза	3 месяца после остеосинтеза
Сгибание (в градусах)	70,64+3,05	81,4+4,01	82,13+4,95
Разгибание (в градусах)	64,99+4,73	80,46+7,3	81,15+6,31
Супинация (в градусах)	74,43+6,09	88,3+5,73	88,72+7,05
Пронация (в градусах)	72,85+7,98	84+7,59	84,43+7,21
Сила хвата (% от контралатеральной кисти)	76,6+7,1	94,79+6,9	95,88+7,78

В период послеоперационного восстановления функции лучезапястного сустава, предплечья и кисти по всем исследуемым параметрам выявлено статистически значимое различие на всех этапах оценки ($p < 0,001$).

Через 3 месяца после проведенного остеосинтеза результаты в соответствии с критериями Gartland & Werley были оценены у всех включенных в исследование пациентов. У 52 прооперированных пациентов (76,5%) результат лечения был расценен как отличный, у 14 (20,6%) - как хороший, у 2 (2,9%) - как удовлетворительный. Плохих результатов получено не было.

В 3 случаях (4,4 %) в результате ятрогенного повреждения ладонной ветви срединного нерва в процессе выполнения хирургического доступа в послеоперационном периоде у пациентов отмечалось выпадение кожной чувствительности в

области тенара. У всех троих пациентов чувствительность восстановилась в течение полугода с момента выполнения операции. Других осложнений лечения не наблюдали. Косметический результат у всех был расценен как отличный. Ни в одном случае пациенты не изъявили желания удалять установленный фиксатор, мотивируя это полным отсутствием его ощущений и абсолютной свободой движений в лучезапястном суставе, кисти и пальцах.

Обсуждение

В основу современного лечения пациентов с переломами ДМЭЛК положен хирургический подход, подразумевающий репозицию костных отломков с их последующей внутренней фиксацией [15]. «Золотым стандартом» лечения подобного рода поврежденных общепризнанно считается погружной накостный остеосинтез волярными пластинами с угловой стабильностью, обеспечивающий точную репозицию и стабильную внутреннюю фиксацию отломков, а также демонстрирующий низкий процент осложнений и неудовлетворительных результатов в сравнении с другими методами хирургического лечения [16-20].

На сегодняшний день в мировой травматологической практике для хирургического лечения пациентов с переломами ДМЭЛК все большую популярность приобретает использование миниинвазивного ладонного доступа [9,21-27], первые упоминания о котором относятся к 2000-2001 годам [28,29]. Основными преимуществами такого подхода считаются: отсутствие дополнительной девитализации костных отломков, благоприятно влияющее на процесс сращения перелома; уменьшение кровопотери; снижение риска инфекционных осложнений открытой репозиции; уменьшение рубцового процесса в зоне вмешательства (и обусловленной этим тугоподвижности); меньший риск развития конфликта «имплант-сухожилие» со стороны сгибателей кисти и пальцев за счет сохранения интерпозиции квадратного пронатора между ними, а также, что немаловажно, большее удовлетворение пациентов эстетическими результатами данных операций [2,5,6,27,30-32]. В современной литературе описывается несколько вариантов миниинвазивных ладонных хирургических доступов, отличающихся геометрией расположения и размером кожных разрезов [9,10,32-36], но несущих в себе одну принципиально общую черту – отсутствие необходимости отсечения квадратного пронатора предплечья. Подобный подход сегодня находит все большее количество сторонников среди оперирующих травматологов и кистевых хирургов [31,37], демонстрируя превосходный эстетический и функциональный результаты [2,9,24].

Х.М. Wei с соавторами, изучив результаты применения миниинвазивного остеосинтеза ДМЭЛК у 22 пациентов, сообщают о безопасности и эффективности методики, отмечая при этом сопоставимость рентгенологических результатов лечения по сравнению с остеосинтезом, выполняемым через традиционные ладонные доступы, при этом заостряя внима-

ние на превосходстве методики в раннем функциональном и эстетическом результатах [12].

В сравнительном анализе Y. Zenke с соавторами, базирующемся на основании результатов лечения 66 пациентов с переломами ДМЭЛК, которым применяли, как традиционный ладонный хирургический доступ, так и миниинвазивную технику, не было получено достоверных различий по части рентгенологических результатов, однако, ранние функциональные и косметические результаты были значительно выше в группе пациентов, которым остеосинтез выполняли с применением миниинвазивного хирургического доступа [7]. Схожие результаты в своих независимых работах получили и другие исследователи [2,8,38-40]. Не обесценивая отмеченных преимуществ использования миниинвазивного хирургического доступа, хотелось бы отметить и его недостатки. Это, прежде всего, отсутствие прямой визуализации места перелома и контроля репозиции, что обязывает хирурга быть опытным в вопросах непрямой репозиции и интерпретации интраоперационных рентгенограмм, поскольку не косметический результат и сохранение квадратного пронатора, а достижение анатомичной репозиции является первостепенной задачей выполняемого остеосинтеза [8]. Кроме того, выполнение поперечного разреза по проксимальной ладонной кожной складке запястья несет в себе определенные риски ятрогенного повреждения ладонной ветви срединного нерва, отходящей от магистрального ствола как раз в этой области [41]. У двух пациентов, включенных в исследование, на этапе освоения методики, нами была повреждена ладонная ветвь срединного нерва как раз в момент выполнения поперечного доступа к ДМЭЛК. По данным S. McKay с соавторами частота подобного осложнения достигает 17% [42].

Особо хочется отметить и отсутствие полноценной возможности визуализации сухожилий сгибателей кисти и пальцев, что при позиционировании и фиксации пластины может приводить к их прижатию устанавливаемым фиксатором к кости (наиболее часто это сухожилие длинного сгибателя большого пальца) с последующим развитием функционального дефицита. Наконец, не стоит забывать и о том, что подобный доступ не имеет возможности к расширению при возникновении технических трудностей во время операции, что следует учитывать на этапе предоперационного планирования [24].

Результаты, полученные нами в ходе выполнения данного исследования, позволяют констатировать, что использование миниинвазивного ладонного хирургического доступа для выполнения остеосинтеза у пациентов с большинством закрытых переломов ДМЭЛК является эффективной и эффектной опцией в арсенале современной травматологии, обеспечивающей стабильную фиксацию костных отломков лучевой кости, дающей возможность ранних активных реабилитационных мероприятий и демонстрирующей при этом отличные косметические и функциональные результаты. У абсолютного большинства пациентов (97,1%) результаты лечения были расценены как

отличные и хорошие, ни в одном случае не было получено плохого результата. Оба случая формирования ложного сустава ДМЭЛК, наблюдаемые нами среди пациентов, прооперированных с использованием миниинвазивного ладонного доступа, наглядно продемонстрировали возможность развития подобных осложнений даже при применении максимально бережных методик остеосинтеза. На наш взгляд, в обоих случаях нами была допущена интраоперационная ошибка – при первичном остеосинтезе была приложена избыточная дистракция в области линии перелома с последующей фиксацией отломков в таком перерастянном положении. Несмотря на малотравматичность самой операции, это, по нашему мнению, и явилось причиной несращения перелома и последующего формирования ложного сустава. К сожалению, лечение подобных осложнений трудно прогнозируемо и не всегда имеет благоприятный исход. Для профилактики перерастяжения костных отломков в условиях отсутствия прямой визуализации линии перелома при миниинвазивном остеосинтезе ДМЭЛК, необходимо помнить об обязательном выполнении сравнительных рентгенограмм контралатерального лучезапястного сустава на этапе предоперационной подготовки для оценки дистального лучелоктевого сустава и варианта локтевой кости.

Заключение

Использование миниинвазивного ладонного хирургического доступа для остеосинтеза переломов ДМЭЛК волярными пластинами с угловой стабильностью является эффективным и эффективным инструментом улучшения результатов лечения пациентов с травмами данной локализации. Главными доводами к применению такого подхода можно считать сохранение квадратного пронатора предплечья, уменьшающее деваскуляризацию костных отломков и благотворно влияющее на процесс консолидации перелома, снижение риска инфекционных осложнений открытой репозиции, более быстрое функциональное восстановление, а также большее удовлетворение пациентов эстетическими результатами операции. При этом стоит заметить, что использование миниинвазивного хирургического доступа правомочно и оправдано лишь тогда, когда оно не мешает полноценности репозиции и фиксации перелома.

Список литературы / References:

1. Itoh, S., Yumoto, M., Kanai, M., Yoshida, W., Yoshioka, T. Significance of a pronator-sparing approach for volar locking plate fixation of comminuted intra-articular fractures of the distal radius. *Hand (NY)*. 2016;11(1):83-7. DOI:10.1177/1558944715617460.
2. 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? *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(1):76-84 DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-1-76-84].

3. Дубров В.Э., Гречухин Д.А., Брижань Л.К., Губайдуллина Г.Ф. Среднесрочные результаты лечения переломов дистального метаэпифиза лучевой кости с артроскопическим сопровождением: проспективное сравнительное исследование //Кафедра травматологии и ортопедии. 2022;2(48):34-42. DOI:10.17238/2226-2016-2022-2-34-42 [Dubrov V.E., Grechukhin D.A., Brizhan L.K., Gubaidullina G.F. Mid-term outcomes of distal radius fractures treatment with arthroscopic assistance: a prospective comparative study. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2022;2(48):34-42 DOI:10.17238/2226-2016-2022-2-34-42].

4. 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. DOI:10.21823/2311-2905-1696 [Egiazyar 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. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2021;27(4):31-41. DOI:10.21823/2311-2905-1696].

5. 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.

6. Takada, N., Otsuka, T., Yamada, K., Suzuki, H., Hasuo, T., Kondo, A., Fukuta, M. 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/s00068-012-0204z.

7. Zenke, Y., Sakai, A., Oshige, T., Moritani, S., Fuse, Y., Mae-hara, T., Nakamura, T. 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.

8. 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.

9. Lebaillly, 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.

10. 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. *Issues of Reconstructive and Plastic Surgery*. 2017;20(2):61-66. DOI:10.17223/1814147/60/07].

11. Dos, R.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. DOI:10.1016/j.main.2009.04.007.
12. 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.
13. Fernandez, D.L., Jupiter, J.B. Fractures of the distal radius//New York: Springer-Verlag:1996. DOI:10.1007/978-1-4684-0478-4.
14. Changulani, M., Okonkwo, U., Keswani, T., Kalairajah, Y. Outcome evaluation measures for wrist and hand: which one to choose? *Int Orthop.* 2008 Feb;32(1):1-6. DOI:10.1007/s00264-007-0368-z.
15. Protopsaltis, T.S., Ruch, D.S. Volar approach to distal radius fractures. *J Hand Surg Am.* 2008;33(6):958-965. DOI:10.1016/j.jhsa.2008.04.018.
16. Lu, C.K., Liu, W.C., Chang, C.C., Shih, C.L., Fu, Y.C., Jupiter, J.B. A systematic review and meta-analysis of the pronator quadrates repair following volar plating of distal radius fractures. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):419. DOI:10.1186/s13018-020-01942-w.
17. 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.
18. Kreder, H., Hanel, D., Agel, J., McKee, M., Schemitsch, E., Trumble, T., Stephen, D. Indirect reduction and percutaneous fixation versus open reduction and internal fixation for displaced intraarticular fractures of the distal radius: A randomised, controlled trial. *J Bone Joint Surg Br.* 2005;87(6):829-836. DOI:10.1302/0301-620x.87b6.15539.
19. Rozental, T.D., Blazar, P.E., Franko, O.I., Chacko, A.T., Earp, B.E., Day, C.S. Functional outcomes for unstable distal radial fractures treated with open reduction and internal fixation or closed reduction and percutaneous fixation. A prospective randomized trial. *J Bone Joint Surg Am.* 2009;91:1837-1846. DOI:10.2106/JBJS.H.01478.
20. Soong, M., van Leerdam, R., Guitton, T.G., Got, C., Katarincic, J., Ring, D. Fracture of the distal radius: Risk factors for complications after locked volar plate fixation. *J Hand Surg.* 2011;36(1):3-9. DOI:10.1016/j.jhsa.2010.09.033.
21. Ribeiro, E., Campanholi, G., Acherboim, M., Ruggiero, G.M. Mini-Invasive Surgery for Distal Radius Fractures: A Double Incision under 12 mm. *J Wrist Surg.* 2021 Apr;10(2):136-143. DOI:10.1055/s-0040-1721141.
22. Vernet, P., Gouzou, S., Hidalgo Diaz, J.J., Facca, S., Liverneaux, P. Minimally invasive anterior plate osteosynthesis of the distal radius: A 710 case-series. *Orthop Traumatol Surg Res.* 2020 Dec;106(8):1619-1625. DOI:10.1016/j.otsr.2020.04.024.
23. Asmar, G., Bellity, J., Falcone, M.O. Surgical comfort and clinical outcomes of MIPO with an extra-short plate designed for distal radius fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2021 Apr;31(3):481-490. DOI: 10.1007/s00590-020-02791-3.
24. Liverneaux, P., Ichihara, S., Facca, S., Hidalgo Diaz, J.J. Outcomes of minimally invasive plate osteosynthesis (MIPO) with volar locking plates in distal radius fractures: A review. *Hand Surg Rehabil.* 2016 Dec;35S:S80-S85. French. DOI:10.1016/j.hansur.2016.02.011.
25. Neubauer, T., Plecko, M., Grechenig, S., Hartmann, A., Ortmayer, R., Hitzl, W., Feigl, G. Minimal invasive plating of distal radius fractures. A safe procedure? *Ann Anat.* 2019 Jul;224:172-178. DOI: 10.1016/j.aanat.2019.05.001.
26. Galmiche, C., Rodriguez, G.G., Xavier, F., Igeta, Y., Hidalgo Diaz, J.J., Liverneaux, P. Minimally invasive plate osteosynthesis for extra-articular distal radius fracture in postmenopausal women: longitudinal versus transverse incision. *J Wrist Surg.* 2019;8(1):18-23. DOI:10.1055/s-0038-1667305.
27. Gutierrez Olivera, N., Ruchelli, L., Iglesias, S., Capomassi, M., Al-lende, C. Minimally invasive plate osteosynthesis in distal radius fractures with metaphyseal extension: A series of 13 cases. *Chirurgie De La Main.* 2015;34(5):227-233. DOI:10.1016/j.main.2015.07.001.
28. 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.
29. Duncan, S.F., Weiland, A.J. Minimally invasive reduction and osteosynthesis of articular fractures of the distal radius. *Injury.* 2001;32 Suppl 1:SA14-24. DOI:10.1016/s0020-1383(01)00057-2.
30. Liverneaux, P.A. The minimally invasive approach for distal radius fractures and malunions. *J Hand Surg Eur Vol.* 2018;43(02):121-130. DOI:10.1177/1753193417745259.
31. 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.
32. Yoshikawa, Y., Saito, T., Matsui, H. A new cosmetic approach for volar fixed-angle plate fixation to treat distal radius fractures. *J Jpn Soc Surg Hand.* 2008;24:889-893.
33. Zemirline, A., Taleb, C., Facca, S., Liverneaux, P. Minimally invasive surgery of distal radius fractures: a series of 20 cases using a 15 mm anterior approach and arthroscopy. *Chir Main.* 2014;33(04):263-271. DOI:10.1016/j.main.2014.04.007.
34. Zemirline, A., Naito, K., Lebailly, F., Facca, S., Liverneaux, P. Distal radius fixation through a mini-invasive approach of 15 mm. Part I: feasibility study. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2014;24(06):1031-1037. DOI:10.1007/s00590-013-1364-1.
35. Galmiche, C., Rodríguez, G.G., Xavier, F., Igeta, Y., Hidalgo Diaz, J.J., Liverneaux, P. Minimally invasive plate osteosynthesis for extra-articular distal radius fracture in postmenopausal women: longitudinal versus transverse incision. *J Wrist Surg.* 2019;8(01):18-23. DOI:10.1055/s-0038-1667305.
36. Sun, Z.Z., Rui, Y.J., Song, X.J., Wei, X.M. Minimally invasive plate osteosynthesis for distal radius fractures. *Indian J Orthop.* 2014;48(1):20-24. DOI:10.4103/0019-5413.125483.
37. 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. *Chirurgie de la main.* 2014;33(2): 95-99. DOI:10.1016/j.main.2013.12.006.
38. Pire, E., Hidalgo Diaz, J.J., Salazar Botero, S., Facca, S., Liverneaux, P.A. Long volar plating for metadiaphyseal fractures of distal radius: study comparing minimally invasive plate osteosynthesis versus conventional approach. *J Wrist Surg.* 2017;6(03):227-234. DOI: 10.1055/s-0037-1599791.

39. Zhang, X., Huang, X., Shao, X., Zhu, H., Sun, J., Wang, X. A comparison of minimally invasive approach vs conventional approach for volar plating of distal radial fractures. *Acta Orthop Traumatol Turc.* 2017 Mar;51(2):110-117. DOI:10.1016/j.aott.2017.02.013.

40. 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 Jun;11(2):208-219. DOI:10.4055/cios.2019.11.2.208.

41. Smith, J.L., Ebraheim, N.A. Anatomy of the palmar cutaneous branch of the median nerve: a review. *J Orthop.* 2019;16(6):576-579. DOI: 10.1016/j.jor.2019.06.010.

42. McKay, S.D., MacDermid, J.C., Roth, J.H., Richards, R.S. Assessment of complications of distal radius fractures and development of a complication checklist. *J Hand Surg.* 2001;26(5):916-922. DOI:10.1053/jhsu.2001.26662.

Информация об авторе:

Максимов Борис Игоревич – к.м.н., заведующий отделением травматологии и ортопедии ГБУЗ «Городская клиническая больница №29 имени Н.Э. Баумана» Департамента здравоохранения г. Москвы, Госпитальная пл. д.2, Москва, 111020, Россия, E-mail: dr.borismaximov@gmail.com

Information about author:

Boris I. Maximov – Cand. Sci. (Med.), Head of the Trauma Department of Moscow City Hospital #29 named after N.E. Bauman, Gosspitalnaya sq. 2, Moscow, 111020, Russia, E-mail: dr.borismaximov@gmail.com

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-67-72>

УДК 617.3

© Х.Ч. Хань, И.Ф. Ахтямов, С.А. Ардашев, 2023

Оригинальная статья / Original article



СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАРИАНТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПЕРЕЛОМА ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРА

Х.Ч. ХАНЬ¹, И.Ф. АХТЯМОВ^{1,2}, С.А. АРДАШЕВ¹

¹ ФГБОУ ВО Казанский государственный медицинский университет Минздрава России, 420012, Казань, Россия

² ГАУЗ Республиканская клиническая больница МЗ РТ, 420001, Казань, Россия

Аннотация

Вполне обосновано особое внимание к выбору методов лечения пациентов с переломами вертельной области бедренной кости, а также конкретной хирургической тактики. По мнению ряда исследователей, эндопротезирование тазобедренного сустава является альтернативой остеосинтезу при подобных повреждениях, в особенности у пациентов с ограниченными функциональными возможностями и отягощенным анамнезом.

Проведено сравнение первичных результатов эндопротезирования и конструкциями интрамедуллярной блокируемой фиксации у пациентов пожилого возраста с ожирением.

Цель. Оценить клиническую эффективность интрамедуллярного остеосинтеза и эндопротезирования у пациентов с ожирением при вертельных переломах проксимального отдела бедренной кости.

Методы исследования. Исследование проведено на базе ГАУЗ «Республиканская клиническая больница МЗ РТ». Всего было прооперировано – 76 пациентов в возрасте от 66 до 91 лет.

В лечении применялись две методики. 46 пациентов, перенесших первичное эндопротезирование тазобедренного сустава (ЭТБС) и 30 пациентов, которым использован блокируемый интрамедуллярный остеосинтез (БИОС) проксимальным бедренным гвоздём типа gamma-nail.

Выводы.

- Сравнительное исследование на относительно небольшом материале показало, что нет статистически значимой разницы по длительности операции между пациентами с нормальным ИМТ и с ожирением при различных хирургических подходах.

- Показатели кровопотери в обеих группах оказались меньше критического уровня ($p < 0,05$). Исследование ожидаемо подтвердило, что чем больше ИМТ пациента, тем дольше длительность операции и больше кровопотеря.

- Представленный материал позволяет констатировать, что артропластика может применяться при вертельных переломах проксимального отдела бедренной кости, если нет соответствующих хирургических противопоказаний.

- Относительная сложность проведения блокируемого интрамедуллярного штифтования, затруднение в активизации и реабилитации тучных пострадавших, риски ранней нагрузки на травмированную конечность, ведут к поискам альтернативных методов хирургического лечения вертельных переломов бедренной кости.

- Использование преимуществ эндопротезирования тазобедренного сустава важнейший фактор благоприятного исхода лечения, да и сохранения жизни этой сложной группе пострадавших.

Ключевые слова: остеосинтез; эндопротезирование; интрамедуллярная фиксация; ожирение.

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

Финансирование: Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Хань Х.Ч., Ахтямов И.Ф., Ардашев С.А., СРАВНИТЕЛЬНАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВАРИАНТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПЕРЕЛОМА ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА БЕДРА. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 67–72 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-67-72>

COMPARISON OF TWO SURGICAL TREATMENTS FOR PROXIMAL FEMUR FRACTURE IN ELDERLY OBESE PATIENTS

HAO CH. HAN¹, ILDAR F. AKHTYAMOV^{1,2}, SERGEY A. ARDASHEV¹

¹ Kazan State Medical University GAUZ, 420012, Kazan, Russia

² «The Republic Clinical Hospital of the Ministry of Health Republic of Tatarstan», 420001, Kazan, Russia

Abstract

The choice of treatment methods for patients with fractures of the trochanteric region of the femur, as well as specific surgical tactics, is justified. According to a number of researchers, hip arthroplasty is an alternative to osteosynthesis in such injuries, especially in patients with limited functional capacity and a poor medical history.

The primary results of endoprosthesis and intramedullary blocked fixation constructions in elderly patients with obesity were compared.

Purpose of the study. To evaluate the clinical efficacy of intramedullary osteosynthesis and endoprosthesis in obese patients with vertebral fractures of the proximal femur.

Materials and methods. The study was carried out on the basis of the Republican Clinical Hospital of the Ministry of Health of the Republic of Tatarstan. A total of 76 patients aged 66 to 91 years were operated on.

Two techniques were used in the treatment. 46 patients who underwent primary hip arthroplasty (THA) and 30 patients who underwent blocked intramedullary osteosynthesis (BIOS) with proximal femoral nail of gamma-nail type.

Results. - A comparative study with a relatively small sample showed that there was no statistically significant difference in the duration of surgery between patients with normal BMI and obese patients with different surgical approaches.

- Blood loss rates in both groups were less than the critical level ($p < 0.05$). The study expectedly confirmed that the higher the patient's BMI, the longer the duration of surgery and the greater the blood loss.

- The presented material suggests that arthroplasty can be used for vertebral fractures of the proximal femur if there are no relevant surgical contraindications.

- The relative difficulty of performing blocked intramedullary pinning, difficulty in activating and rehabilitating obese patients, and risks of early loading of the injured limb lead to the search for alternative methods of surgical treatment of acetabular femoral fractures.

- Using the advantages of hip arthroplasty is the most important factor of favorable outcome of treatment and life preservation for this complex group of patients.

Key words: osteosynthesis, arthroplasty, intramedullary fixation, obesity

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Han H.C., Akhtyamov I.F., Ardashev S.A., COMPARISON OF TWO SURGICAL TREATMENTS FOR PROXIMAL FEMUR FRACTURE IN ELDERLY OBESE PATIENTS. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023 № 1. pp. 67–72 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-67-72>

Введение

Ежегодно более двух миллионов человек получают травму проксимального отдела бедра (ПОБК). Международный фонд остеопороза к 2050 году прогнозирует рост подобных травм, число которых может достичь 6 млн 260 тыс. [1]. В России ежегодно этот диагноз выставляется 100–150 пострадавшим на 100 тыс. населения, и наблюдается тенденция к росту [2]. Во многом число пострадавших с переломами проксимального бедренного кости растет параллельно числу пожилых людей, поскольку более половины подобных повреждений происходит у людей от 60 лет, из них 60–70% - представительницы женского пола [3]. В тоже время, ряд авторов констатирует тенденцию к «омоложению» данной группы пострадавших [4].

Переломы ПОБК в большей части относятся к патологическим, так как являются следствием структурной несостоятельности кости и достигают 60–65% всех повреждений нижней конечности, а 35–40% из них происходят в вертельной зоне [5]. Нестабильные вертельные переломы у пожилых пациентов ассоциируются с высокой смертностью (более 20–30% в течение первого года) [6]. Причиной гибели т.н. становятся «застойные» осложнения в виде пролежней, тромбоэмболий, пневмоний и послеоперационного синдрома нарушения психики. Особенно сужено контингентом лиц, получивших подобную травму, является набор различных сопутствующих хронических заболеваний в 86% наблюдений [7]. Метаболические нарушения и избыточная

масса тела, в том числе, не только вносят коррективы в исход травм, но и осложняют течение послеоперационного периода, например, являясь фактором риска развития инфекционных осложнений [8].

В последние десятилетия в клинической практике хирургическое лечение повреждений ПОБК доказали свое преимущество перед консервативным методом. По современным рекомендациям повреждение ПОБК является показанием к оперативному лечению независимо от возраста и веса пациентов [9].

Правильный выбор тактики определяет не только исходы лечения, но и качество жизни, а также сокращает летальность после травмы. В этой связи, оценка вариантов хирургического пособия весьма актуальна и особенно интересна в группе пациентов с ожирением.

Цель:

Оценить клиническую эффективность интрамедуллярного остеосинтеза и эндопротезирования у пациентов с ожирением при вертельных переломах проксимального отдела бедренной кости.

Методы исследования:

Исследование проведено на базе ГАУЗ «Республиканская клиническая больница МЗ РТ». Всего было прооперировано – 76 пациентов в возрасте от 66 до 91 лет. Исследование проведено

с разрешения локального этического комитета при ФБГОУ ВО Казанский ГМУ Минздрава России.

В лечении применялись две методики. Группа I - 46 пациентов, перенесших первичное эндопротезирование тазобедренного сустава (ЭТБС), группа II - 30 пациентов, которым использован блокируемый интрамедуллярный остеосинтез (БИОС) проксимальным бедренным гвоздём типа gamma-nail.

Возраст пациентов достоверно не различался и составил $-80,7 \pm 6,5$ и $78,7 \pm 5,2$ лет, соответственно ($p=0,18$). Анализ исследуемого контингента позволяет выявить типичные для данного вида повреждений особенности: преобладание женщин, увеличение с возрастом количества пациентов с посредственным и плохим состоянием здоровья (возрастная группа старше 70 лет пропорционально представлена коморбидным фоном).

В обеих группах преобладали лица с метаболическими нарушениями. Используя показатель ИМТ = 25 кг/м^2 в качестве точки отсечения, той или иной степенью нарушения веса страдали 46 (60,5%) пациентов. С избыточной массой тела 41,3% (19 случаев), ожирением первой степени 8,7% (4 случая) и третьей степени 2,2% (1 пациент) и нормальный ИМТ 47,8% (22 случая) наблюдались в I группе. Во II группе с избыточной массой тела было 50% (15 случаев), ожирение первой степени 23,3% (7 случаев), нормальный ИМТ 26,7% (8 случаев).

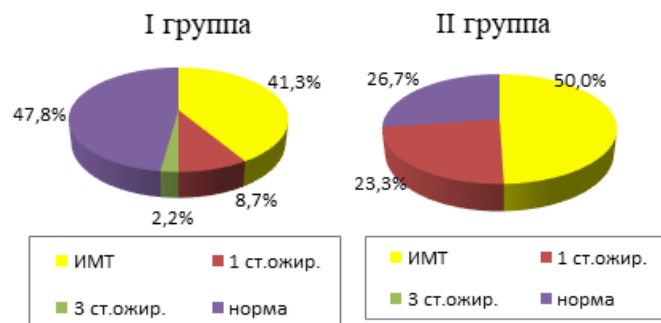


Рис. 1. Характеристика обеих групп пациентов.

Отдаленные результаты изучены на сроке 6 и 12 месяцев. Основным методом наблюдения был рентгеноконтроль, кроме того анализировались анатомические и функциональные результаты по шкале Харриса.

Статистическая обработка материалов работы проводилась с использованием программы IBM SPSS 19.0, STATISTICA 10. Выборка была проверена на нормальное распределение. Количественные результаты представлены в виде $M \pm SD$, где M -выборочное среднее, SD - стандартное отклонение. Достоверность различий определяли с помощью t-критерия Стьюдента. Результаты признавали значимыми при уровне вероятности $p < 0,05$. Сравнение частот встречаемости признаков оценивали с помощью непараметрического критерия Хи-квадрат.

Результаты:

Анализ показал, что не было статистически значимой разницы по длительности операции между пациентами с нормальным ИМТ и группой с ожирением при различных хирургических подходах. Отсутствует линейная регрессия зависимости между индексом массы тела и длительностью оперативного вмешательства. Однако, исходя из статистического анализа, пациенты с ожирением оперировались дольше и имеют больший разброс данных.

Показатели кровопотери в обеих группах оказались меньше критического уровня ($p < 0,05$). Исследование подтвердило, что чем больше ИМТ пациента, тем дольше длительность операции и больше кровопотеря. Хотя этот вывод кажется безапелляционным, считаем, что он требует уточнения и анализа (таб. 1, 2).

Таблица 1

Сравнение показателей между двумя весовыми категориями при ЭТБС

Группа (ИМТ)	Количество случаев (n)	Длительность операции (мин)	Кровопотеря (мл)	Койко-дней
ИМТ $\geq 25 \text{ кг/м}^2$	24	73,515,2	243,577,1	9,32,5
ИМТ $< 25 \text{ кг/м}^2$	22	70,512,8	185,054,2	10,22,1
P		0,463	0,005	0,220

Таблица 2

Сравнение показателей между двумя весовыми категориями при БИОС

Группа (ИМТ)	Количество случаев (n)	Длительность операции (мин)	Кровопотеря (мл)	Койко-дней
ИМТ $\geq 25 \text{ кг/м}^2$	22	69,818,08	142,0839,6	10,54,2
ИМТ $< 25 \text{ кг/м}^2$	8	66,310,6	91,925,9	8,83,1
P		0,519	0,003	0,308

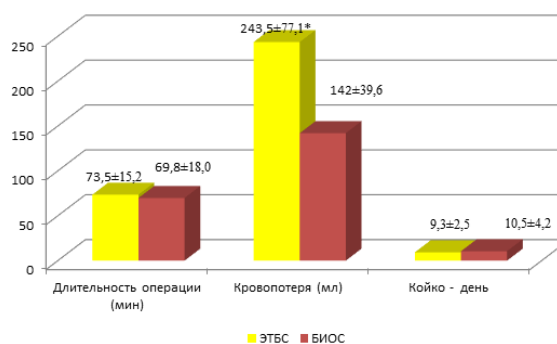


Рис. 2. Сравнение показателей стационарного этапа лечения пациентов с повышенным ИМТ при различных вариантах хирургического пособия

* - достоверные различия ($p < 0,05$).

Клинико-функциональные результаты лечения оценены по шкале Харриса на сроках 6 и 12 месяцев в обеих группах. Результаты представлены в таблице 3. У пострадавших с нормальным ИМТ и ожирением отмечается положительная динамика, но достоверность отличий функциональных возможностей ($p < 0,05$) получена только на сроке 6 месяцев. Через 12 месяцев после операции в обеих группах достоверных отличий нет.

Таблица 3

Функциональные результаты по шкале Харриса

Вид операция	Через 6 месяцев	Через 12 месяцев
ЭТБС	69,9±4,0	86,9±4,6
БИОС	67,0±4,2	85,9±3,29
P	0,04	0,28

Обсуждение

В настоящее время хирургическое лечение чрезвертельных переломов бедра в основном делится на внутреннюю фиксацию и искусственную замену тазобедренного сустава, при выборе конкретных методов следует учитывать особенности пожилых пациентов с ожирением. Ряд сравниваемых параметров двух видов хирургического лечения вертельных переломов бедренной кости у пострадавших пожилого возраста на фоне ожирения в нашем исследовании наглядно показывает равноценную эффективность каждого из них.

Нынешний проект рекомендаций по лечению столь частого вида переломов, однозначно ориентированы на остеосинтез, поскольку результаты его обнадеживают (рисунок 3).

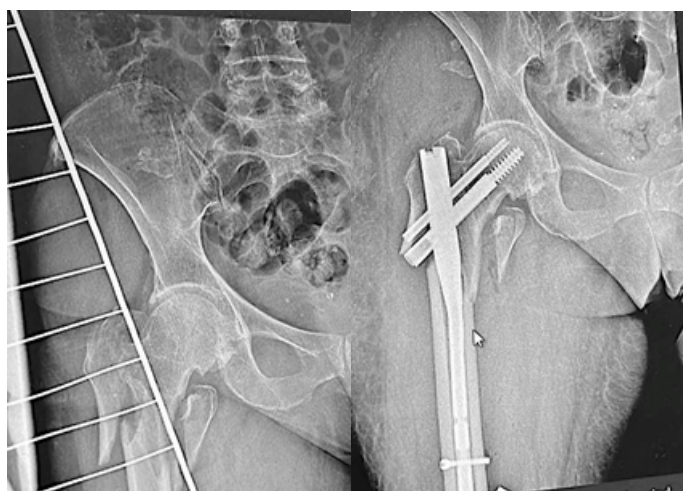


Рис. 3. Рентгенограммы проксимального отдела правой бедренной кости пациентки С. 60 лет с ИМТ 41,3 кг/м², где А - при поступлении в клинику и Б - после проведенного остеосинтеза.

Вместе с тем, авторы [10] явно не учитывают проблему ожирения, свойственного 35% нашего населения в пожилом возрасте. Проблемным вопросом остаётся развитие в ряде случаев посттравматического коксартроза, что в итоге приводит к необходимости проведения повторного вмешательства, уже радикального (рисунок 4).

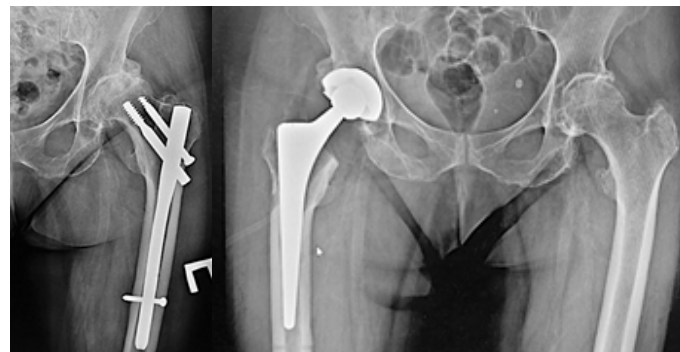


Рис. 4. Рентгенограммы тазобедренных суставов пострадавшей Ш. 72 лет, ИМТ = 31,1 кг/м², где А - коксартроз справа, состояние после ранее проведенного БИОС и Б - после тотального эндопротезирования правого тазобедренного сустава.

Относительная сложность проведения БИОС в этих случаях, затруднение в активизации и реабилитации тучных пострадавших и риски ранней нагрузки на травмированную конечность, ведут к поискам альтернативных методов хирургического лечения вертельных переломов бедренной кости.

Ранняя активизация с возможностью полноценной нагрузки на оперированную конечность при использовании преимуществ эндопротезирования важнейший фактор благоприятного исхода лечения (рисунок 5), да и сохранения жизни этой сложной группе пострадавших.



Рис. 4. Рентгенограммы тазобедренных суставов пострадавшей К. 75 лет с ИМТ = 38,6 кг/м², где А - левый тазобедренный сустав в период поступления пациентки в клинику и Б - после тотального эндопротезирования на сроке 12 месяцев.

Эндопротезирование является одним из возможных вариантов лечения вертельных переломов бедренной кости. Мы проанализировали лишь малую толику результатов, но и они на ранних сроках (год полноценной реабилитации пациента) позволяют сделать вывод о приемлемости метода в ряде случаев для лечения пострадавших.

Зарубежная литература показывает, что ожирение является одним из факторов, приводящих к ревизии после артропластики [11]. Частота износа и выживаемости послеоперационных протезов у пациентов с ожирением является общей проблемой врачей и пациентов. Повышенная масса тела неизбежно приведет к увеличению нагрузки на протез и износу вкладыша сустава. Ранняя выживаемость пациентов в этой группе была хорошей, но необходимо проверить долгосрочный эффект. Следует учесть, что мы направлены обсуждаем именно возможность и приемлемость артропластики при вертельных переломах бедра у пожилых пациентов с определенной долей (за счет повышенного веса) ограниченности передвижений.

Выводы:

- Относительная сложность проведения блокируемого интрамедуллярного штифтования, затруднение в активизации и реабилитации тучных пострадавших, риски ранней нагрузки на травмированную конечность, ведут к поискам альтернативных методов хирургического лечения вертельных переломов бедренной кости.

- Сравнительное исследование на относительно небольшом материале показало, что нет статистически значимой разницы по длительности операции между пациентами с нормальным ИМТ и с ожирением при различных хирургических подходах.

- Показатели кровопотери в обеих группах оказались меньше критического уровня ($p < 0,05$). Исследование ожидаемо подтвердило, что чем больше ИМТ пациента, тем дольше длительность операции и больше кровопотеря.

- Представленный материал позволяет нам констатировать, что артропластика тазобедренного сустава может и должна применяться при вертельных переломах проксимального отдела бедренной кости именно при ожирении пациентов, если нет соответствующих хирургических противопоказаний.

- Использование преимуществ эндопротезирования тазобедренного сустава важнейший фактор благоприятного исхода лечения, да и сохранения жизни этой сложной группе пострадавших.

Список литературы / References:

1. Колондаев А.Ф., Родионова С.С., Солод Э.И.. Комбинированное лечение переломов шейки бедренной кости на фоне остеопороза // Русский медицинский журнал. 2004; 12, (24):1388 – 1392 [Kolondaev A.F. Combined treatment of femoral neck fractures with osteoporosis /

A.F. Kolondaev, S.S. Rodionova, E.I. Malt // Russian Medical Journal. 2004; 12, (24):1388 - 1392. (In Russ.)]

2. Котельников Г.П., Ардагов С.В., Панкратов А.С., Огурцов Д.А., Бутовченко И.Ю. Лечение пожилых пациентов с повреждениями проксимального отдела бедра // Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием «Новое в травматологии и ортопедии», посвященная 45-летию кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной хирургии. СамГМУ. Самара, 2012; 56-57. [Kotelnikov G.P., Ardatov S.V., Pankratov A.S., Ogurtsov D.A., Treatment of elderly patients with injuries of the proximal femur // All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «New in Traumatology and Orthopedics», dedicated to the 45th anniversary of the Department of Traumatology, Orthopedics and Ex-Tremal Surgery. SamG-MU. - Samara, 2012; 56-57. (In Russ.)]

3. Аманов А.Т. и др. Биомедицинские исследования функций и качества жизни пожилых пациентов с переломами проксимального отдела бедренной кости / Вестник КазНМУ. 2014; (1):243-245. Amanov A.T. et al. [Biomedical research on function and quality of life in elderly patients with proximal femur fractures / A.T. Amanov [and others] // Bulletin of KazNMU. 2014; (1):243-245. (In Russ.)]

4. Кауц О.А., Барабаш А.П., Русанов А.Г. Анализ методов лечения околоуставных переломов проксимального отдела бедренной кости и их последствий (обзор литературы) / О.А. Кауц, А.П. Барабаш, А.Г. Русанов // Саратовский научно-медицинский журнал. 2010; (1):154-159. [Kauts O.A., Barabash A.P., Rusanov A.G. Analysis of treatments for periarticular fractures of the proximal femur and their consequences (literature review) / O.A. Kauts, A.P. Barabash, A.G. Rusanov // Saratov Journal of Medical Scientific Journal. 2010; (1):154-159. (In Russ.)]

5. Матвеев А.Л. и др. Эпидемиология метаболических заболеваний скелета у лиц с высокой вероятностью патологических переломов проксимального отдела бедра и методы их хирургической профилактики // Курский научно-практический вестник человек и его здоровье. 2015;(4) : 97-103. [Matveev A.L. et al. The metabolic diseases of the skeleton in persons with a high probability of pathological fractures of the proximal femur and methods of their surgical prophylaxis // Kurs Scientific Practical Bulletin Man and His Health 2015; (4): 97-103. (In Russ.)]

6. Sakr M., Girard J., Khatib H. The effectiveness of primary bipolar arthroplasty in treatment of unstable intertrochanteric fractures in elderly patients // N. Am. J. Med. Sci. — 2010; 2 (12): 561–568. doi: 10.4297/najms.2010.2561

7. Дулаев А.К. и др. Раннее хирургическое вмешательство при чрезвертельных переломах бедренной кости у пациентов пожилого и старческого возраста // Скорая медицинская помощь. 2011; 2:54-58. [Dulaev A.K. et al. Early surgical intervention for per trochanteric fractures of the femur in elderly and elderly patients // Emergency Medical Services 2011; 2: 54-58. (In Russ.)]

8. Дюжигов А.А., Карташов А.А. Сравнительная эффективность различных методов остеосинтеза грудины после аортокоронарного шунтирования у больных ишемической болезнью сердца на фоне избыточной массы тела / А.А. Дюжигов, А.А. Карташов А.А. // Кардиология и сердечно-сосудистая хирургия. 2013;5:38-41. [Dyuzhikov A.A., Kartashov A.A. Comparative effectiveness of various methods of osteosyn-

thesis of the sternum after coronary artery bypass surgery inpatients with coronary heart disease on the background of over weight / A.A. Dyuzhikov, A.A. Kartashov A.A. // Cardiology and cardiovascular surgery. 2013; 5: 38-41. (In Russ.)]

9. Ивченко А.В. и др. Использование проксимальной бедренной блокирующей пластины для напряженного остеосинтеза вертельных переломов бедра/ А.В. Ивченко и др.//Травма. 2013;5: 51-54. [Ivchenko A.V. et al. The use of a proximal femoral blocking plate for intense osteosynthesis of hip fractures / A.V. Ivchenko et al // Trauma. 2013; 5: 51-54. (In Russ.)]

10. Дубров В., Шелупаев А.А., Арутюнов Г.П., Белов М.В. и др. Переломы проксимального отдела бедренной кости. Клиника, диагностика и лечение (Клинические рекомендации, в сокращении) Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2021; 28(4): 49-89. [Dubrov V.E. et al. Fractures of the proximal femur. / Clinical features, diagnosis and treatment (Clinical guidelines, abridged version). N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics. 2021; 28(4): 49-89 (In Russ.)]

11. Adelani M.A. Crook K, Barrack R.L. et al. What is the prognosis of revision total hip arthroplasty in patients 55 years and younger? Clinorthop Relat Res. 2014; 472(5) : 1518-1525 doi: 10.1007/s11999-013-3377-9

12. Ахтямов И.Ф., Хань Х.Ч., Файзрахманова Г.М., Гагифулов Г.Г., Юсеф А.И. Артропластика тазобедренного сустава у пациентов с ожирением (метаанализ)/ Травматология и ортопедия России. 2019, 25 (1): 117-123. [Akhtiamov I.F., Han H.Z., Faizrahmanova G.M., Gari-fullov G.G., Yousef A.I. [Hip Arthroplasty in Patients with Obesity (Meta-analysis)]. Traumatology and Orthopedics of Russia. 2019;25 (1): 117-123 (In Russ.)]

Информация об авторах:

Хао Чжи Хань – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний Казанского государственного медицинского университета, ул. Бутлерова 49, г. Казань, 420012 E-mail: hanhaozhi723@hotmail.com

Ильдар Фуатович Ахтямов – д.м.н., профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний, ФГБОУ ВО «Казанский государственный медицинский университет», г. Казань, Россия. E-mail: yalta60@mail.ru

Сергей Александрович Ардашев – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии экстремальных состояний Казанского государственного медицинского университета, г. Казань, Россия. E-mail: ardashev-sergei@mail.ru

Автор, ответственный за переписку: Ахтямов Ильдар Фуатович, e-mail: yalta60@mail.ru

Information about authors:

Hao Ch. Han – postgraduate of department of traumatology, orthopedic surgery of critical states, Kazan State Medical University, ul. Butlerova 49, Kazan, 420012

Ildar F. Akhtyamov – MD, PhD, professor, chief of chair of traumatology, Orthopedic surgery of critical states, Kazan State Medical University, Kazan, Russia.

Sergey A. Ardashev – postgraduate of department of traumatology, orthopedic surgery of critical states, Kazan State Medical University, ul. Butlerova 49, Kazan, 420012

Corresponding author: Ildar F. Akhtyamov, e-mail: yalta60@mail.ru

КЛИНИЧЕСКИЙ СЛУЧАЙ



<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-73-81>

УДК 617.3 / 616.72-018.3 / 616-079.1 / 543.424.4

© Б.Д. Райков, К.М. Азаркин, А.В. Лычагин, Ю.Р. Гончарук, М.М. Липина, А.В. Гаркави, И.А. Вязанкин, Д.А. Погосян, Е.Б. Калинин, Б.М. Калинин, Т.Р. Кудрачев, Э.Э. Мурдалов, А.Р. Дрогин, Н.О. Белов, Н.Р. Ровнягина, Г.С. Будылин, 2023

Оригинальная статья / Original article

НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ СУСТАВНОГО ХРЯЩА: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ (КЛИНИЧЕСКИЙ ПРИМЕР)

Б.Д. РАЙКОВ¹, К.М. АЗАРКИН¹, А.В. ЛЫЧАГИН¹, Ю.Р. ГОНЧАРУК¹, М.М. ЛИПИНА¹, А.В. ГАРКАВИ¹, И.А. ВЯЗАНКИН¹, Д.А. ПОГОСЯН^{1,2}, Е.Б. КАЛИНСКИЙ¹, Б.М. КАЛИНСКИЙ³, Т.Р. КУДРАЧЕВ¹, Э.Э. МУРДАЛОВ¹, А.Р. ДРОГИН¹, Н.О. БЕЛОВ^{1,2}, Н.Р.РОВНЯГИНА^{4,5}, Г.С. БУДЫЛИН^{4,5}

¹Кафедра травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

²Кафедра безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

³ГБУЗ им. С.П. Боткина ДЗМ. Москва, 125284, Россия

⁴Лаборатория клинической биофотоники Института регенеративной медицины Научно-технологического парка биомедицины, 119991, Москва, Россия

⁵Научно-технологический парк биомедицины ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова (Сеченовский университет), 119991, Москва, Россия

Аннотация

Введение. Остеоартрит (ОА) является одной из самых распространенных патологий суставов. Своевременная диагностика данного заболевания на ранних стадиях играет важную роль для планирования последующей тактики лечения. К сожалению, имеющиеся клинические методы не позволяют выявить изменения хряща на начальных этапах ОА.

Цель исследования. Изучение возможностей оптической спектроскопии, а именно – ее применение в интраоперационной диагностике состояния хряща.

Материалы и методы. Анализ литературных данных о методах диагностики изменений хрящевой ткани с последующим проведением собственного клинического эксперимента – интраоперационное применение спектроскопии для оценки состояния хряща у пациента Ш. 33 лет с дефектом хрящевой ткани по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) и визуального осмотра во время проведения артроскопической операции.

Результаты. Существующие методы визуализации, которые могут применяться *in vivo*, требуют доработки для использования в ранней диагностике остеоартрита, в то время как NIR-спектроскопия подходит для выполнения этой задачи. В ходе эксперимента были получены данные о состоянии хряща, которые повлияли на выбор дальнейшей лечебной тактики.

Заключение. Метод спектроскопии является перспективным направлением в диагностике состояния хряща, который может использоваться интраоперационно, не повреждая при этом хрящевую ткань.

Ключевые слова: остеоартрит; хрящ; оптическая спектроскопия; интраартикулярные повреждения

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Райков Б.Д., Азаркин К.М., Лычагин А.В., Гончарук Ю.Р., Липина М.М., Гаркави А.В., Вязанкин И.А., Погосян Д.А., Калинин Е.Б., Калинин Б.М., Кудрачев Т.Р., Мурдалов Э.Э., Дрогин А.Р., Белов Н.О., Ровнягина Н.Р., Будылин Г.С., НОВЫЙ СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПАРА-МЕТРОВ СУСТАВНОГО ХРЯЩА: ОТ ТЕОРИИ К ПРАКТИКЕ (Клинический пример). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 73–81 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-73-81>

A NEW METHOD FOR DETERMINING THE DIAGNOSTIC PARAMETERS OF ARTICULAR CARTILAGE: FROM THEORY TO PRACTICE

BOGDAN D. RAIKOV¹, KIRILL M. AZARKIN¹, ALEXEY V. Lychagin¹, YULIYA R. GONCHARUK¹, MARINA M. LIPINA¹, ANDREY V. GARKAVI¹, IVAN A. VYAZANKIN¹, DAVID A. POGOSYAN^{1,2}, EUGENE B. KALINSKY¹, BORIS M. KALINSKY³, TAGIR R. KUDRACHEV¹, ANDREY R. DROGIN¹, NIKITA O. BELOV^{1,2}, NATALIYA R. ROVNYAGINA^{4,5}, GLEB S. BUDYLIN^{4,5}

¹Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991 Moscow, Russia

²Department of Life Safety and Disaster Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

³Botkin Hospital, Moscow, 125284, Russia

⁴Laboratory of Clinical Biophotonics Institute for Regenerative Medicine, Sechenov First Moscow State Medical University, Moscow, 119991, Russia

⁵Biomedicine Science and Technology Park, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

Abstract

Introduction. Osteoarthritis (OA) is one of the most spread joint pathologies. Timely diagnostics of this disease at the early stages plays an important role for planning following treatment tactics. Unfortunately, the available clinical methods lack the ability to detect cartilage changes at the initial grades of OA.

The aim of the study. To study the capabilities of optical spectroscopy, in particular – its usage in intraoperative diagnostics of the cartilage condition.

Materials and methods. Analysis of the literature data about methods for diagnosing changes in cartilage tissue, with further conducting our own clinical experiment – intraoperative application of the spectroscopy to assess the cartilage condition at 33-year-old patient Sh. with the defect of the cartilage tissue, according to the MRI investigation and visual examination during the arthroscopic surgery.

Results. Existing imaging methods, that can be used in vivo, require further development for usage in the early diagnosis of osteoarthritis, while NIR-spectroscopy is suitable for this task.

Conclusion. The spectroscopy method is a promising direction in the diagnostics of cartilage condition, which can be used intraoperatively without damaging the cartilage tissue.

Keywords: osteoarthritis; cartilage; optical spectroscopy; intra-articular lesions

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Raikov B.D., Azarkin K.M., Lychagin A.V., Goncharuk Y.R., Lipina M.M., Garkavi A.V., Vyazankin I.A., Pogosyan D.A., Kalinsky E.B., Kalinsky B.M., Kudrachev T.R., Murdalov E.E., Drogin A.R., Belov N.O., Rovnyagina N.R., Budylina G.S., A NEW METHOD FOR DETERMINING THE DIAGNOSTIC PARAMETERS OF ARTICULAR CARTILAGE: FROM THEORY TO PRACTICE. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1 pp. 73–81 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-73-81>

Введение

Суставной хрящ – специализированная соединительная ткань, которая выполняет функцию распределения и передачи нагрузки на подлежащую кость, а также обеспечивает плавное движение в суставах, уменьшая трение. Функции суставного хряща реализуются за счет уникального взаимодействия между компонентами межклеточного матрикса, который состоит из воды (75-80%), коллагена (10-15%) и протеогликанов (3-10%) (Рис. 1). Различные изменения состава этого матрикса, вызванные вследствие старения или травмы, часто приводят к развитию такого дегенеративного заболевания, поражающего синовиальные суставы, как остеоартрит (ОА) [1, 2, 3].

Существующие методы лечения не способны восстановить пораженный хрящ и ранняя диагностика ОА очень важна для начала проведения своевременного лечения, направленного на замедление прогрессирования дегенеративных процессов [3]. Поздние стадии ОА характеризуются физическими (повышение проницаемости и снижение растяжимости) и структурными

(уменьшение концентрации коллагена и протеогликанов, повышение гидратации) изменениями хряща. В то же время, состав хряща на ранних стадиях ОА отличается от нормы незначительно, что усложняет раннюю диагностику [4].

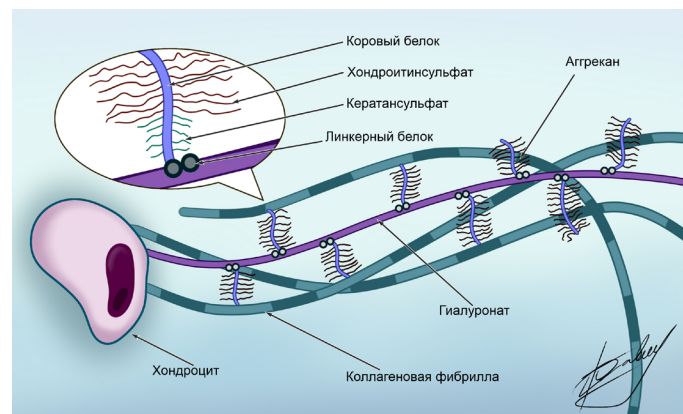


Рисунок 1. Биохимический состав хряща

Биохимический метод, позволяющий оценить состав хряща (концентрацию коллагена и протеогликана (PG)) обладает высокой точностью, но его использование возможно только на удаленной ткани хряща (биоптате), с предварительной химической обработкой, что исключает применение этого способа *in vivo* [5, 6, 7, 8, 9].

Гистологический метод также не применим интраоперационно, для его выполнения необходим забор биологического материала и подготовка препарата для последующего анализа, его результаты могут быть субъективными и зависят от качества материала, опыта и компетентности врача-диагноста [10]. Данный метод может быть дополнен последующей денситометрией [11, 12].

Использование компьютерной томографии с контрастированием представляется перспективным методом для количественной и пространственной оценки состояния хряща, однако имеются определенные ограничения – сложное техническое оснащение, длительное время распределения контрастного вещества в толще хряща, которое может занимать от 2 до 72 часов, необходимость введения контраста в полость сустава и его возможная токсичность [13, 14]. Все эти проблемы требуют решения и пока что исключают использование этого метода *in vivo*, а тем более интраоперационно.

Метод магнитно-резонансной томографии (МРТ) является неинвазивным методом диагностики состояния хряща. На результаты оказывает влияние концентрация PG, ориентация коллагена и уровень гидратации хряща. Интраоперационное применение также в настоящее время невозможно [3, 11, 15].

Таким образом, вышеупомянутые методы либо используются ретроспективно для окончательного определения стадии ОА (биохимический, гистологический, денситометрия), либо требуют доработки методики и технологии для широкого внедрения в практику врача-ортопеда (КТ, МРТ).

Современные исследования сфокусировались на оптических и акустических техниках диагностики, способных в условиях реального времени оценить состояние ткани, при этом – не повреждая ее.

Спектроскопия в ближнем инфракрасном диапазоне (NIR-спектроскопия) является одной из самых перспективных методик, которая показала высокий потенциал для быстрого определения целостности хряща NIR-спектроскопия – определение молекулярных колебаний, чувствительный к определенным типам связи, включая С-Н, N-Н, О-Н и S-Н, которые формируют структурный каркас мягких биологических тканей. В связи с этим, в последние годы возрос интерес к этому методу в исследовании характеристик бляшек, диагностике артрита и оценки состояния опухолей. Применение NIR-спектроскопии для оценки состояния хряща требует понимания вклада отдельных компонентов ткани к ее общему спектральному отклику. Таким образом, интерпретация результатов спектроскопии требует фундаментального понимания взаимодействия определенных компонентов матрикса хряща с конкретными областями спектра [2] (Рис. 2).

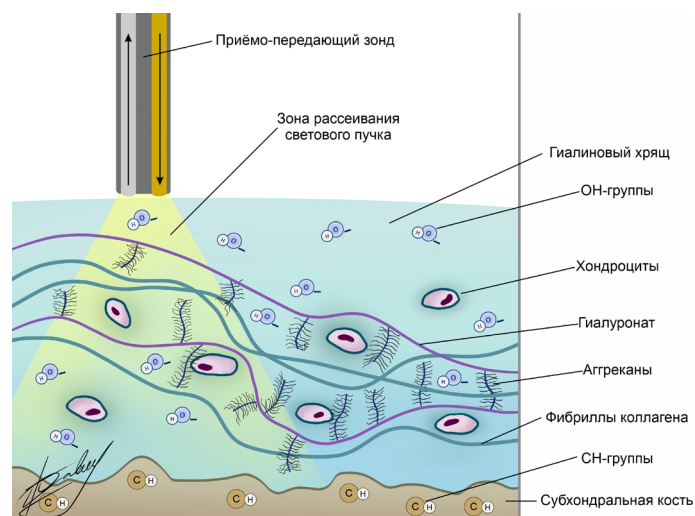


Рисунок 2. Определение химических групп при спектроскопии суставного хряща

Внеклеточный матрикс суставного хряща состоит из сетей коллагеновых фибрилл, не связанных с коллагеном белков, и протеогликанов. Коллагеновые фибриллы отвечают за жесткость ткани при растяжении и сдвиге, обеспечивая структурный каркас ткани. Протеогликаны, в свою очередь, играют ключевую роль в способности ткани сопротивляться нагрузкам и восстанавливаться после разгрузки. Спектр суставного хряща можно рассматривать как суммарную величину взаимодействия инфракрасного излучения с тканью на микроструктурном уровне. Следовательно, различные структурные изменения в составе компонентов хряща, можно обнаружить по изменению этого спектра, отражающего физические и функциональные характеристики ткани [1, 6].

Вопрос о поиске оптимального метода для оценки состояния хряща при ОА остается актуальной проблемой в клинической практике, поэтому целью данного исследования является изучение возможностей оптической спектроскопии, а именно – ее применение в интраоперационной диагностике состояния хряща.

Материалы и методы

Для реализации цели сформулирован следующий дизайн: на основании литературных данных сформировано представление основных методов оценки компонентов суставного хряща (этап 1), с дальнейшим подтверждением возможности интраоперационного применения спектроскопии и созданием формы оценки коленного сустава (этап 2).

Этап 1. Анализ статей был произведен с использованием базы данных Pubmed, опубликованных с 1981 по 2023 год.

Ключевые слова для поиска - proteoglycans AND articular AND cartilage AND water AND content NOT ligament NOT treatment – были сформированы таким образом, чтобы в публикациях

исследовался только суставной хрящ, были проанализированы такие параметры как содержание протеогликанов и гидратация (взаимосвязанные параметры, определяющие состояние хряща), и исключались результаты различного рода лечебных процедур.

Критерии включения и исключения

Для анализа были выбраны статьи с такими типами публикации как клинические и экспериментальные исследования. Научные и систематические обзоры, комментарии и письма к автору, личные мнения были исключены. Анализировались работы об изучении суставного хряща исключительно коленного сустава. Процессы регенерации, скорости синтеза белков и различных местных биологически активных веществ не анализировались (исключаются работы *in vivo*, *ex vivo*, *in silico*). Также был важен тип воздействия на исследуемую хрящевую ткань – диагностический, исключались работы, включающие различные методики лечения или моделирования процессов ОА.

Анализировались следующие параметры: компонент, методы диагностики, участники исследования (люди, животные) и их характеристика (количество участников, пол, возраст, стадия ОА), тип вмешательства при заборе хрящевой ткани с указанием локализации.

Этап 2. Методология измерений суставного хряща. В положении пациента на спине в условиях стерильной операционной в ходе выполнения артроскопической операции из антеромедиального и антеролатеральных доступов выполнялась визуальная и пальпаторная оценка менисков и суставного хряща по классификации ICRS.

Для выполнения оптической спектроскопии была использована вольфрам-галогеновая лампа со сплошным спектром излучения. Регистрация отклика осуществлялась оптическими волокнами приемно-передающего зонда в диапазоне 850-1050 нм. Перед каждым исследованием был измерен эталонный спектр лампы I_{ref} , полученный при измерении от стандарта диффузного отражения, а также фоновый спектр I_{bg} . В результате измерения спектров был рассчитан спектр отражения $R(\lambda)$, отраженного от хряща или мениска. Эффективный спектр поглощения $OD(\lambda)$ рассчитывали по значениям оптической плотности в зависимости от длины волны. Из полученного спектра $OD(\lambda)$ далее определяли оптические параметры – значение наклона k (нм⁻¹) и константы C для прямой, проходящей через точки 850 и 1050 нм спектра $OD(\lambda)$, характеризующей рассеяние света в ткани хряща, где k и C характеризуют рассеяние света в ткани хряща. Данная прямая описывается уравнением $y=k(\lambda-850)+C$. Рассчитывали индекс содержания воды I_{OH} как высоту спектра $OD(\lambda)$ над данной прямой на длине волны 980 нм и определяли значение величины I_{CH} как высоту спектра $OD(\lambda)$ в точке 930 нм относительно прямой, проходящей через точки 910 нм и 950 нм.

Полученные результаты заносились в базу данных. Затем с помощью методов машинного обучения обрабатывали полученные данные (I_{OH} , I_{CH} , k , C) и исходя из полученных результатов была диагностирована степень поражения суставного хряща

и субхондральной кости.

С помощью спектроскопии диффузного отражения были определены точные границы изменений суставного хряща и субхондральной кости. Полученные в ходе артроскопии данные были занесены в разработанную Форму оценки коленного сустава. Стадии патологических изменений суставного хряща были отмечены на карте Формы оценки коленного сустава. Они были размечены согласно степеням по классификации ICRS, где 1 степень – зеленый цвет, 2 степень – желтый цвет, а 3 и 4 степени размечены красным и фиолетовым цветом соответственно (Рисунок 3).

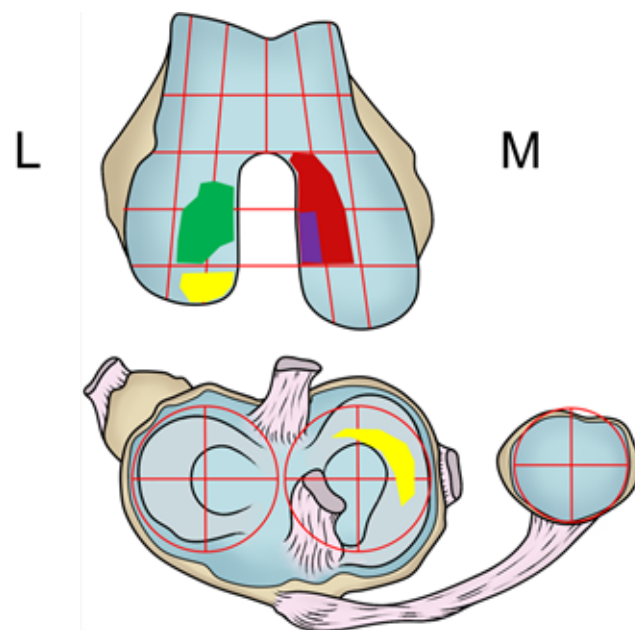


Рисунок 3. Карта Формы оценки изменений суставного хряща коленного сустава.

Результаты

Наиболее часто упоминаемыми методами диагностики состояния суставного хряща являются: биохимический анализ [5, 6, 7, 8, 9, 16], МРТ [2, 3, 10, 11, 15, 17], денситометрия [4, 6, 11, 12, 18], КТ с контрастом [13, 14, 18] и механический анализ [4, 5, 6, 7, 8, 9, 12].

Данные методы дают возможность оценить такие показатели как количественную концентрацию коллагена [2, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12], количественную концентрацию протеогликанов [3, 4, 5, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17], пространственное расположение протеогликанов [3, 6, 10, 13, 18] и модуль упругости [4, 5, 6, 7, 8, 9, 12].

Чаще всего описаны результаты количественного определения протеогликанов [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 11, 12, 15, 16, 17].

Большая часть исследований – экспериментальные [3, 4, 5, 6, 7, 9, 10, 11, 12, 13, 18].

Модуль упругости хряща увеличивается при увеличении

концентрации PG и не связан с концентрацией коллагена [5, 6, 7], выше в местах с повышенной нагрузкой (так как там большее содержание PG) [6, 16], увеличивается при уменьшении гидратации [7, 8, 12]. Модуль упругости ниже в хряще с надколенника, по сравнению с хрящом с бедренной кости (так как там меньшее содержание PG) [7].

Описано распределение СА4+ на поверхности (0-60%), которое зависит от гидратации, в глубине (40-100%) – от концентрации PG, распределение гадотеридола зависит только концентрации коллагена. После индуцированной трипсином потере PG, проникновение гадопентетата и иоксаглата увеличилось на 34% и 48% соответственно при КТ с контрастом [3, 12].

При КТ с контрастом (СА4+) – введение непосредственно в полость сустава, контрастное вещество связывается с PG и накапливается преимущественно в среднем и глубоком слое хряща [13, 18], больше всего PG в глубине по данным спектроскопии [6], при МРТ – больше всего PG в среднем и глубоком слое [3, 10].

Уменьшение PG и коллагена улучшает визуализацию гидратации хряща на T1 МРТ [3, 11, 15].

Ранее релаксация T2 была связана с содержанием воды, однако известно, что на нее сильно влияет ориентация коллагена. Продемонстрированы значительные (Pb,01) линейные ассоциации между скоростью релаксации и содержанием воды в тканях (R1: $r=-0,81$, R2: $r=-0,60$) и содержанием PG (R1: $r=0,75$). После поправки на содержание воды в тканях частичный корреляционный анализ не показал значительной связи между скоростью релаксации и содержанием в тканях PG [11].

Двухкомпонентное картирование T2, измеренное с помощью многокомпонентного однократного наблюдения равновесия T1 и T2 (mcDESPOT), является чувствительным для обнаружения дегенерации хряща в коленном суставе человека, но не коррелирует с составом хряща и его механическими свойствами. Kallioniemi AS et al. изучили взаимосвязи между двухкомпонентными параметрами T2, измеренными с помощью mcDESPOT при 3,0 Тл, и составом хряща и его механическими свойствами. Карты параметров однокомпонентного времени релаксации T2 (T2), времен релаксации T2 быстро релаксирующего компонента связанной макромолекулярной воды (T2F) и медленно релаксирующего компонента объемной воды (T2S), а также доли быстро релаксирующего компонента связанной макромолекулярной воды (FF) сравнивали с механическими и химическими показателями с помощью линейной регрессии. FF достоверно ($p = 0,04$) коррелировал с содержанием протеогликанов. Это исследование предполагает, что FF, измеренный с помощью mcDESPOT при 3,0 Т, может быть использован для неинвазивной оценки содержания протеогликанов хряща [2].

Современные неинвазивные приложения МРТ, то есть T2 и dGEMRIC, предоставили количественные измерения для оценки организации сети коллагеновых фибрилл и содержания PG в хрящевой ткани соответственно. МРТ

показала значения специфичности и чувствительности, свидетельствующие об относительно хорошей диагностической эффективности МРТ. В этом материале T1Gd смог предсказать общее содержание протеогликанов в хряще и механические свойства [17].

Интраоперационное применение спектроскопии диффузного рассеяния света, в качестве нового способа диагностики интраартикулярных тканей. Пациентка Ш., женщина, 33 года. Обратилась с жалобами на возникновение болевого синдрома в левом коленном суставе при нагрузке, без проявления в покое. Данная симптоматика беспокоит более двух лет. Травмы левого коленного сустава отрицает. Неоднократные курсы консервативного лечения без стойкого положительного эффекта. На протяжении последнего полугодия выраженное усиление болевого синдрома, ограничения в амплитуде движений в суставе со стойкими ограничениями в повседневной активности. По данным рентгенологического исследования данных за костно-травматическую патологию не выявлено, отмечается умеренное сужение медиальной суставной щели коленного сустава. По данным МРТ – дефект суставного хряща медиального мыщелка левой бедренной кости размером 0.4 x 0.9 см, дегенеративные изменения медиального мениска (Рис. 4).



Рисунок 4. Дефект суставного хряща медиального мыщелка бедренной кости на МРТ.

Пациентка была госпитализирована в плановом порядке для выполнения лечебно-диагностической артроскопии. При стандартном осмотре артроскопическим крючком визуализируется дефект медиального мыщелка левой бедренной кости на глубину более 50% (2 ст. ICRS) от толщины хряща размерами

0.9 x 1.6 см с нечеткими границами (Рис. 5).

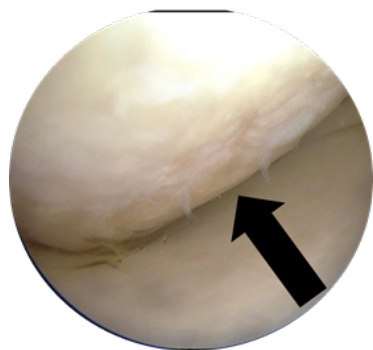


Рисунок 5. Дефект хряща медиального мыщелка левой бедренной кости при выполнении артроскопии.

После этого было выполнено зондирование поверхности хряща и менисков коленного сустава и регистрация оптического отклика. С использованием спектроскопии измерен эталонный спектр источника излучения $I_{ref}(\lambda)$, фоновый спектр $I_{bg}(\lambda)$, спектр сигнала, отраженного от хряща медиального мыщелка левой бедренной кости, $I(\lambda)$, по формуле рассчитаны спектры отражения $R(\lambda)$. По формуле рассчитан спектр эффективного поглощения $OD(\lambda)$. Определен оптический параметр наклона k (nm^{-1}) и константа C , для прямой, проходящей через точки 850 нм и 1050 нм спектра $OD(\lambda)$. Рассчитан индекс содержания воды I_{OH} : $I_{OH} = 6.33 \cdot 10^{-2}$.

Определены оптические параметры наклона k_2 (nm^{-1}) и константы C_2 для прямой, проходящей через точки 910 нм и 950 нм спектра $OD(\lambda)$ по формулам и рассчитан индекс I_{CH} : $I_{CH} = 0.28 \cdot 10^{-2}$.

Полученные данные спектроскопии медиального мыщелка бедра характерны для 4 стадии по ICRS, с размерами 1.4 x 2.4 см.

Первичная и фактическая зоны патологических изменений были отмечены на карте коленного сустава, где фиолетовым цветом была обозначена 4 степень (рис. 6).

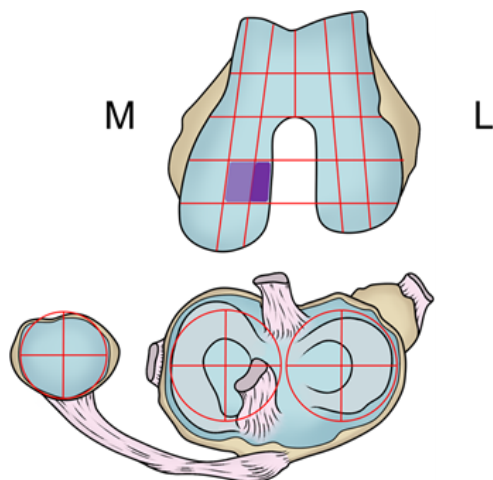


Рисунок 6. Пациентка Ш. Поражение хряща медиального

мышцелка левого коленного сустава 4 ст. по классификации ICRS (Карта оценки по данным спектроскопии).

В ходе артроскопического вмешательства с учетом полученных данных спектроскопии было принято решение о нежизнеспособности участка суставного хряща бедренной кости площадью 3,36 см².

Таким образом, данный пример демонстрирует, что размер дефекта, определенный в ходе артроскопии, существенно отличается от размера истинных изменений. Кроме того, данные спектроскопии позволили определить большую степень дефекта, что принципиально изменило последующую лечебную тактику.

Обсуждение

На настоящее время одним из оптимальных не инвазивных методов диагностики внутрисуставных повреждений суставного хряща является МРТ. Однако, точность определения степени гидратации хрящевой ткани спорна, так как результаты значительно зависят от концентрации протеогликанов и коллагена в толще хряща [3, 11]. С помощью определенных методик (измерение mcDESPOT при 3,0 Т) можно неинвазивно определить содержание протеогликанов, но эти техники требуют доработки [2].

Метод компьютерной томографии является действительно эффективным способом диагностики состояния хрящевой ткани, результаты которого коррелируют с реальной гистологической картиной. Данный метод дает не только количественные результаты о компонентах матрикса, таких как протеогликанов и коллаген, но также может использоваться для исследования пространственного расположения этих компонентов [14, 18]. Основными недостатками этого метода являются дороговизна и длительное время для проведения процедуры, так как минимальное время проникновения контраста в хрящ и его распределение занимает 2 часа, а самая высокая корреляция результатов КТ и гистологического исследования наблюдается через 48 часов после введения контраста, что делает этот метод применимым только при госпитализации, в условиях стационара [13].

Гистологический метод, дополненный денситометрией, является золотым стандартом диагностики стадии ОА, но для него обходим забор материала хрящевой ткани вместе с подлежащей костью, этот забор должен быть осуществлен из нескольких мест, так как состояние хряща может отличаться в различных зонах, что делает невозможным не только интраоперационное использование этого метода, но и применение его у пациента ввиду неизбежной травматизации хряща [11, 12, 13, 18].

Механические свойства хряща значительно коррелируют с его состоянием, но, к сожалению, использование механического метода диагностики, будь то исследование модуля упругости, модуля сдвига или модуля динамического давления, является

невозможным для диагностики ранней стадии остеоартрита – в начале заболевания изменения незначительны и происходят на микроструктурном уровне [2, 4, 5, 12, 17].

Как видно из полученных результатов, используемые методы исследования не имеют возможности применения в интраоперационной диагностике.

Разработанный и примененный метод спектроскопии позволил оценить состояние хряща пациента во время операции.

Заключение

На настоящее время ни один из традиционных существующих методов диагностики не позволяет выполнить интраоперационную оценку состояния суставного хряща и определить точные границы сохранного или «жизнеспособного» хряща. Методы оптической спектроскопии представляются перспективными, как для оценки точных размеров и границ повреждения, так и диагностики ранних структурных изменений хрящевой ткани. Существенным преимуществом является возможность интраоперационного применения.

Основываясь на принципах метода, в дальнейшем, данную методику планируется применить для диагностики других экстра- и интраартикулярных повреждений.

Список литературы / References

1. Afara I.O., Oloyede A. Resolving the Near-Infrared Spectrum of Articular Cartilage. *Cartilage*. 2021 Dec;13(1_suppl):729S-737S. doi: 10.1177/19476035211035417
2. Grondin M.M., Liu F., Vignos M.F., Samsonov A., Li W.J., Kijowski R., Henak C.R. Bi-component T2 mapping correlates with articular cartilage material properties. *J Biomech*. 2021 Feb 12;116:110215. doi: 10.1016/j.jbiomech.2020.110215
3. Fleck A.K.M., Kruger U., Carlson K., Waltz C., McCallum S.A., Lucas Lu X., Wan L.Q. Zonal variation of MRI-measurable parameters classifies cartilage degradation. *J Biomech*. 2017 Dec 8;65:176-184. doi: 10.1016/j.jbiomech.2017.10.011
4. Warnecke D., Balko J., Haas J., Bieger R., Leucht F., Wolf N., Schild N.B., Stein S.E.C., Seitz A.M., Ignatius A., Reichel H., Mizaikoff B., Durselen L. Degeneration alters the biomechanical properties and structural composition of lateral human menisci. *Osteoarthritis Cartilage*. 2020 Nov;28(11):1482-1491. doi: 10.1016/j.joca.2020.07.004
5. Keenan K.E., Besier T.F., Pauly J.M., Smith R.L., Delp S.L., Beaupre G.S., Gold G.E. T1ρ Dispersion in Articular Cartilage: Relationship to Material Properties and Macromolecular Content. *Cartilage*. 2015 Apr;6(2):113-22. doi: 10.1177/1947603515569529
6. Karchner J.P., Yousefi F., Bitman S.R., Darvish K., Pleshko N. Non-Destructive Spectroscopic Assessment of High and Low Weight Bearing Articular Cartilage Correlates with Mechanical Properties. *Cartilage*. 2019 Oct;10(4):480-490. doi: 10.1177/1947603518764269
7. Froimson M.I., Ratcliffe A., Gardner T.R., Mow V.C. Differences in patellofemoral joint cartilage material properties and their significance to the etiology of cartilage surface fibrillation. *Osteoarthritis Cartilage*. 1997 Nov;5(6):377-86. doi: 10.1016/s1063-4584(97)80042-8.
8. Julkunen P., Wilson W., Jurvelin J.S., Rieppo J., Qu C.J., Lammi M.J., Korhonen R.K. Stress-relaxation of human patellar articular cartilage in unconfined compression: prediction of mechanical response by tissue composition and structure. *J Biomech*. 2008;41(9):1978-86. doi: 10.1016/j.jbiomech.2008.03.026
9. Parraga Quiroga J.M., Emans P., Wilson W., Ito K., van Donkelaar C.C. Should a native depth-dependent distribution of human meniscus constitutive components be considered in FEA-models of the knee joint? *J Mech Behav Biomed Mater*. 2014 Oct;38:242-50. doi: 10.1016/j.jmbbm.2014.03.005
10. Kobayashi-Miura M., Miura T., Osago H., Yamaguchi Y., Aoyama T., Tanabe T., Matsumoto K.I., Fujita Y. Rat Articular Cartilages Change Their Tissue and Protein Compositions During Perinatal Period. *Anat Histol Embryol*. 2016 Feb;45(1):9-18. doi: 10.1111/ahe.12165
11. Berberat J.E., Nissi M.J., Jurvelin J.S., Nieminen M.T. Assessment of interstitial water content of articular cartilage with T1 relaxation. *Magn Reson Imaging*. 2009 Jun;27(5):727-32. doi: 10.1016/j.mri.2008.09.005
12. Kiviranta P., Lammintausta E., Toyra J., Nieminen H.J., Julkunen P., Kiviranta I., Jurvelin J.S. Differences in acoustic properties of intact and degenerated human patellar cartilage during compression. *Ultrasound Med Biol*. 2009 Aug;35(8):1367-75. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2009.03.003
13. Bhattarai A., Makela J.T.A., Pouran B., Kroger H., Weinans H., Grinstaff M.W., Toyra J., Turunen M.J. Effects of human articular cartilage constituents on simultaneous diffusion of cationic and nonionic contrast agents. *J Orthop Res*. 2021 Apr;39(4):771-779. doi: 10.1002/jor.24824
14. Kallioniemi A.S., Jurvelin J.S., Nieminen M.T., Lammi M.J., Toyra J. Contrast agent enhanced pQCT of articular cartilage. *Phys Med Biol*. 2007 Feb 21;52(4):1209-19. doi: 10.1088/0031-9155/52/4/024
15. Milentijevic D., Torzilli P.A. Influence of stress rate on water loss, matrix deformation and chondrocyte viability in impacted articular cartilage. *J Biomech*. 2005 Mar;38(3):493-502. doi: 10.1016/j.jbiomech.2004.04.016
16. Slowman S.D., Brandt K.D. Composition and glycosaminoglycan metabolism of articular cartilage from habitually loaded and habitually unloaded sites. *Arthritis Rheum*. 1986 Jan;29(1):88-94. doi: 10.1002/art.1780290112
17. Kiviranta P., Toyra J., Nieminen M.T., Laasanen M.S., Saarakkala S., Nieminen H.J., Nissi M.J., Jurvelin J.S. Comparison of novel clinically applicable methodology for sensitive diagnostics of cartilage degeneration. *Eur Cell Mater*. 2007 Apr 3;13:46-55; discussion 55. doi: 10.22203/ecm.v013a05
18. Honkanen J.T.J., Turunen M.J., Freedman J.D., Saarakkala S., Grinstaff M.W., Ylarinne J.H., Jurvelin J.S., Toyra J. Cationic Contrast Agent Diffusion Differs Between Cartilage and Meniscus. *Ann Biomed Eng*. 2016 Oct;44(10):2913-2921. doi: 10.1007/s10439-016-1629-z

Информация об авторах:

Райков Богдан Дмитриевич – студент ФГАОУ ВО Первого

МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: raykov_b_d@student.sechenov.ru; ORCID: 0009-0004-2843-2873

Азаркин Кирилл Михайлович – ординатор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: wilopt@mail.ru

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: lychagin_a_v@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

Гончарук Юлия Романовна – ассистент, аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

Липина Марина Михайловна – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: lipina_m_m@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0003-1240-4064

Гаркави Андрей Владимирович – доктор медицинских наук, профессор, профессор кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, e-mail avgar22@yandex.ru

Вязанкин Иван Антонович – ассистент, аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: vzvzvzvan@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8020-2950

Погосян Давид Артурович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: david.pogos.41@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0620-0014

Калинский Евгений Борисович – к.м.н., доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО ПМГМУ им. И.М. Сеченова МЗРФ (Сеченовский Университет) Москва, Россия. (E-mail: eugene_kalinsky@mail.ru).

Калинский Борис Маркович – заведующий травматологическим отделением №26 ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина ДЗМ. Москва, Россия. (E-mail: bkalinsky@yandex.ru).

Тагир Радикович Кудрачев – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: kudrachev_t_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-5483-0750

Мурдалов Эмирхан Эмирович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первого

МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия. E-mail: murdalov.emirhan1996@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3065-5123

Дрогин Андрей Роальдович – кандидат медицинских наук, доцент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф института клинической медицины ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. Сеченова (Сеченовский Университет), Москва, 119991, Россия, E-mail: a.drogin@yandex.ru

Белов Никита Олегович – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф, ассистент кафедры безопасности жизнедеятельности и медицины катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ имени И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет). E-mail: belov_n_o@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0001-5556-2826

Ровнягина Наталия Романовна – Младший научный сотрудник, Лаборатория клинической биофотоники, Научно-технологический парк биомедицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), E-mail: rovnyagina_n_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-6729-3245

Будылин Глеб Сергеевич – Заведующий лабораторией, Лаборатория клинической биофотоники, Научно-технологический парк биомедицины, ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), E-mail: budylin_g_s@staff.sechenov.ru ; ORCID: 0000-0002-6760-8905

Information about authors:

Bogdan D. Raikov – student, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: raykov_b_d@student.sechenov.ru; ORCID: 0009-0004-2843-2873

Kirill M. Azarkin – resident of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: wilopt@mail.ru

Alexey V. Lychagin – professor, MD, PhD, Head of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: lychagin_a_v@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-2202-8149

Yuliya R. Goncharuk – postgraduate student, assistant of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: goncharuk_yu_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-0015-0266

Marina M. Lipina – MD, PhD, Associate professor of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: lipina_m_m@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0003-1240-4064

Andrey V. Garkavi – Doctor of Medical Sciences, Professor,

I.M. Sechenov First Moscow State Medical University The Department of Traumatology, Orthopedics and Disaster Surgery, Moscow, 119991, Russia, e-mail avgar22@yandex.ru

Ivan A. Vyazankin – postgraduate student, assistant of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), Moscow, 119991, Russia. E-mail: vzvzvzvan@mail.ru; ORCID: 0000-0002-8020-2950

David A. Pogosyan – postgraduate student of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, assistant of the Department of Life Safety and Disaster Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia. E-mail: david.pogos.41@gmail.com; ORCID: 0000-0003-0620-0014

Kalinsky E.B. – PhD, Associate prof. of Department of trauma, orthopedics and disaster surgery of First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russian Federation (Sechenov University) 8. str.2 Trubeckaya street, Moscow 119991, Russia. E-mail: eugene_kalinsky@mail.ru

Boris M. Kalinsky — traumatologist-orthopedist, head of the department of traumatology №26 at City Clinical Hospital named after S.P. Botkin of the Moscow City Health Department

Tagir R. Kudrachev – postgraduate student of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow. E-mail: kudrachev_t_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-5483-0750

Emirkhan E. Murdalov - postgraduate student of Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow. E-mail: murdalov.emirhan1996@gmail.com; ORCID: 0000-0003-3065-5123

Drogin Andrey Roaldovich – PhD, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Department of Trauma, Orthopedics and Disaster Surgery, Associate Professor, Moscow, 119991, Russia, e-mail a.drogin@yandex.ru

Nikita O. Belov – postgraduate student of the Department of traumatology, orthopedics and disaster surgery, assistant of the Department of Life Safety and Disaster Medicine, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University (Sechenov University), 119991, Moscow. E-mail: belov_n_o@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0001-5556-2826

Nataliya R. Rovnyagina – junior research assistant, Laboratory of Clinical Biophotonics, Biomedicine Science and Technology Park, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), E-mail: rovyagina_n_r@staff.sechenov.ru; ORCID: 0000-0002-6729-3245

Gleb S. Budylin – Head of the laboratory, Laboratory of Clinical Biophotonics, Biomedicine Science and Technology Park, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of Russia (Sechenov University), E-mail: budylin_g_s@staff.sechenov.ru ; ORCID: 0000-0002-6760-8905

ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ



<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-82-89>

УДК 616.71-002.2-07-089

© А.В. Лычагин, О.Д. Подкосов, И.В. Крочек, Н.А. Набатчиков, П.И. Петров, 2023

Обзор литературы / Literature review

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОСТЕОМИЕЛИТА КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ.

А.В. ЛЫЧАГИН¹, О.Д. ПОДКОСОВ^{2,3}, И.В. КРОЧЕК⁴, Н.А. НАБАТЧИКОВ^{1,2}, П.И. ПЕТРОВ¹

¹ ФГАОУ ВО Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия

² ГБУЗ ГКБ им. С.П. Боткина ДЗМ, 125284, Москва, Россия

³ ФГБОУ ВО Московский государственный медико-стоматологический университет им. А.И. Евдокимова, 127473, Москва, Россия

⁴ ФГБОУ ВО «Южно-Уральский государственный медицинский университет» Минздрава России, 454092, Челябинск, Россия

Аннотация

Введение: данная статья посвящена одной из самых актуальных проблем в травматологии и ортопедии – диагностике и лечению хронического остеомиелита костей конечностей. С каждым годом данная проблема не теряет своей актуальности, сохраняются высокие цифры выявляемости остеомиелита, постепенно увеличивающиеся в количестве случаев посттравматического и постоперационного остеомиелита, которые в высоком проценте случаев приводят к стойкой утрате трудоспособности.

Материалы и методы: в работе представлены современные тенденции диагностики и лечения данного заболевания. Цель обзора – на основании анализа отечественной и зарубежной литературы рассмотреть и представить современные тенденции диагностики и лечения остеомиелита. В ходе работы было проанализировано более 1000 источников литературы из отечественных и зарубежных баз данных научного цитирования.

Выводы и обсуждение: на основе анализа литературы можно сделать следующие выводы, что несмотря на появляющиеся высокотехнологичные и инновационные методики и учитывая увеличивающуюся с каждым годом оперативную активность, травматизма гражданского населения, высокий уровень военной травмы, данная проблема требует разработки и внедрения новых методик, алгоритмов и концепций диагностики и лечения хронического остеомиелита. Разработка таких методик, алгоритмов и концепций способствует не только точной диагностике и выявлению на ранних стадиях, но и поиску оптимального решения для лечения хронического остеомиелита.

Ключевые слова: хронический остеомиелит, техника Masquelet, метод Илизарова, лазерная остеоперфорация, ОФЭКТ/КТ

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

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Для цитирования: Лычагин А.В., Подкосов О.Д., Крочек И.В., Набатчиков Н.А., Петров П.И., СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ ДИАГНОСТИКИ И ЛЕЧЕНИЯ ХРОНИЧЕСКОГО ОСТЕОМИЕЛИТА КОСТЕЙ КОНЕЧНОСТЕЙ. ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ. *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 82–89 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-82-89>

CURRENT TRENDS IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CHRONIC OSTEOMYELITIS OF LIMB BONES. LITERATURE REVIEW.

ALEXEY V. LYCHAGIN¹, OLEG D. PODKOSOV^{2,3}, IGOR V. KROCHEK⁴, NIKOLAY N. NABATCHIKOV^{1,2}, PAVEL I. PETROV¹

¹ Federal State Autonomous Educational Institution of Higher Education I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry of Health of the Russia (Sechenov University), 119991, Moscow, Russia

² Botkin Hospital, 125894, Moscow, Russia

³ Federal State Budgetary Educational Institution of the Higher Education A.I. Yevdokimov Moscow State University of Medicine and Dentistry of the Ministry of Healthcare of the Russia, 127473, Moscow, Russia

4Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "South-Ural State Medical University" of the Ministry of Healthcare of the Russian Federation, 454092, Chelyabinsk, Russia

Abstract

Introduction: This article is devoted to one of the most urgent problems in traumatology and orthopedics – the diagnosis and treatment of chronic osteomyelitis of limb bones. Every year this problem does not lose its relevance, high numbers of osteomyelitis detectability remain, cases of post-traumatic and postoperative osteomyelitis are gradually increasing in number, which in a high percentage of cases lead to permanent disability.

Materials and methods: The paper presents current trends in the diagnosis and treatment of this disease. The purpose of the review is to review and present current trends in the diagnosis and treatment of osteomyelitis based on the analysis of domestic and foreign literature. During the work, more than 1000 literature sources from domestic and foreign scientific citation databases were analyzed.

Conclusions and discussion: Based on the analysis of the literature, the following conclusions can be drawn that despite the emerging high-tech and innovative methods and taking into account the increasing operational activity, injuries of the civilian population, the high level of military trauma, this problem requires the development and implementation of new methods, algorithms and concepts for the diagnosis and treatment of chronic osteomyelitis. The development of such techniques, algorithms and concepts contribute not only to accurate diagnosis and early detection, but also to finding the optimal solution for the treatment of chronic osteomyelitis.

Key words: chronic osteomyelitis, Masquelet technique, Ilizarov technique, laser osteoperforation, SPECT/CT

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Lychagin A.V., Podkosov O.D., Krochek I.V., Nabatchikov N.A., Petrov P.I., CURRENT TRENDS IN THE DIAGNOSIS AND TREATMENT OF CHRONIC OSTEOMYELITIS OF LIMB BONES. LITERATURE REVIEW. *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1 pp. 83–89 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-83-89>

Введение

В настоящее время одним из принципиально важных вопросов современной травматологии и ортопедии является лечение септических осложнений травм и оперативных вмешательств. Среди подобных осложнений отдельное место уделяется остеомиелиту. Если рассматривать частоту данного заболевания в структуре гнойно-хирургической патологии, то по данным авторов она составляет от 10 до 28% [1,2]. Еще 20 лет назад была зафиксирована связь между уровнем травматизма, оперативной активностью и увеличением выявляемости остеомиелита [3]. Подобная тенденция сохраняется и по сей день. Согласно статистическим данным последних 10 лет наблюдается постепенное увеличение доли посттравматического и послеоперационного остеомиелита, 60% и 17% соответственно [4,5,6], а при анализе статистических данных конца 20 века, отмечалось заметное превалирование доли хронического гематогенного остеомиелита, 40-55% случаев [1,2,7]. Отдельно стоит отметить, что хронический остеомиелит является несомненно актуальным для изучения заболеванием и в социальном аспекте, так как данная патология в 60% случаев приводит к стойкой утрате трудоспособности [1,5].

Материалы и методы: в ходе данной работы было проанализировано более 1000 отечественных и зарубежных источников литературы в сети Internet, используя базы данных Pubmed, Google Scholar, eLibrary, Cyberleninka с 1989 по 2022 год

Диагностические возможности: Современный диагностический потенциал позволяет с высокой точностью определить хронический остеомиелит. Диагностика хронического остеомиелита проводится по принципу «от простого

к сложному», то есть начинают с более технически простых, менее специфичных и более доступных методов и заканчивают более сложными и специфичными методиками. Из простых методик активно применяется рентгенография, фистулография, однако в разрезе современной медицины они обладают не самой высокой точностью, только 50-60% выявляемости при ранней диагностике (0-30 дней от начала заболевания) [8,9,10], а уже после 30 дней от начала заболевания процент увеличивается до 90% в связи с нарастающими изменениями костной ткани [11]. Далее следует отметить микробиологические исследования с изучением чувствительности к антибактериальным препаратам. Данные исследования можно проводить с обширным спектром материалов, например: посев отделяемого раны или свища, интраоперационный посев остеомиелитического очага, посев биоптата кости, посев костномозгового материала, взятого при аспирационной биопсии и др. Данный метод в 80-92% дает ответ на поставленный вопрос об остеомиелите [12,13,14]. Далее рассмотрим компьютерную томографию (КТ). На сегодняшний день КТ является золотым стандартом и методом выбора диагностики остеомиелита. Особенно это касается сложных локализаций, такие как кости таза [15]. Также КТ с применением внутривенного контрастирования активно применяется в случаях экстренной диагностики остеомиелита [16]. В исследовании Pineda C. et al, чувствительность методики компьютерной томографии с внутривенным контрастированием составила 67%, специфичность – 50%, точность – 91% [8]. Следующее исследование, которое также активно применяется в современной медицине – магнитно-резонансная томография (МРТ). В первую очередь необходимо отметить, что МРТ

эффективно при исследовании мягкотканых структур и ранних изменений костей [8]. Благодаря наличию различных режимов (T1, T2, STIR), диапазон исследования значительно расширяется, что способствует оценке наличия жидкостных скоплений, изменения плотности костной ткани, диагностике внутрикостного отека. Чувствительность метода составила 98%, специфичность – 75% [17]. С развитием лучевых методов диагностики, ультразвуковые методы исследования постепенно отходят на второй план. Ранее в практике можно было встретить такие методы исследования, как ультразвуковая эхолокация, реовазография и др., однако данные методы низкоэффективны в ранней диагностике, поэтому в настоящее время они не применяются [13,18]. Подробнее остановимся на радионуклидных исследованиях. Среди них можно выделить остеосцинтиграфию (ОС), позитронно-эмиссионную томографию (ПЭТ/КТ) и однофотонную эмиссионную компьютерную томографию (ОФЭКТ/КТ). Каждое из данных исследований в своей очереди дает необходимый точный результат в конкретном случае. Например, ПЭТ/КТ обладает особенно высокой точностью при исследовании костей таза, 97% случаев [19]. ОС может выполняться с использованием различных изотопов, в зависимости от цели исследования. Стандартная ОС с использованием изотопа технеция-99m активно используется в качестве метода диагностики острого инфекционного процесса костей [20]. Также для диагностики острого процесса используется ОС с лейкоцитами, мечеными галлием. Данная методика дает возможность более точно определить локализацию процесса за счет накопления галлия в тех местах, где отмечается сниженное накопление технеция с формированием так называемых «холодных очагов» [8]. ОС с использованием изотопа индия-111 более чувствительна при исследовании хронических инфекционных повреждений с низкой вероятностью ложноположительных результатов [20]. По данным различных исследований высокую эффективность показала смешанная ОС с применением различных изотопов. Чувствительность составила 78-89%, специфичность – 77-84% [21,22]. Основное отличие ОФЭКТ/КТ от ОС является более точная диагностика остеомиелита. При выполнении ОФЭКТ/КТ используется тот же изотоп технеция-99m, как и при стандартной ОС, методика введения радиофармпрепарата (РФП) идентична, время регистрации накопления РФП такое же, однако при ОФЭКТ/КТ выполняется компьютерная томография, что дает более точно определить границы начала накопления РФП, обнаружение как накостных, так и внутрикостных очагов. По данным исследований различных авторов чувствительность составила 78-88%, специфичность – 89-96% [23,24]. Однако, несмотря на многочисленные преимущества радионуклидных исследований, имеются и весомые недостатки, ввиду которых приходится ограничиваться более простыми методами диагностики. Среди недостатков можно выделить: высокую стоимость, необходимость в вы-

сококвалифицированном персонале, длительное время на обработку результатов исследования [15].

Современные возможности лечения хронического остеомиелита костей конечностей: Тенденция к комбинированному лечению хронического остеомиелита окончательно сформировалась в конце 20 века. Комбинированное лечение подразумевает этиотропную антибактериальную терапию, адекватную хирургическую санацию, создание условий чистой среды [25,26,27]. Подробнее остановимся на хирургической санации. Около 20 лет назад оперативная активность при этой патологии составляла 25-66% [7,28], сейчас же данный показатель вырос до 94% [5]. Создание новых глобальных и локальных методик лечения остеомиелита вывела возможности лечения на совершенно новый уровень. Изначально лечение сводилось к радикальной остеонекрэктомии, дренированию очага, трепанации кости и др. [29,30]. При этом костная полость ничем не заполнялась, что создавало прецедент для вторичного инфицирования или потере стабильности кости, а основной проблемой оставался костный дефект, который требовал замещения. С течением времени появлялись более современные решения, такие как: заполнение полости различными материалами (гемопломбой, хрящевой тканью, коллагеновой пломбой, полимерной пломбой) [13,29,31]. Данные методики активно используются по сей день, однако у них достаточно высокий процент рецидивов и осложнений – 20% [31].

В последнее десятилетие активно применяется двухэтапная методика лечения остеомиелита с применением техники Masquelet. Данная техника характеризуется временным замещением костного дефекта спейсером из полиметилметакрилата с импрегнацией антибактериальными препаратами [32]. Согласно опыту зарубежных авторов, рекомендуется удаление спейсера с костной пластикой через 6-8 недель [33]. За это время по периметру спейсера образуется вазоактивная мембрана, которая способствует более активному приживлению костного трансплантата за счет сосудистого обогащения мембраны [34,35]. Это подтвердилось гистологическими исследованиями в работе Д.Ю.Борзунова и соавт. [32]. Результаты исследований отечественных и зарубежных авторов указывают на более высокую эффективность применения техники Masquelet при лечении остеомиелита за счет снижения процента рецидива и осложнений до 9-15% случаев [32,33]. С 2016 по 2020 год Liu X et al провели исследование, в котором приняло участие 23 пациента с остеомиелитом костей различной локализации (плечевая – 3, бедренная, - 1, большеберцовая – 19). Всем пациентам было выполнен двухэтапный метод лечения. Первым этапом выполнялась радикальная санация очага инфекции, сегментарная резекция кости с формированием костного дефекта не более 4,5 см, установка цементного антибактериального спейсера. В ходе исследования проводилась как накостная, так и внешняя фиксация. Вторым этапом выполнялся через 4-6 недель, в ходе которого производилось удаление спейсера, комбинированная костная пластика аутооттрансплантатом из гребня подвздошной

кости и синтетическим аллотрансплантатом. При оценке результатов было отмечено, что в 91% случаев была полностью достигнута элиминация инфекционного процесса, а в 89% случаев был достигнут удовлетворительный результат, при этом отмечено, что максимальная эффективность в 100% была достигнута за счет применения внутренней фиксации [33].

Альтернативой свободной костной пластики также широко применяется метод несвободной костной пластики Г.А. Илизарова (костный транспорт). В случаях невозможности применения свободной пластики, применяется именно костный транспорт. Чаще всего данная методика встречается при замещении костных дефектов трубчатых костей посредством осуществления дозированной ежедневной distraction в аппарате Илизарова [36]. Если сравнить метод Г.А. Илизарова и технику Masquelet, то можно отметить несколько принципиальных отличий. При применении метода Илизарова образуется обильно васкуляризованный регенерат, который впоследствии оссифицируется [36,37]. В случае применения техники Masquelet используется ауто-, алло- и ксенотрансплантаты, которые не имеют обильной васкуляризации и оссифицируются только за счет питания от мембраны Masquelet [34]. Еще одним весомым отличием является фиксация области пластики, при методе Илизарова используется компрессионно-дистракционный аппарат внешней фиксации, когда как в технике Masquelet активно применяются накостные методы фиксации [34,37]. Однако, метод Илизарова, сопровождающийся distraction в аппарате Илизарова, требует полного комплаенса пациента с врачом, так как distraction проводится пациентом самостоятельно по назначению врача, когда как при технике Masquelet подобных манипуляций не требуется [34]. С 2012 по 2019 году Khaled A et al проводили исследование 30 пациентов с остеомиелитом большеберцовой кости. Всем пациентам был применен двухэтапный метод лечения; первым этапом – радикальная санация очага инфекции, сегментарная резекция большеберцовой кости с формированием костного дефекта не более 6 см, установка цементного антибактериального спейсера, фиксация в аппарате Илизарова. Вторым этапом выполнялся через 2 месяца, при котором производилось удаление спейсера, кортикотомия большеберцовой кости. В последующем пациенты самостоятельно производили distraction по 1 мм в сутки. Катамнез составлял 28 месяцев. В результатах наблюдения авторы отметили, что в 94% случаев полностью достигнута элиминация инфекционного процесса, а в 90% случаев был достигнут удовлетворительный функциональный результат [37].

В практике лечения хронического остеомиелита нередки случаи, когда санация необходима, но при этом не требуется выполнение сегментарной резекции. В таких случаях применяется трепанация кости с санацией очага, однако данный вид вмешательства является травматичным и может впоследствии привести к вторичному нарушению целостности кости. Специально для таких случаев, в начале 21 века была введена инновационная методика лазерной остеоперфорации. Данная

методика была предложена отечественной группой исследователей в качестве малоинвазивной альтернативы [38,39]. Методика заключается в выполнении чрескожных остеоперфораций посредством лазерного излучения в импульсно-периодическом режиме. Лазерная остеоперфорация показала себя эффективной методикой, в исследовании Привалова В.А. и соавт. приняло участие 273 пациента с различными формами хронического остеомиелита (гематогенный, посттравматический, Броди, Гарре, Олье, костными панарициями). В группе с применением лазерной остеоперфорации улучшение наступало вдвое быстрее, чем в группе с применением традиционных методик, при этом в основной группе через 1 месяц наблюдался рост васкуляризованных тканей без признаков нейтрофильной инфильтрации [38].

С начала 21 века все чаще и активнее стали применяться ортобиологические методики лечения хронического остеомиелита. В основном они направлены на стимуляцию репаративной способности костной ткани после радикальной остеонекротомии или сегментарной резекции остеомиелитического очага [40]. В качестве реконструктивно-пластического вмешательства предлагаются различные методы замещения костных дефектов, например: применение трансплантационных смесей, нанокристаллических имплантатов, обогащенной тромбоцитами аутологичной плазмы (PRP).

Коллектив авторов из Беларуси (И.И. Довгалевиц и соавт.) описывают использование трансплантационной смеси для костной пластики при остеомиелитических дефектах. Данная методика является как одноэтапной, так и двухэтапной: первоначально производится радикальная санация очага инфекции, остеонекротомия или сегментарная резекция, затем одномоментно или вторым этапом выполняется замещение костного дефекта при помощи трансплантационной смеси, в состав которой входят: 10 мл костного аллотрансплантата, измельченный деминерализованный костный аллотрансплантат, раствор дексаметазона фосфата 8 мг, раствор L-аскорбиновой кислоты 1000 мг, раствор кальция глюконата 20 мг, антибактериальный препарат по посеву. Полученную смесь имплантировали в сформированный костный дефект. При оценке результатов отмечено, что применение трансплантационной смеси оказалось более эффективным методом, чем аутопластика и аллопластика. Хороший анатомо-функциональный результат (тотальное замещение дефекта без деформации и признаков формирования ложного сустава) отмечен в 95,2%, 94,6% и 88,2% случаев соответственно [41].

Также активно изучается возможность использования нанокристаллических имплантатов. В экспериментальном исследовании В.Г. Самодая и соавт. описывается применение нанокристаллического скаффолда в качестве замены традиционным костным имплантатам. Данный материал является микропористым субстратом, обладающим остеокондуктивными свойствами и биологической совместимостью. Из основных преимуществ авторы выделяют стойкость скаффолда к воспалительной реакции костной ткани,

что способствует сохранению антибактериальной активности. Также авторы заявляют о большей продолжительности выделения антибактериальных препаратов из скаффолда по сравнению с традиционными имплантатами. Методика апробирована в эксперименте на 16 безвидовых кроликах, которым моделировали остеомиелит большеберцовой кости посредством введения 0,5 мл взвеси *S.aureus* 106 КОЕ/мл внутрикостно. Через 25 суток при помощи стандартной рентгенографии верифицировали остеомиелит большеберцовой кости. После подтверждения диагноза части экспериментальных животных (7 кроликов) выполнялось хирургическое пособие – остеонекрэктомия и имплантация скаффолда с линкомицином, остальным 5 кроликам имплантация не проводилась. Результаты эксперимента оценивались на 15 сутки после операции. Отмечено, что в основной группе явления воспалительного процесса купированы, зафиксирована интеграция скаффолда костной тканью, на основании чего был сделан вывод об удовлетворительных остеокондуктивных свойствах импланта. В контрольной группе отмечено увеличение ореола остеосклероза [40].

Применение аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы (PRP) также все чаще и чаще находит свое место в современной травматологии и ортопедии. В качестве методики лечения остеомиелита PRP используется относительно недавно. Суть метода заключается в интраоперационном введении в остеомиелитический очаг лиофилизата обогащенной плазмы [42]. В исследовании И.В.Гилевича и соавт. приняло участие 4 пациента с хроническим остеомиелитом. Всем пациентам было выполнено оперативное вмешательство – санация очага инфекции, введение в остеомиелитический очаг PRP. При оценке результатов авторы отмечают, что у всех исследуемых пациентов наступила стойкая ремиссия при послеоперационном наблюдении до 1,5 лет [43].

Обсуждение и выводы: Поиск оптимального метода лечения остеомиелита по сей день является актуальной темой для обсуждения. Разработка и введение в практику более новых и инновационных методов лечения является приоритетным направлением в современной травматологии и ортопедии. Исследования последних двух десятилетий показывают, что предпочтение в лечении хронического остеомиелита необходимо давать более прогрессивным высокотехнологичным методам лечения.

Техника Masquelet показала себя высокоэффективным методом лечения, однако наряду с альтернативой данной техники, метода Г.А.Илизарова, требуются высококвалифицированный персонал для обеспечения такой же высокой эффективности, полный комплаенс пациента с врачом, высокие оперативные навыки. На данный момент данные методы являются методами выбора для лечения остеомиелита любой локализации как в отечественных, так и в зарубежных клиниках за счет выполнения цели купирования инфекции и замещения костного дефекта пошагово двумя этапами, соблюдая принцип «шаг за шагом». Первым этапом достигается цель элиминации ин-

фекционного процесса из санируемой области, вторым этапом достигается цель восстановления кости. Также отмечено, что по исследованиям последних 5 лет специалисты отдают предпочтение технике Masquelet больше, чем методу Илизарова [32,33,34]. Подтверждением тому служит исследование Gupta AK et al, в котором провели сравнительное исследование техники Masquelet и метода Илизарова. В исследовании приняло участие 24 пациента, которые были разделены на 2 равные группы по 12 человек. В группе А пациентам выполнялось оперативное лечение с применением метода Илизарова, в группе В пациентам в ходе лечения была применена техника Masquelet. Катамнез в обеих группах составил 18 месяцев. При оценке результатов было отмечено, что в группе А за период наблюдения полное сращение было достигнуто в 67% случаев, в 8% случаев отмечена замедленная консолидация, а в 25% случаев полное сращение было достигнуто после костной пластики аутоотрансплантатом. В группе В полное сращение за период наблюдения было достигнуто в 75% случаев, а в 25% случаев – замедленная консолидация [43].

Лазерная остеоперфорация также показала свою высокую эффективность. Данный метод лечения может быть применим в тех случаях, когда двухэтапный метод лечения не требуется, и в тех случаях, когда традиционное оперативное вмешательство будет более травмирующим. Главное преимущество данного метода является малоинвазивность вмешательства. После операции, места остеоперфорации заживают в течение 2-3 суток, что наряду с проводимой антибактериальной терапией значительно снижает риск вторичного инфицирования [38,39]. Также стоит отметить, что лазерная остеоперфорация нашла свое применение в ортодонтии и стоматологической хирургии. При помощи данной методики зарубежные специалисты нашли решение для перемещения зубов после удаления первых премоляров [44]. Данных за использование лазерной остеоперфорации в качестве лечения остеомиелита в зарубежных источниках не обнаружено.

В отношении применения ортобиологических технологий еще не сформировано однозначного мнения об эффективности методик лечения, в особенности это касается использования аутологичной обогащенной тромбоцитами плазмы [43]. Безусловно как PRP, так и применение скаффолдов и трансплантационных смесей являются инновационными и перспективными направлениями в современном представлении о лечении хронического остеомиелита. Тем не менее, данные методики еще требуют более детального и методичного изучения, чтобы в дальнейшем предложить рациональное, оптимальное и эффективное лечение.

Несомненно, вопрос хронического остеомиелита заслуживает большого внимания. С увеличением оперативной активности, травматизма гражданского населения, высокого количества военной травмы, зависимо увеличивается выявляемость остеомиелита на разных стадиях, о чем было неоднократно засвидетельствовано в источниках литературы в конце

20 века. С развитием технологий предлагаются все больше высокотехнологичных и инновационных методик, однако вопрос разработки и внедрения практики более новых методов, алгоритмов и концепций диагностики и лечения остается по сей день актуальным вопросом для обсуждения такой проблемы, как хронический остеомиелит.

Список литературы / References:

1. Baertl S, Metsemakers WJ, Morgenstern M, Alt V, Richards RG, Moriarty TF, et al. Fracture-related infection // *Bone Joint Res.*, 2021, 10(6):351–3. DOI: 10.1302/2046-3758.106.BJR-2021-0167.R1
2. Lew DP, Waldvogel FA. Osteomyelitis // *Lancet*. 2004 Jul 24;364(9431):369–79. DOI: 10.1016/S0140-6736(04)16727-5
3. Lima AL, Oliveira PR, Carvalho VC, Cimerman S, Savio E; Diretrizes Panamericanas para el Tratamiento de las Osteomielitis e Infecciones de Tejidos Blandos Group. Recommendations for the treatment of osteomyelitis // *Braz J Infect Dis*. 2014 Sep-Oct;18(5):526–34. DOI: 10.1016/j.bjid.2013.12.005
4. Foster AL, Moriarty TF, Zalavras C, Morgenstern M, Jaiprakash A, Crawford R, The influence of biomechanical stability on bone healing and fracture-related infection: the legacy of Stephan Perren // *Injury*. (2021) 52(1):43–52. DOI: 10.1016/j.injury.2020.06.044
5. Миронов, С. П., Цискарашвили, А. В., Горбатюк, Д. С. Хронический посттравматический остеомиелит как проблема современной травматологии и ортопедии (обзор литературы) // *Гений ортопедии*, 2019; 25(4), 610–621. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621 [Mironov, S. P., Ciskarashvili, A. V., Gorbatiuk, D. S. Chronic osteomyelitis as a problem of orthopedics and traumatology (literature review) *Orthopedic genius* 2019; 25(4), 610–621. DOI: 10.18019/1028-4427-2019-25-4-610-621]
6. Гараев М.Р., Пантелеев В.С., Нартайлаков М.А., Дорофеев В.Д., Инюшев Д.В., Голков Д.С. Хирургическое лечение хронического остеомиелита // *Креативная хирургия и онкология*. 2019;9(3):209–215 DOI: 10.24060/2076-3093-2019-9-3-209-215 [Garaev M.R., Panteleev V.S., Nartajakov M.A., Dorofeev V.D., Inyushev D.V., Golkov D.S., Surgical treatment of chronic osteomyelitis Creative surgery and oncology 2019;9(3):209–215 DOI: 10.24060/2076-3093-2019-9-3-209-215]
7. Hofmann SR, Kapplusch F, Girschick HJ, Morbach H, Pablik J, Ferguson PJ, Hedrich CM. Chronic Recurrent Multifocal Osteomyelitis (CRMO): Presentation, Pathogenesis, and Treatment // *Curr Osteoporos Rep*. 2017 Dec;15(6):542–554. DOI: 10.1007/s11914-017-0405-9
8. Pineda C., Espinosa R., Pena A. Radiographic imaging in osteomyelitis: the role of plain radiography, computed tomography, ultrasonography, magnetic resonance imaging, and scintigraphy // *Semin Plast Surg*. 2009; 23: 80–89 DOI: 10.1055/s-0029-1214160
9. Van Belkum A, Gros MF, Ferry T, Lustig S, Laurent F, Durand G, et al. Novel strategies to diagnose prosthetic or native bone and joint infections // *Expert Rev Anti Infect Ther*. (2022) 20(3):391–405. DOI: 10.1080/14787210.2021.1967745
10. Bezstarosti, H., Van Lieshout, E. M. M., Voskamp, L. W., Kortram, K., Obremskey, W., McNally, M. A., Verhofstad, M. H. J. Insights into treatment and outcome of fracture-related infection: a systematic literature review // *Archives of orthopaedic and trauma surgery*, 2019; 139, 61–72. DOI: 10.1007/s00402-018-3048-0
11. Pineda C, Vargas A, Rodríguez A, Imaging of osteomyelitis: Current concepts // *Infect Dis Clin North Am* 2006; 20: 789– 825. DOI: 10.1016/j.jdc.2006.09.009
12. Metsemakers WJ, Kuehl R, Moriarty TF, Richards RG, Verhofstad MHJ, Borens O, Infection after fracture fixation: current surgical and microbiological concepts // *Injury*. (2018) 49(3):511–22. DOI: 10.1016/j.injury.2016.09.019
13. Pimentel de Araujo F, Monaco M, Del Grosso M, Pirolo M, Visca P, Pantosti A. Staphylococcus aureus clones causing osteomyelitis: a literature review (2000–2020) // *J Glob Antimicrob Resist*. 2021 Sep;26:29–36. DOI: 10.1016/j.jgar.2021.03.030
14. Masters EA, Ricciardi BF, Bentley KLM, Moriarty TF, Schwarz EM, Muthukrishnan G. Skeletal infections: Microbial pathogenesis, immunity and clinical management // *Nat Rev Microbiol* (2022) 20(7):385–400. DOI: 10.1038/s41579-022-00686-0
15. Lee YJ, Sadigh S, Mankad K, Kapse N, Rajeswaran G. The imaging of osteomyelitis // *Quant Imaging Med Surg*. 2016 Apr;6(2):184–98. DOI: 10.21037/qims.2016.04.01.
16. Fayad L.M., Carrino J.A., Fishman E.K., et al: Musculoskeletal infection: role of CT in the emergency department // *Radiographics* 2007; 27: 1723–1736 DOI: 10.1148/rg.276075033
17. Aydingoz U. Imaging Osteomyelitis: An Update // *Rofo*. 2023 Apr;195(4):297–308. English. DOI: 10.1055/a-1949-7641
18. Llewellyn A, Jones-Diette J, Kraft J, Holton C, Harden M, Simmonds M. Imaging tests for the detection of osteomyelitis: a systematic review // *Health Technol Assess*. 2019 Oct;23(61):1–128. DOI: 10.3310/hta23610
19. Conway JD, Hambardzumyan V, Patel NG, Giacobbe SD, Gesheff MG. Immunological evaluation of patients with orthopedic infections: taking the Cierny-Mader classification to the next level // *J Bone Jt Infect*. (2021) 6(9):433–41. DOI: 10.5194/jbji-6-433-2021
20. Arıcan B, Okudan B, Şefizade R, Naldöken S. Diagnostic Value of Bone SPECT/CT in Patients with Suspected Osteomyelitis // *Mol Imaging Radionucl Ther*. 2019 Sep 6;28(3):89–95. DOI: 10.4274/mirt.galenos.2019.20053.
21. Pakos E.E., Koumoullis H.D., Fotopoulos A.D., Ioannidis J.P. Osteomyelitis: antigranulocyte scintigraphy with 99mTc radiolabeled monoclonal antibodies for diagnosis-- meta-analysis // *Radiology*. 2007 Dec;245(3):732–41. DOI: 10.1148/radiol.2452061877
22. Termaat MF, Raijmakers PG, Scholten HJ, Bakker FC, Patka P, Haarman HJ. The accuracy of diagnostic imaging for the assessment of chronic osteomyelitis: a systematic review and meta-analysis // *J Bone Joint Surg Am*. 2005;87:2464–71. DOI: 10.2106/JBJS.D.02691
23. Uçkay İ, Hüllner MW, Achermann Y, Plate A, Schöni M, Roskopf A, Berli MC. The Role of 99mTc-antigranulocyte SPECT/CT In Community-Acquired Diabetic Foot Osteomyelitis: A Clinical Experience // *Curr Diabetes Rev*. 2022;18(6):e030521193111. DOI: 10.2174/1573399817666210503140303.

24. Lee SJ, Won KS, Choi HJ, Choi YY. Early-Phase SPECT/CT for Diagnosing Osteomyelitis: A Retrospective Pilot Study // *Korean J Radiol.* 2021 Apr;22(4):604-611. DOI: 10.3348/kjr.2019.0746
25. Urish KL, Cassat JE. Staphylococcus aureus Osteomyelitis: Bone, Bugs, and Surgery // *Infect Immun.* 2020 Jun 22;88(7):e00932-19. DOI: 10.1128/IAI.00932-19
26. Mathieu L, Bilichtin E, Durand M, de l'Escalopier N, Murison JC, Collombet JM, et al. Masquelet technique for open tibia fractures in a military setting // *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2020;46(5):1099-1105. DOI: 10.1007/s00068-019-01217-y.
27. Baus A, Bich CS, Grosset A, de Rousiers A, Duhoux A, Brachet M, et al. Medical and surgical management of lower extremity war-related injuries. Experience of the French military health service (FMHS) // *Ann Chir Plast Esthet.* 2020;65(5-6):447-478. DOI: 10.1016/j.anplas.2020.05.008.
28. Huff GR, Huff WE, Rath NC, Balog JM. Turkey osteomyelitis complex // *Poult Sci.* 2000 Jul;79(7):1050-6. DOI: 10.1093/ps/79.7.1050
29. Huneault LM, Lussier B, Dubreuil P, Chouinard L, Désévaux C. Prevention and treatment of experimental osteomyelitis in dogs with ciprofloxacin-loaded crosslinked high amylose starch implants // *J Orthop Res.* 2004 Nov;22(6):1351-7. DOI: 10.1016/j.orthres.2004.04.007
30. Chen WH, Jiang LS, Dai LY. Surgical treatment of pyogenic vertebral osteomyelitis with spinal instrumentation // *Eur Spine J.* 2007 Sep;16(9):1307-16. DOI: 10.1007/s00586-006-0251-4
31. Depypere M, Morgenstern M, Kuehl R, Senneville E, Moriarty TF, Obremskey WT, Pathogenesis and management of fracture-related infection // *Clin Microbiol Infect.* 2020; 26(5):572-8. DOI: 10.1016/j.cmi.2019.08.006
32. Борзунов, Д. Ю., Моховиков, Д. С., Колчин, С. Н., Горбач, Е. Н. Комбинированное применение несвободной костной пластики по Илизарову и техники Masquelet при реабилитации пациентов с приобретенными костными дефектами и ложными суставами // *Гений ортопедии.* 2020; 26(4), 532-538.. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-4-532-538 [Borzunov, D. YU., Mohovikov, D. S., Kolchin, S. N., Gorbach, E. N Combined application of non-free bone grafting according to Ilizarov and Masquelet technique in the rehabilitation of patients with acquired bone defects and nonunions *Orthopedic genius* 2020; 26(4), 532-538.. DOI 10.18019/1028-4427-2020-26-4-532-538]
33. Liu X, Min HS, Chai Y, Yu X, Wen G. Masquelet technique with radical debridement and alternative fixation in treatment of infected bone nonunion // *Front Surg.* 2022 Oct 6;9:1000340. DOI: 10.3389/fsurg.2022.
34. Masquelet A.C., Begue T. The concept of induced membrane for reconstruction of long bone defects. // *Orthop. Clin. North. Am.* 2010; 41(1). 27-31 DOI: 10.1016/j.ocl.2009.07.011
35. Greco VE, Hammarstedt JE, O'Connor S, Regal S. Masquelet Technique and Proximal Tibial Autograft Utilizing Avitus® Bone Harvester for Severely Comminuted Open Distal Radius Fracture with Extensive Bone Loss: A Case Report // *J Orthop Case Rep.* 2022 Apr;12(4):49-53. DOI: 10.13107/jocr.2022.v12.i04.2762.
36. Zhang L, Chen Y, Wang X, Hua H, Sheng J, Chen J, Guo Z. Simultaneous treatment of traumatic calcaneal osteomyelitis and defect deformity with near-arc bone transport by Ilizarov technique // *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi.* 2021 Mar 15;35(3):323-329. Chinese. DOI: 10.7507/1002-1892.202010064
37. Khaled A, El-Gebaly O, El-Rosasy M. Masquelet-Ilizarov technique for the management of bone loss post debridement of infected tibial nonunion // *Int Orthop.* 2022 Sep;46(9):1937-1944. DOI: 10.1007/s00264-022-05494-y. Epub 2022 Jun 30.
38. Привалов В.А., Крочек И.В., Лаппа А.В. Остеоперфорация диодным лазером в лечении острого и хронического остеомиелита // *Бюлл. ВСНЦ СО РАМН.* 2001; 3(17)1, 115-121. [Privalov V.A., Krochek I.V., Lappa A.V. Osteoperforation with a diode laser in the treatment of acute and chronic osteomyelitis *Bulletin VSNC SO RAMN* 2001; 3(17)1, 115-121]
39. Krochek IV, Privalov VA, Lappa AV, Nikitin SV. Kliniko-morfologicheskaya otsenka rezul'tatov lazernoi osteoperforatsii pri lechenii khronicheskogo osteomielita [The clinical-morphological estimation of the results of laser osteoperforation in treatment of chronic osteomyelitis]. *Vestn Khir Im I I Grek.* 2004;163(6):68-72.
40. Самодай В.Г., Колядин Д.С., Борисов А.К., Пономарев П.Н. // Лечение хронического посттравматического остеомиелита с использованием наноуглеродных имплантатов в эксперименте / *Вестник Ивановской медицинской академии*, 2019; 24(4), 59-61 [V.G. Samodaj, D.S. Kolyadin, A.K. Borisov, P.N. Ponomarev Treatment of chronic post-traumatic osteomyelitis using nanocarbon implants in experiment *Bulletin of the Ivanovo Medical Academy* 2019; 24(4), 59-61]
41. Довгалевиц И.И., Титова А.Д., Мартинович А.В. Использование трансплантационной смеси в лечении остеомиелитических дефектов длинных костей. // *Материалы к конференции: III Конгресс Ортобиология*, 2022 г., стр. 52-54 [Dovgalevich I.I., Titova A.D., Martynovich A.V The use of transplant mixture in the treatment of osteomyelitic defects of long bones. // *Materials for the conference: III Congress of Orthobiology* 2022г., стр. 52-54]
42. Zhang W, Guo Y, Kuss M, et al. Platelet-Rich Plasma for the Treatment of Tissue Infection: Preparation and Clinical Evaluation // *Tissue Eng Part B Rev.* 2019;25(3):225-236 DOI: 10.1089/ten.teb.2018.0309
43. Гилевич И.В., Шубров Э.Н., Чучварев Р.В., Коломийцева Е.А., Триандафилов К.В., Сотниченко А.С., Мелконян К.И. Применение обогащенной тромбоцитами плазмы в лечении хронических воспалительных заболеваний нижних конечностей // *Наука и инновации в медицине.* 2021;6(3):63-68 DOI: 10.35693/2500-1388-2021-6-3-63-68 [Gilevich I.V., SHubrov E.N., CHuchvarev R.V., Kolomijceva E.A., Triandafilov K.V., Sotnichenko A.S., Melkonyan K.I The use of platelet-rich plasma in the treatment of chronic inflammatory diseases of the lower extremities // *Science and innovations in medicine* 2021;6(3):63-68 DOI: 10.35693/2500-1388-2021-6-3-63-68]
44. MacDonald L, Zanjir M, Laghapour Lighvan N, da Costa BR, Suri S, Azarpazhooh A. Efficacy and safety of different interventions to accelerate maxillary canine retraction following premolar extraction: A systematic review and network meta-analysis // *Orthod Craniofac Res.* 2021 Feb;24(1):17-38. DOI: 10.1111/ocr.12409
45. Gupta GK, Majhee AK, Rani S, Shekhar S, Prasad P, Chauhan G. A comparative study between bone transport technique using Ilizarov/LRS fixator and induced membrane (Masquelet) technique in management of

bone defects in the long bones of lower limb // J Family Med Prim Care. 2022 Jul;11(7):3660-3666. DOI: 10.4103/jfmpc.jfmpc_2447_21.

Информация об авторах:

Лычагин Алексей Владимирович – доктор медицинских наук, заведующий кафедрой травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), ул. Трубецкая д.8, 119991, Москва, Россия e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Подкосов Олег Дмитриевич – ассистент кафедры травматологии, ортопедии и медицины катастроф МГМСУ им. А.И. Евдокимова, заведующий отделением гнойной хирургии с костной патологией №21 ГБУЗ ГКБ им. С.П.Боткина ДЗМ, 127473, Москва, Россия e-mail: oleg.podkosov@gmail.com

Крочек Игорь Викторович – доктор медицинских наук, профессор кафедры общей и детской хирургии ФГБОУ ВО «ЮУГМУ» Минздрава России, 454092, Челябинск, Россия e-mail: igor_krochek@mail.ru

Набатчиков Николай Алексеевич – аспирант кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), врач-травматолог-ортопед отделения гнойной хирургии с костной патологией №21 ГБУЗ ГКБ им. С.П.Боткина ДЗМ, 119991, Москва, Россия e-mail: nicknabatchikov@yandex.ru

Петров Павел Игоревич – кандидат медицинских наук, ассистент кафедры травматологии, ортопедии и хирургии катастроф ФГАОУ ВО Первый МГМУ им. И.М. Сеченова Минздрава России (Сеченовский Университет), 119991, Москва, Россия e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Автор, ответственный за переписку: Набатчиков Николай Алексеевич. Адрес для переписки – 119991, Москва, улица Трубецкая, д.8, стр. 2, e-mail: nicknabatchikov@yandex.ru., контактный телефон - +7-915-373-71-49.

Information about authors:

Lychagin Alexey Vladimirovich – Doctor of Medicine, Head of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Disaster Surgery, e-mail: dr.lychagin@mail.ru

Podkosov Oleg Dmitriyevich – Assistant of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Disaster Surgery, Department head of purulent traumatology and surgery of Botkin Hospital e-mail: oleg.podkosov@gmail.com

Krochek Igor Viktorovich – Doctor of Medicine, Professor of the Department of surgery and paediatric surgery. e-mail: igor_krochek@mail.ru

Nabatchikov Nikolay Alekseevich – Postgraduate student at the Department of Traumatology, Orthopaedics and Disaster Surgery, doctor at the department of purulent traumatology and surgery of Botkin Hospital. e-mail: nicknabatchikov@yandex.ru

Petrov Pavel Igorevich – PhD of Medicine, Assistant of the Department of Traumatology, Orthopaedics and Disaster Surgery. e-mail: drpavelpetrov@gmail.com

Corresponding author: Nabatchikov Nikolay Alekseevich – e-mail: nicknabatchikov@yandex.ru, contact phone + 7-915-373-71-49.

<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-90-96>

УДК 616-01/09

© Р.З. Нурлыгаянов, Т.Б. Минасов, А.М. Васильев, А.М. Нурлыгаянова, 2023

Обзор литературы / Literature review



ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ВИТАМИНА D В КРОВИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ ШЕЙКИ БЕДРА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ)

Р.З. НУРЛЫГАЯНОВ¹, Т.Б. МИНАСОВ², А.М. ВАСИЛЬЕВ¹, А.М. НУРЛЫГАЯНОВА³

¹ ГБУЗ Городская клиническая больница №21, 450071, Республика Башкортостан, Уфа, Россия

² ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет Минздрава России, 450008, Республика Башкортостан, Уфа, Россия

³ ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет Минсельхоза России, 450001, Республика Башкортостан, Уфа, Россия

Аннотация

Введение. На протяжении последних веков наблюдается значительное улучшение качества жизни людей, медицинского обслуживания и в целом социального статуса человека, и как результат – увеличение лиц старшего возраста. Однако этот в целом положительный факт является причиной роста частоты развития ряда хронических заболеваний в общей популяции, в том числе остеопороза. Частой травмой у людей пожилого и старческого возраста на фоне остеопороза являются переломы костей. Самыми сложными в лечении и реабилитации из-за высокого уровня смертности и осложнений признаны переломы шейки бедренной кости. В связи с этим прогнозирование остеопороза и остеопоротических переломов является актуальной проблемой.

Цель: рассмотрение современного состояния проблемы и эффективности использования прогностической оценки уровня витамина D в крови на возникновение переломов шейки бедра для обоснования целесообразности проведения этого рода исследований.

Материалы и методы: анализ и обобщение статей в количестве 31 источников баз данных MEDLINE, Scopus, КиберЛенинка и eLIBRARY за период с 2010 по 2022 гг.

Выводы: среди прогностических факторов перелома шейки бедренной кости и повышения репаративных потенций организма многие исследования указывают на достаточный уровень витамина D в сыворотке крови. Отмечено, что от уровня витамина D зависит здоровье костей, поддержание гомеостаза кальция и фосфора в организме. Он выступает протектором остеомалации. Доказано, что необходимое содержание в крови витамина D способствует минерализации кости, предотвращает развитие остеопороза и снижает риск остеопоротических переломов. Это, безусловно, привело к тому, что врачи стали все чаще назначать прием витамина D.

Многочисленные эпидемиологические и интервенционные исследования выявили наличие связи между витамином D и некоторыми костными и не костными патологиями с увеличением частоты их выявления с возрастом. На фоне дефицита витамина D значительно меняются маркеры метаболизма костной ткани и ее структурно-функциональная организация. Таким образом, доказаны особенности влияния витамина D на костную и мышечную ткани, частоту падений, снижение риска развития остеопороза и остеопоротических переломов особенно в старших возрастных группах. Прогностические маркеры (в частности концентрация витамина D) могут служить как дополнительные показатели вероятного развития и осложненного течения остеопороза. Поэтому в современной прогностической медицине необходимым является регулярный скрининг на выявление уровня витамина D в крови в старших возрастных группах.

Ключевые слова: витамин D; 25-гидроксивитамин D; остеопороз; перелом шейки бедра

Финансирование: исследование не имело спонсорской поддержки

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

Для цитирования: Нурлыгаянов Р.З., Минасов Т.Б., Васильев А.М., Нурлыгаянова А.М., ВЛИЯНИЕ УРОВНЯ ВИТАМИНА D В КРОВИ НА ВОЗНИКНОВЕНИЕ ПЕРЕЛОМОВ ШЕЙКИ БЕДРА (ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ). *Кафедра травматологии и ортопедии*. 2023. № 1(51). С. 90–96
<https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-90-96>

INFLUENCE OF BLOOD VITAMIN D LEVEL ON THE APPEARANCE OF FEMO NECK FRACTURES (LITERATURE REVIEW)

RADIK Z. NURLYGAIANOV¹, TIMUR B. MINASOV², ALEXSANDR M. VASILEV¹, ALFIA M. NURLYGAIANOVA³

¹ State Budgetary Health Institution Of Republic Of Bashkortostan The Ufa City Clinical Hospital No. 21, 450071, Ufa, Russia

²Federal State Budgetary Educational Institution Of Higher Education Bashkir State Medical University of the Ministry of Health of the Russia, 450008, Ufa, Russia

³Federal State Budgetary Education Institution Of Higher Education Bashkir State Agrarian University, 450001, Ufa, Russia

Abstract

Introduction. Over the past centuries, there has been a significant improvement in the quality of life of people, medical care and, in general, the social status of a person, and as a result, an increase in older people. However, this generally positive fact is the reason for the increase in the incidence of a number of chronic diseases in the general population, including osteoporosis. Bone fractures are a common injury in elderly and senile people against the background of osteoporosis. Fractures of the femoral neck are recognized as the most difficult in treatment and rehabilitation due to the high level of mortality and complications. In this regard, the prediction of osteoporosis and osteoporotic fractures is an urgent problem.

Purpose: to consider the current state of the problem and the effectiveness of using a prognostic assessment of the level of vitamin D in the blood for the occurrence of femoral neck fractures to justify the feasibility of conducting this kind of research.

Materials and methods: analysis and synthesis of articles in the amount of 31 sources of the MEDLINE, Scopus, CyberLeninka and eLIBRARY databases for the period from 2010 to 2022.

Conclusions: among the prognostic factors of a femoral neck fracture and an increase in the body's reparative potencies, many studies indicate a sufficient level of vitamin D in the blood serum. It is noted that bone health, maintenance of calcium and phosphorus homeostasis in the body depends on the level of vitamin D. It acts as a protector of osteomalacia. It has been proven that the required level of vitamin D in the blood promotes bone mineralization, prevents the development of osteoporosis and reduces the risk of osteoporotic fractures. This, of course, led to the fact that doctors began to increasingly prescribe vitamin D. Numerous epidemiological and interventional studies have found an association between vitamin D and certain bone and non-bone pathologies, with an increase in incidence with age. Against the background of vitamin D deficiency, markers of bone tissue metabolism and its structural and functional organization change. Thus, the features of the effect of vitamin D on bone and muscle tissue, the frequency of falls, and the reduction in the risk of developing osteoporosis and osteoporotic fractures, especially in older age groups, have been proven. Prognostic markers (in particular, the concentration of vitamin D) can serve as additional indicators of the probable development and complicated course of osteoporosis. Therefore, in modern predictive medicine, regular screening for the detection of the level of vitamin D in the blood in older age groups is necessary.

Key words: vitamin D; 25-hydroxyvitamin D; osteoporosis; hip fracture

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Funding: the study had no sponsorship

For citation: Nurlygayanov R.Z., Minasov T.B., Vasiliev A.M., Nurlygayanova A.M., INFLUENCE OF BLOOD VITAMIN D LEVEL ON THE APPEARANCE OF FEMO NECK FRACTURES (LITERATURE REVIEW). *Department of Traumatology and Orthopedics*. 2023. № 1. pp. 90–96 <https://doi.org/10.17238/2226-2016-2023-1-90-96>

Введение

Продолжительность жизни населения мира увеличивается, и все больше и больше людей достигают преклонного возраста. Это приводит к смещению бремени здоровья в сторону болезней, возникающих преимущественно в более старшем возрасте [1]. Переломы шейки бедра случаются у пожилых и очень старых людей, считаются всемирной эпидемией и серьезной проблемой общественного здравоохранения. Более 90% переломов шейки бедра вызваны падением, а две трети пациентов с переломом шейки бедра страдают остеопорозом [2, 3]. Таким образом, установленные факторы риска обычно действуют, влияя на риск падения и качество костей или на то и другое.

Остеопороз – распространенное системное заболевание скелета, которое сопровождается снижением прочности костной ткани и повышенным риском переломов. Термин «остеопороз» был введен в медицинскую терминологию еще в XIX в. французским патологоанатомом Jean Lobstein, который таким образом описал возрастные изменения костей. В это же время Astley Paston Cooper, английский хирург, предположил, что определенные виды переломов могут быть обусловлены снижением костной массы [4]. Сегодня остеопороз – одна

из основных проблем охраны здоровья вследствие высокого распространения и тяжелых осложнений, остеопоротических переломов, которые являются причиной инвалидности и повышенной смертности среди населения [5]. Ежегодно частота новых остеопоротических переломов во всем мире составляет около 9 млн, из которых 1,6 млн – переломы шейки бедра [6]. Перелом бедра был признан наиболее серьезным последствием остеопороза из-за его осложнений, которые включают хроническую боль, инвалидность, снижение качества жизни и преждевременную смерть [7]. В США после перелома бедра более трети пациентов умирают в течение года. Только около 20% восстанавливают прежний уровень функциональности.

Исследования, проведенные за последние несколько десятилетий, продемонстрировали географические различия в частоте переломов шейки бедра на разных континентах, а также в разных частях региона. Остеопоротический перелом шейки бедра является общепризнанной проблемой здравоохранения на Западе и все больше признается в качестве растущей проблемы в Азии. В Европе остеопороз выявляют у примерно 6,0% мужчин и 21,0% женщин в возрасте 50-84 года. Частота переломов шейки бедра самая высокая в Швеции и Северной Америке, а в странах Южной Европы она почти в семь раз ниже [8]. Частота переломов шейки

бедря также ниже среди населения Азии и Латинской Америки. Но поскольку три четверти населения мира проживает в Азии, прогнозируется, что азиатские страны будут вносить больший вклад в общее количество переломов шейки бедра в ближайшие годы [2]. С ростом ожидаемой продолжительности жизни во всем мире число пожилых людей увеличивается во всех географических регионах, и предполагается, что частота переломов шейки бедра вырастет к 2050 году до 6,26 миллионов случаев [9].

Скрининг на остеопороз может предотвратить более четверти случаев перелома шейки бедра у пожилых людей. При этом используются несколько шкал и методик. Так, FRAX® - алгоритм, используемый для расчета вероятности переломов на основе клинических факторов риска (CRF) и минеральной плотности кости (BMD). Калькулятор FRAX определяет 10-летнюю вероятность перелома для отдельного пациента [10], но, как показал анализ литературы, не адаптирован к многим региональным особенностям и показывает во многих случаях низкую прогностическую ценность. Эту же особенность многие исследования выявили у шкалы трабекулярной кости (TBS) и других прогностических методик [11, 12].

Витамин D эндогенного или экзогенного происхождения транспортируется в крови белком, связывающим витамин D. Затем витамин D должен подвергнуться двум гидроксильным реакциям и стать активным. Первое гидроксильрование, осуществляемое в печени 25-гидроксилазой, превращает витамин D в 25-гидроксивитамин D (Кальцидиол – 25(OH)D). Это гидроксильрование не регулируется: чем больше количество синтезируется и попадает в организм, тем выше концентрация 25(OH)D в сыворотке крови [13]. Второе гидроксильрование, осуществляемое в почках 1- α -гидроксилазой, превращает 25(OH)D в Кальцитриол (1,25(OH)2D). Синтез 1,25(OH)2D стимулируется повышением концентрации паратгормона (ПТГ) [14, 15, 16]. При дефиците витамина D снижается всасывание кальция в кишечнике, что приводит к уменьшению ионизированного кальция, отвечая за увеличение производства ПТГ. Однако ПТГ увеличивает продукцию 1,25(OH)2D. Таким образом, в случае дефицита 25(OH)D, концентрация 1,25(OH)2D в сыворотке может повышаться [14, 16].

На фоне нарушений метаболизма витамина D у пациентов увеличивается риск развития остеопороза и, соответственно, риск возникновения переломов, значительно изменяются биохимические маркеры костной ткани. В связи с этим существует важность поддержания адекватных уровней витамина D в крови (в виде его метаболита 25(OH)D). Показатель концентрации 25(OH)D используют как диагностический тест для оценки его недостаточности в организме путем измерения в сыворотке крови с помощью современных иммуноферментных методов. При этом оценочная распространенность дефицита витамина D варьируется в зависимости от пороговых значений, используемых для его определения [3].

Методы жидкостной хроматографии с tandemной масс-спектрометрией (ЖХ-МС/МС) позволяют точно измерять не-

сколько метаболитов витамина D параллельно. В клинической практике обычно измеряют только 25(OH)D и биологически активную форму 1,25(OH)2D. В то время как 25(OH)D остается аналитом выбора для диагностики дефицита витамина D, 1,25(OH)2D рекомендуется только при некоторых состояниях с нарушением регуляции метаболизма D [17]. При этом необходимо отметить, что в современной прогностической медицине ставится вопрос о необходимости регулярного скрининга на выявление концентрации 25(OH)D в крови в старших возрастных группах в связи с ограниченностью клинических данных и отсутствием референсных значений, которые препятствуют их использованию в клинической практике. Кроме того, дискуссионным на сегодняшний день является определение референсных значений концентрации витамина D. Поэтому считаем актуальным рассмотрение современного состояния проблемы и эффективности использования прогностической оценки уровня витамина D в крови на возникновение переломов шейки бедра с целью обоснования целесообразности проведения этого рода исследований.

В последнее время наблюдается повышенный интерес к витамину D из-за широко распространенной субоптимальной концентрации 25(OH)D в сыворотке крови во всем мире [18]. Определение оптимального уровня витамина D влияет на принятие решений о клиническом лечении: следует ли начинать лечение при уровнях 25(OH)D <30, <50 или <75 нмоль/л и каков целевой уровень? Советы, в том числе из авторитетных источников, сильно различаются. Так, например, в рекомендациях по клинической практике Целевой группы Эндокринного общества по витамину D как дефицит витамина D определен пороговый уровень 50 нмоль/л. Кроме того, различные общества и экспертные организации определили 50 нмоль/л как «потребность в витамине D почти для всех нормальных здоровых людей», взяв за основу здоровье костей [14, 19]. В Клинических рекомендациях РФ оптимальной концентрацией 25(OH)D в сыворотке крови, как лучшего показателя запасов витамина D в организме, признается 30-100 нг/мл (75-250 нмоль/л), недостаточностью от 20 до 30 нг/мл (от 50 до 75 нмоль/л), дефицитом менее 20 нг/мл (менее 50 нмоль/л) [20]. При этом диапазон ниже 75 нмоль/л (или 30 нг/мл) концентрации 25(OH)D в сыворотке/плазме во многих проанализированных источниках так же считается дефицитом витамина D. Пороговое значение <25 или <30 нмоль/л (или 10/12 нг/мл) резко увеличивает риск развития остеопении и поэтому считается, что это указывает на тяжелый дефицит витамина D.

Таким образом, одни авторы считают, что 75 нмоль/л является необходимой для достижения концентрацией 25(OH)D, другие, например, Институт медицины (ИОМ) (США) считают концентрацию 50 нмоль/л достаточной и концентрация 75 нмоль/л не всегда связана с реальной выгодой в прогностической оценке перелома. МЗ и СО Великобритании дефицитом 25(OH)D считает уровень <10 нг/мл, недостаточность выявлена на уровне 10-19,5 нг/мл, оптимум определен на уровне >20 нг/мл. Такая вариабельность внутри и между анализами 25(OH)D была названа важным ограничением для интерпре-

тации исследований, в которых изучалась взаимосвязь между концентрацией 25(OH)D в сыворотке и прогностическими результатами переломов [21].

Результаты различных эпидемиологических исследований, в которых проводились измерения уровней 25(OH)D в сыворотке крови, позволяют утверждать, что в настоящее время не менее 50% населения Земли имеют низкую обеспеченность витамином D. В зону риска дефицита и недостаточности витамина D попадают все жители, проживающие севернее 35-й параллели, что соотносится со всей территорией РФ, Казахстана, Монголии, Турции, Европы, а также практически всей Северной Америки и Китая. Распространенность тяжелого дефицита витамина D, определяемого как 25(OH)D <30 нмоль/л (или 12 нг/мл), составляет 5,9% (США), 7,4% (Канада) и 13% (Европа). Оценки распространенности уровней 25(OH)D <50 нмоль/л (или 20 нг/мл) составляют 24% (США), 37% (Канада) и 40% (Европа). Это может варьироваться в зависимости от возраста, с более низкими уровнями в детстве и пожилом возрасте, а также этнической принадлежности в разных регионах, например, европейские европеоиды демонстрируют более низкие показатели дефицита витамина D по сравнению с небелыми людьми. Во всем мире многие страны сообщают об очень высокой распространенности низкого статуса витамина D. Уровни 25(OH)D <30 нмоль/л (или 12 нг/мл) у >20% населения распространены в Индии, Тунисе, Пакистане и Афганистане. Например, было подсчитано, что 490 миллионов человек в Индии испытывают дефицит витамина D [22].

Бразильское общество эндокринологии и метаболизма (SBEM) установило, что для населения в целом уровни 25(OH)D от 20 до 60 нг/мл считаются нормальными, в то время как люди с уровнями ниже 20 нг/мл считаются страдающими дефицитом витамина D. В этом заявлении указаны потенциальные преимущества поддержания уровня 25(OH)D > 30 нг/мл в определенных условиях, включая пациентов в возрасте > 65 лет или беременных, лица с повторяющимися падениями, переломами, остеопорозом, вторичным гиперпаратиреозом, хроническим заболеванием почек или раком, а также лица, принимающие препараты, способные влиять на метаболизм витамина D. Это заявление также привлекает внимание к риску интоксикации витамином D, опасному для жизни состоянию, которое возникает при уровне 25(OH)D выше 100 нг/мл [22]. В РФ так же проведен ряд исследований, результаты которых согласуются с мировыми данными и подтверждают повсеместную распространенность низких уровней витамина D среди населения страны [23]. Проблему дефицита витамина D можно классифицировать как пандемию, характерную для всех регионов РФ [24].

Пик костной массы достигается к третьему десятилетию жизни, при этом генетика, физическая активность, питание и факторы образа жизни играют ключевую роль в накоплении и поддержании костной ткани. Возрастная потеря костной массы происходит примерно в четвертом десятилетии, что приводит к постепенному снижению МПК, хотя этот процесс ускоряется у женщин во время и до 10 лет после менопаузы из-за возможной

потери костной массы, вызванной дефицитом эстрогена. Развитие заболеваний костей в более позднем возрасте связано с достижением максимальной пиковой костной массы и поддержанием костной массы во взрослом возрасте. Что касается витамина D, исследования показали, что недостаточное потребление витамина D в течение длительного периода времени может привести к деминерализации костей. Дефицит витамина D приводит к снижению абсорбции кальция и, в конечном итоге, к высвобождению кальция из костей для поддержания концентрации циркулирующего кальция. Непрерывный костный обмен и резорбция ослабляют архитектуру костей и увеличивают риск переломов из-за вторичного гиперпаратиреоза, что в конечном итоге приводит к развитию остеопении и остеопороза. Остеопороз денситометрически определяется как МПК на 2,5 стандартных отклонения ниже среднего значения у здоровых молодых людей.

Ясно, что среднее смещение, определяемое как процентное отличие от истинной концентрации, варьируется в зависимости от образца в рамках анализа, и существует огромная вариабельность среднего значения для всех анализов. Кроме того, существует большая изменчивость среди различных анализов [25]. Так, было проанализировано 81 рандомизированное контролируемое исследование (РКИ) (n = 53 537 участников), в которых изучали переломы (n = 42), падения (n = 37) или минеральную плотность костной ткани (n = 41). Витамин D не влиял на общее число переломов (36 исследований; n = 44 790, относительный риск 1,0), переломы бедра (20 исследований; n = 36 655, ОР 1,1) или вероятность падений (37 исследований; n = 34 144, ОР 0,97). Результаты были похожи в работах, включавших как высокую дозу витамина D (выше 800 МЕ/день), так и низкую дозу. В пуле исследований не было клинически значимых межгрупповых различий в минеральной плотности кости при любой локализации. Автор отмечает, что существует мало оснований для приема витамина D в целях поддержания или улучшения костно-мышечного здоровья. Длительный прием витамина D приводил к увеличению риска гиперкальциемии и гиперкальциурии, которые не были связаны с дозой [11].

На фоне дефицита витамина D происходит динамическое изменение маркеров метаболизма костной ткани и ее структурно-функциональная организация. В связи с этим для оценки направленности прогресса остеопоротических нарушений целесообразно исследовать минеральную плотность костной ткани, при этом биохимические маркеры могут служить как дополнительные диагностические и прогностические показатели. Львов С.Е. и соавт. в исследовании зависимости ли частота переломов шейки бедренной кости от минеральной плотности костной ткани отмечают достоверный рост числа переломов шейки бедренной кости в 1,4 раза у мужского, так и женского населения в возрастной группе старше 20 лет. У пациентов старше 55 лет увеличение частоты переломов совпадает со значительным снижением минеральной плотности костной ткани [26].

Появляющиеся данные свидетельствуют о том, что низкий уровень 25(OH)D в сыворотке может увеличить частоту падений

из-за нарушения физической функции. По сравнению с пациентами с <12 нг/мл, пациенты с более высокими концентрациями 25(ОН)D имели более высокую скорость ходьбы ($P = 0,031$): от 12 до <20 нг/мл (скорректированное ОП: 2,61; 95% ДИ: 1,13, 5,99); от 20 до <30 нг/мл (3,48; 1,53, 7,95); ≥ 30 нг/мл (2,84; 1,12, 7,20) [27].

В исследовании Han J. et al. [28] из общего числа 732 пациентов у 346 пациентов (47,3%) уровень 25(ОН) витамина D был менее 10 нг/мл, у 264 пациентов (36,1%) – 10–19,9 нг/мл, у 87 пациентов (11,9%) показатель 25(ОН) витамина D был на уровне 20–29,9 нг/мл, тогда как у 35 пациентов (4,8%) уровень 25(ОН) витамина D превышал показатель 30 нг/мл. Различия в концентрации витамина D в зависимости от времени года и типа перелома были статистически значимыми. Авторы пришли к выводу, что дефицит и недостаточность витамина D были высокими у пациентов с низкоэнергетическими переломами бедра, и только у 4,9% пациентов был нормальный уровень витамина D.

По данным исследования Skuladottir S.S. et al. [29] распространенность дефицита 25(ОН)D в сыворотке (<30 нмоль/л), недостаточность (30–<50 нмоль/л), достаточность (≥ 50 нмоль/л) – составила 6%, 23% и 71% у мужчин; и 11%, 28% и 53% для женщин соответственно. Концентрации 25(ОН)D в сыворотке были положительно связаны с переломом шейки бедра и маркерами физической функции, включая силу ног и равновесие. Те, у кого исходное состояние было недостаточным по сравнению с достаточным, имели более высокий скорректированный по возрасту риск возникновения переломов бедра с отношением рисков (ОР) 3,1 (95% доверительный интервал [ДИ], 1,9–5,2) и 1,8 (95% ДИ, 1,3–5,2) у мужчин и женщин соответственно. При поправке на vBMD и показатели физической функции связь была ослаблена и стала незначимой для мужчин (1,3; 95% ДИ, 0,6–2,5), но оставалась значимой для женщин (1,7; 95% ДИ, 1,1–2,4). Дефицит по сравнению с достаточным статусом 25(ОН)D в сыворотке был связан с более высоким риском переломов бедра. Эта связь была объяснена более низкой vBMD и низкой физической активностью.

В метаанализе 11 обсервационных исследований (39 141 участник, 6278 переломов, 2367 переломов бедра) каждое повышение концентрации 25(ОН)D на 10,0 нг/мл (25 нмоль/л) было связано со скорректированным ОР для любого перелома 0,93 (95% ДИ, 0,89–0,96) и скорректированный ОР для перелома бедра 0,80 (95% ДИ, 0,75–0,86) [30]. При этом метаанализ 33 рандомизированных клинических исследований показал, что назначение кальция и витамина D, по-отдельности или в комбинации, вне зависимости от их дозы, пола, анамнеза переломов, уровня сывороточного 25(ОН)D и уровня потребления кальция с пищей, не уменьшает риск переломов у пожилых людей без остеопороза [31].

По данным Wang Q. et al. [9] среди исследуемых с переломами бедра у пациентов с остеопорозом уровень 25(ОН)D в сыворотке был значительно ниже ($25,43 \pm 6,35$ нг/мл) по сравнению с пациентами без остеопороза ($30,70 \pm 7,17$ нг/мл). Частота недостаточности (66,67%) и дефицита (16,67%) витамина D была выше у пациентов с остеопорозом, чем у лиц без остеопороза (недостаточность 44,44% и дефицит 5,56% соответственно). В

связи с чем авторами отмечается необходимость выявления наличия остеопороза перед назначением комплексной профилактической терапии переломов.

Таким образом, дефицит витамина D (уровень 25-гидроксивитамина D [25(ОН)D] в сыворотке крови на уровне менее 50 нмоль/л или 20 нг/мл уже может быть связан с неблагоприятными последствиями для скелета, включая переломы и потерю костной массы, хотя некоторые данные указывают на преимущество более высокого порога.

ВЫВОДЫ

Эпидемиология переломов шейки бедра характеризуется высоким бременем заболевания, локальными различиями, временными тенденциями, четко определенными группами высокого риска и установленными факторами риска. Недостаток витамина D, вероятно, является одним из многих взаимосвязанных факторов риска перелома шейки бедра. Дефицит витамина D имеет превалирующее значение в развитии остеопоротических переломов, что необходимо учитывать при комплексной оценке факторов риска остеопороза. Необходимы дальнейшие исследования и внимание ортопедов для уточнения характера этого риска и оптимизации вмешательств.

Показатель 25(ОН)D считается лучшим маркером для оценки статуса витамина D и достоверно отражает свободные фракции метаболитов витамина D, несмотря на то, что теоретически биодоступные фракции могут быть более клинически информативными. Изменчивость анализов 25(ОН)D широко известна и только стандартизированные данные по 25(ОН)D могут обеспечить необходимый уровень точности и прецизионности, необходимый для процесса разработки научно обоснованных руководств и политик в отношении прогностических оценок концентрации витамина D. Включение методик определения уровня 25(ОН)D и оценка его дефицита в виде концентрации не превышающей 50 нмоль/л (20 нг/мл) увеличивает прогностическую способность диагностических инструментов, в том числе калькулятора FRAX и др., что, вероятно, обеспечит большую точность инициации профилактики и медикаментозной терапии остеопороза.

Список литературы / References:

1. Krosman F, de Boer S.J., LeBoff M.S. et al. A guide for doctors on the prevention and treatment of osteoporosis. *Osteoporosis Int.* 2014;25(10):2359–2381. <https://doi.org/10.1007/s00198-014-2794-2>.
2. Дудинская, Е. Н. Остеопороз у пожилых пациентов / Е. Н. Дудинская, Н. В. Браилова, В. А. Кузнецова, О. Н. Ткачева // Остеопороз и остеопатии. – 2019. – Т. 22. – № 3. – С. 34–40. – DOI 10.14341/osteo12352. – EDN PBESIR. [Dudinskaja, E. N. Osteoporoz u pozilyh pacientov / E. N. Dudinskaja, N. V. Brailova, V. A. Kuznecova, O. N. Tkacheva // Osteoporoz i osteopatii. – 2019. – Т. 22. – № 3. – С. 34–40. – DOI 10.14341/osteo12352. – EDN PBESIR.]

3. Лесняк, О.М. Профилактика, диагностика и лечение дефицита витамина D и кальция у взрослого населения России и пациентов с остеопорозом / О.М. Лесняк, О.А. Никитинская, Н.В. Торопцова и др. // Научно-практическая ревматология. 2015;53(4):403–408. [Lesnjak, O.M. Profilaktika, diagnostika i lechenie deficita vitamina D i kalcija u vzroslogo naselenija Rossii i pacientov s osteoporozom / O.M. Lesnjak, O.A. Nikitinskaja, N.V. Toropcova i dr. // Nauchno-prakticheskaja revmatologija. 2015;53(4):403–408.]
4. Браилова, Н.В. Старение костной ткани / Н. В. Браилова, В. А. Кузнецова, Е. Н. Дудинская, О. Н. Ткачева // Российский журнал гериатрической медицины. – 2020. – № 2. – С. 147–153. – DOI 10.37586/2686-8636-2-2020-147-153. [Brailova, N.V. Starenie kostnoj tkani / N. V. Brailova, V. A. Kuznecova, E. N. Dudinskaja, O. N. Tkacheva // Rossijskij zhurnal geriatricheskoj mediciny. – 2020. – № 2. – S. 147–153. – DOI 10.37586/2686-8636-2-2020-147-153.]
5. Реушева, С.В. Значение дефицита витамина D в развитии заболеваний человека / С.В. Реушева, Е.А. Паничева, С.Ю. Пастухова, М.Ю. Реушев // Успехи современного естествознания. – 2013. – №11. – С. 27–31. [Reusheva, S.V. Znachenie deficita vitamina D v razvitii zabolevanij cheloveka / S.V. Reusheva, E.A. Panicheva, S.Ju. Pastuhova, M.Ju. Reushev // Uspehi sovremennogo estestvoznaniya. – 2013. – №11. – S. 27–31]
6. Никитинская, О.А. Социальная программа «Остеоскрининг Россия» в действии. / О.А. Никитинская, Н.В. Торопцова // Фарма-тека, 2012, №6, стр. 90–93 [Nikitinskaja, O.A. Social'naja programma «Osteoskrining Rossija» v dejstvii. / O.A. Nikitinskaja, N.V. Toropcova // Farmateka, 2012, №6, str. 90–93]
7. Панькив, И. В. Частота и структура основных факторов риска у женщин с постменопаузным остеопорозом / И. В. Панькив // Международный эндокринологический журнал. – 2018. – Т. 14. – № 8. – С. 744–748. – DOI 10.22141/2224-0721.14.8.2018.154854. – EDN YWWQQP. [Pan'kiv, I. V. Chastota i struktura osnovnyh faktorov riska u zhenshhin s postmenopauznym osteoporozom / I. V. Pan'kiv // Mezhdunarodnyj jendokrinologicheskij zhurnal. – 2018. – T. 14. – № 8. – S. 744–748. – DOI 10.22141/2224-0721.14.8.2018.154854. – EDN YWWQQP.]
8. Cruz-Jentoft AJ, Bahat G, Bauer J, et al. Sarcopenia: revised European consensus on definition and diagnosis. Age Ageing 2019 48:601. <http://dx.doi.org/10.1093/ageing/afz046>.
9. Wang Q, Yu D, Wang J, Lin S. Association between vitamin D deficiency and fragility fractures in Chinese elderly patients: a cross-sectional study. Ann Palliat Med 2020;9(4):1660–1665. doi: 10.21037/apm-19-610
10. Leslie WD, et al. Fracture Risk Indices From DXA-Based Finite Element Analysis Predict Incident Fractures Independently From FRAX: The Manitoba BMD Registry. J Clin Densitom. 2019 Jul-Sep;22(3):338–345. doi: 10.1016/j.jocd.2019.02.001.
11. Heravi AS, Michos ED. Vitamin D and Calcium Supplements: Helpful, Harmful, or Neutral for Cardiovascular Risk? Methodist Deabey Cardiovasc J. 2019 Jul-Sep;15(3):207–213. doi: 10.14797/mdcj-15-3-207.
12. Kim H. et al. Low Predictive Value of FRAX Adjusted by Trabecular Bone Score for Osteoporotic Fractures in Korean Women: A Community-Based Cohort Study. Endocrinol Metab (Seoul). 2020 Jun;35(2):359–366. doi: 10.3803/EnM.2020.35.2.359.
13. Спиричев, В.Б. О биологических эффектах витамина D // Педиатрия. – 2011. – Т. 90, № 6. – С. 113–119. [Spirichev, V.B. O biologicheskikh jeffektah vitamina D // Pediatrija. – 2011. – T. 90, № 6. – S. 113–119.]
14. Мальцев, С. В. Современные данные о витамине D - метаболизм, роль в организме, особенности применения в практике врача / С. В. Мальцев // Практическая медицина. – 2020. – Т. 18. – № 4. – С. 8–22. – EDN YTJJFL. [Mal'cev, S. V. Sovremennye dannye o vitamine D - metabolism, rol' v organizme, osobennosti primeneniya v praktike vracha / S. V. Mal'cev // Prakticheskaja medicina. – 2020. – T. 18. – № 4. – S. 8–22. – EDN YTJJFL.]
15. Amrein, K., Scherkl, M., Hoffmann, M. et al. Vitamin D deficiency 2.0: an update on the current status worldwide. Eur J Clin Nutr 74, 1498–1513 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41430-020-0558-y>
16. Grygiel-Górniak B, Puszczewicz M. Vitamin D - a new look in medicine and rheumatology. Postepy Hig Med Dosw. 2014;68(5):359–368. <https://doi.org/10.5604/17322693.1097426>
17. Bilinsky KL, Voyage SK. The rising cost of vitamin D testing in Australia: time to develop testing guidelines. Med Yust 2012; 197:90.
18. Пигарова, Е.А. Клинические рекомендации Российской ассоциации эндокринологов по диагностике, лечению и профилактике дефицита витамина D у взрослых / Е.А. Пигарова, Л.Я. Рожинская, Ж.Е. Белая, и др. // Проблемы Эндокринологии. – 2016. – Т. 62. – №4. – С. 60–84. [Pigarova, E.A. Klinicheskie rekomendacii Rossijskoj associacii jendokrinologov po diagnostike, lecheniju i profilaktike deficita vitamina D u vzroslyh / E.A. Pigarova, L.Ja. Rozhinskaja, Zh.E. Belaja, i dr. // Problemy Jendokrinologii. – 2016. – T. 62. – №4. – C. 60–84.]
19. Karmeliet G, Derma uv, Bouillon R. Vitamin D signaling in calcium and bone homeostasis: a delicate balance. Best practice and research in clinical endocrinology and metabolism. 2015;29(4):621–631. <https://doi.org/10.1016/j.beem.2015.06.001>.
20. Клинические рекомендации РФ Дефицит витамина D 2020 г. // https://www.endocrincentr.ru/sites/default/files/specialists/science/clinic-recomendations/kr_deficit_vitamina_d_2021.pdf [Klinicheskie rekomendacii RF Deficit vitamina D 2020 g. // https://www.endocrincentr.ru/sites/default/files/specialists/science/clinic-recomendations/kr_deficit_vitamina_d_2021.pdf]
21. Ganji V, Tangpricha V, Zhang X. Serum Vitamin D Concentration ≥ 75 nmol/L Is Related to Decreased Cardiometabolic and Inflammatory Biomarkers, Metabolic Syndrome, and Diabetes; and Increased Cardiorespiratory Fitness in US Adults. Nutrients. 2020;12(3):730. doi:10.3390/nu12030730
22. Moreira CA Reference values of 25-hydroxyvitamin D revisited: a position statement from the Brazilian Society of Endocrinology and Metabolism (SBEM) and the Brazilian Society of Clinical Pathology/Laboratory Medicine (SBPC). Arch Endocrinol Metab. 2020 Aug;64(4):462–478. doi: 10.20945/2359-3997000000258.
23. Петрушкина А. А., Пигарова Е. А., Рожинская Л. Я. Эпидемиология дефицита витамина d в Российской Федерации // Остеопороз и остеопатии, vol. 21, №. 3, 2018, С. 15–20. [Petrushkina A. A., Pigarova E. A., Rozhinskaja L. Ja. Jepidemiologija deficita vitamina d v Rossijskoj Federacii // Osteoporoz i osteopatii, vol. 21, №. 3, 2018, S. 15–20.]

24. Суплотова Л.А., Авдеева В.А., Пигарова Е.А., Рожинская Л.Я., Трошина Е.А. Дефицит витамина D в России: первые результаты регистрового неинтервенционного исследования частоты дефицита и недостаточности витамина D в различных географических регионах страны. *Проблемы Эндокринологии*. 2021;67(2):84-92. <https://doi.org/10.14341/probl12736> [Suplotova L.A., Avdeeva V.A., Pigarova E.A., Rozhinskaja L.Ja., Troshina E.A. Deficit vitamina D v Rossii: pervye rezul'taty registrovogo neintervencionnogo issledovanija chastoty deficita i nedostatochnosti vitamina D v razlichnyh geograficheskikh regionah strany. *Problemy Jendokrinologii*. 2021;67(2):84-92. <https://doi.org/10.14341/probl12736>]

25. Sempas CT, Binkley N. et al. 25-Hydroxyvitamin D assay standardisation and vitamin D guidelines paralysis. *Public Health Nutr*. 2020;23(7):1153-1164. doi:10.1017/S1368980019005251

26. Львов С.Е., Писарев В.В., Кузьмин А.М. Зависит ли частота переломов шейки бедренной кости от минеральной плотности костной ткани? // *Современные проблемы науки и образования*. – 2011. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=5043> [Lvov S.E., Pisarev V.V., Kuz'min A.M. Zavisit li chastota perelomov shejki bedrennoj kosti ot mineral'noj plotnosti kostnoj tkani? // *Sovremennye problemy nauki i obrazovanija*. – 2011. – № 6. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=5043>]

27. Цветкова, Е. Кальций и витамин D не предотвращают переломы у пожилых людей без остеопороза / Е. Цветкова // *Актуальная эндокринология*. – 2018. – № 2. – С. 6. – DOI 10.18508/endo5840. [Cvetkova, E. Kal'cij i vitamin D ne predotvrashhajut perelomy u pozilyh ludej bez osteoporoza / E. Cvetkova // *Aktual'naja jendokrinologija*. – 2018. – № 2. – С. 6. – DOI 10.18508/endo5840.]

28. Han J, Cho Y, Jee S, Jo S. Vitamin D Levels in Patients with Low-energy Hip Fractures. *Hip Pelvis*. 2020;32(4):192-198. doi:10.5371/hp.2020.32.4.192

29. Skuladottir SS et al. Serum 25-Hydroxy-Vitamin D Status and Incident Hip Fractures in Elderly Adults: Looking Beyond Bone Mineral Density. *J Bone Miner Res*. 2021 Dec;36(12):2351-2360. doi: 10.1002/jbmr.4450.

30. Yao P, Bennett D, Mafham M, et al. Vitamin D and Calcium for the Prevention of Fracture: A Systematic Review and Meta-analysis. *JAMA Netw Open*. 2019;2(12):e1917789. doi:10.1001/jamanetworkopen.2019.17789

31. Lihong Hao, Jeffrey L Carson, Yvette Schluskel, Helaine Noveck, Sue A Shapses, Vitamin D deficiency is associated with reduced mobility after hip fracture surgery: a prospective study, *The American Journal of Clinical Nutrition*, Volume 112, Issue 3, September 2020, Pages 613–618, <https://doi.org/10.1093/ajcn/nqaa029>

Информация об авторах:

Нурлыгаянов Радик Зуфарович – кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, травматолого - ортопедическое отделение, ГБУЗ РБ «Городская клиническая больница №21», ул. Лесной проезд, 3, г. Уфа, 450071, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3026-5814>; eLibrary SPIN: 2864-0259; e-mail radiknur@list.ru

Минасов Тимур Булатович – доктор медицинских наук, профессор кафедры травматологии и ортопедии с курсом ИДПО, ФГБОУ ВО Башкирский государственный медицинский университет, ул. Ленина, 3, г. Уфа, 450008, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1916-3830>; Scopus Author ID: 17346255400; eLibrary SPIN: 7865-6011; e-mail: m004@ya.ru

Васильев Александр Мефодьевич – врач травматолог-ортопед, травматолого - ортопедическое отделение, ГБУЗ РБ «Городская клиническая больница №21», ул. Лесной проезд, 3, г. Уфа, 450071, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7601-9717>; e-mail alexv7777@mail.ru

Нурлыгаянова Альфия Магафурьяновна – кандидат экономических наук, доцент, кафедра финансов, анализа и учетных технологий, ФГБОУ ВО Башкирский государственный аграрный университет Минсельхоза России, ул. 50 летия Октября, 34, г. Уфа, 450001, Россия; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0685-5125>; e-mail alfnur73@mail.ru

Автор, ответственный за переписку

Нурлыгаянов Радик Зуфарович – кандидат медицинских наук, врач травматолог-ортопед, ГБУЗ РБ «Городская клиническая больница №21», ул. Лесной проезд, 3, г. Уфа, 450071, Россия; e-mail radiknur@list.ru

Information about authors:

Nurlygayanov Radik Zufarovich, Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist, traumatologist-orthopedic department, City Clinical Hospital No. 21, st. Lesnoy proezd, 3, Ufa, 450071, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3026-5814>; eLibrary SPIN: 2864-0259; e-mail radiknur@list.ru

Minasov Timur Bulatovich, Doctor of Medical Sciences, Professor of the Department of Traumatology and Orthopedics with the course of IDPO, Bashir State Medical University, st. Lenina, 3, Ufa, 450008, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1916-3830>; Scopus Author ID: 17346255400; eLibrary SPIN: 7865-6011; e-mail: m004@ya.ru

Vasiliev Alexander Mefodievich, traumatologist-orthopedist, traumatologist-orthopedic department, City Clinical Hospital No. 21, st. Lesnoy proezd, 3, Ufa, 450071, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-7601-9717>; e-mail alexv7777@mail.ru

Nurlygayanova Alfiya Magafuryanovna, Candidate of Economic Sciences, Associate Professor, Department of Finance, Analysis and Accounting Technologies, Bashkir State Agrarian University, st. 50 th anniversary of October, 34, Ufa, 450001, Russia; ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0685-5125>; e-mail alfnur73@mail.ru

Corresponding author: Nurlygayanov Radik Zufarovich, Candidate of Medical Sciences, traumatologist-orthopedist, City Clinical Hospital No. 21, st. Lesnoy proezd, 3, Ufa, 450071, Russia; e-mail radiknur@list.ru