

<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.

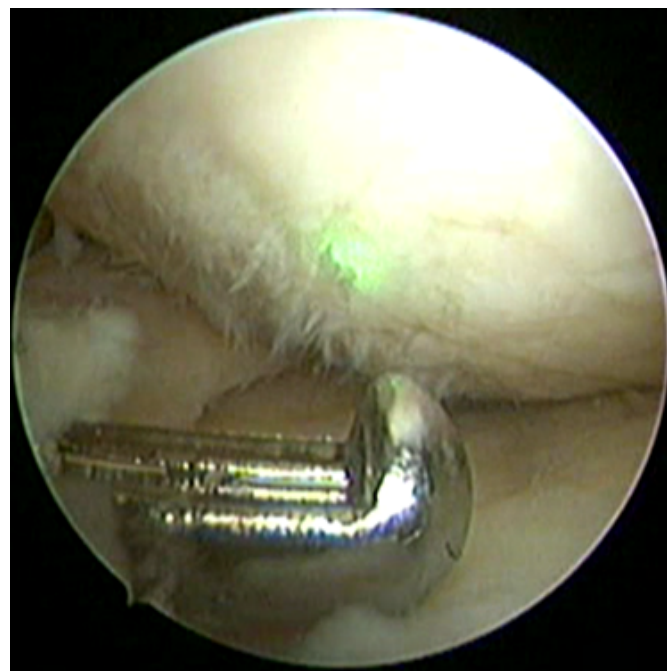


Рисунок 2. Артроскопическая лазерная обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента К. Используется боковой световод, лазерное излучение с длиной волны 0,97 мкм и 1,56 мкм.



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.

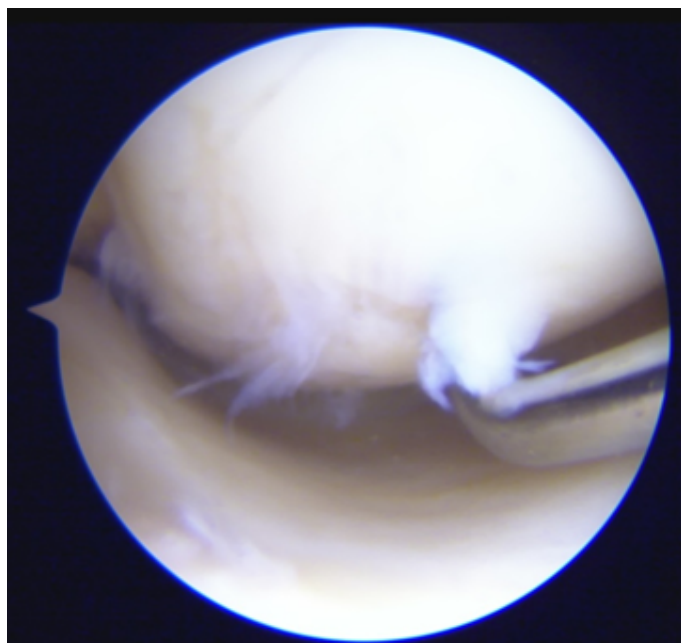


Рисунок 4. Артроскопическая картина очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. (35 лет) Степень хондропатии III.

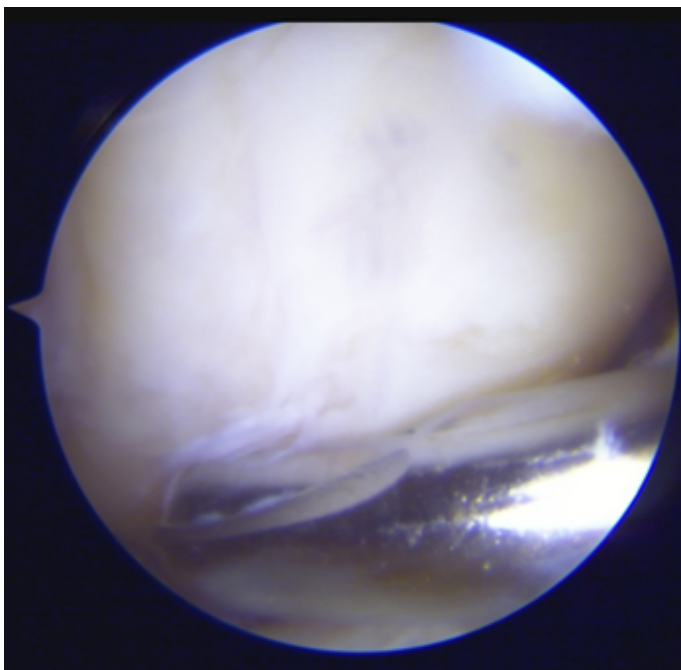


Рисунок 5. Механическая обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. С помощью артроскопического шейвера.

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

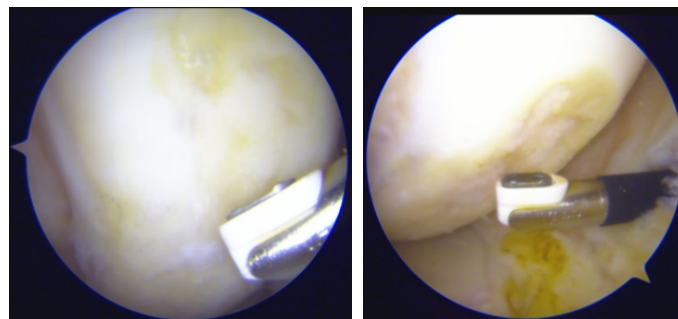


Рисунок 6. Обработка очага хондропатии медиального мыщелка бедренной кости у пациента Л. с помощью холодноплазменного аблятора.

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).

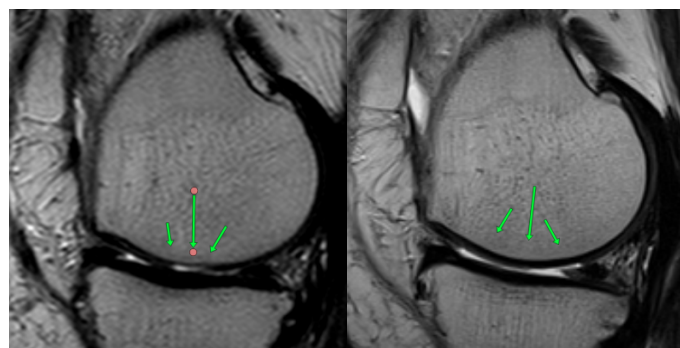
Оценочная шкала	VAS	LFI	WOMAK
Первичное обследование Initial examination	3,65 ± 0,72	6,2 ± 1,08	48,1 ± 8,51
Спустя 3 месяца с момента операции 3 months after the operation	2,72 ± 0,71	5,46 ± 1,11	42,67 ± 6,44
Спустя 6 месяцев с момента операции 6 months after the operation	2,24 ± 0,63	4,5 ± 1,23	41,11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

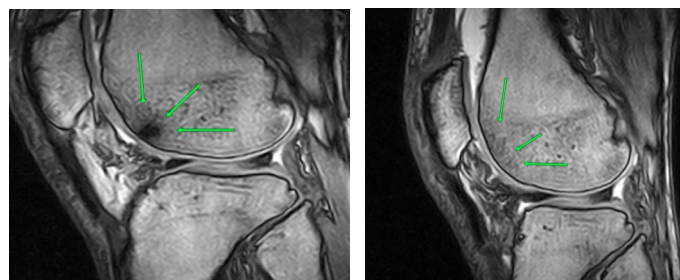


а

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.

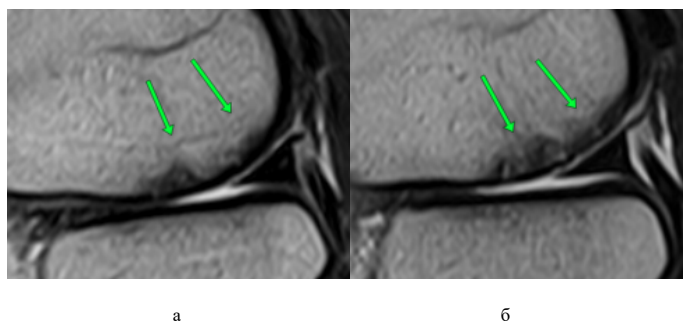


Рисунок 9. МРТ коленного сустава у пациента Е, 29 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после обработки очага хондропатии аблатором. (б)

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.

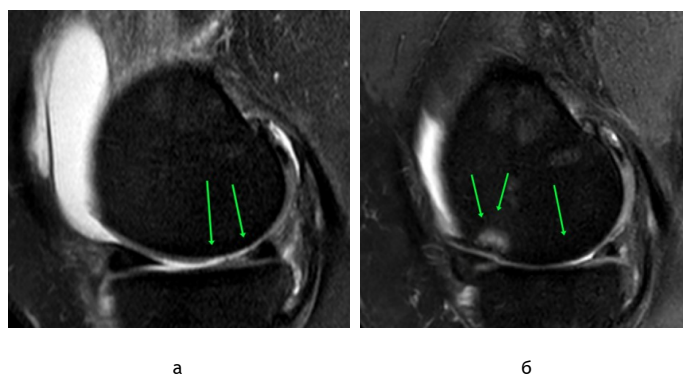


Рисунок 10. МРТ коленного сустава у пациентки Ф, 57 лет. Динамика изменений степени повреждения суставного хряща в одном и том же очаге хондропатии до обработки (а) и через 6 месяцев после обработки очага хондропатии шейвером и аблатором. (б)

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)

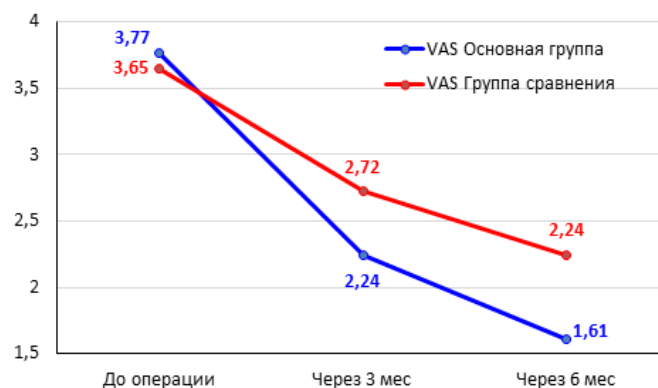


Рисунок 11. Динамика средних показателей болевого синдрома по VAS.

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 ($p < 0,05$).

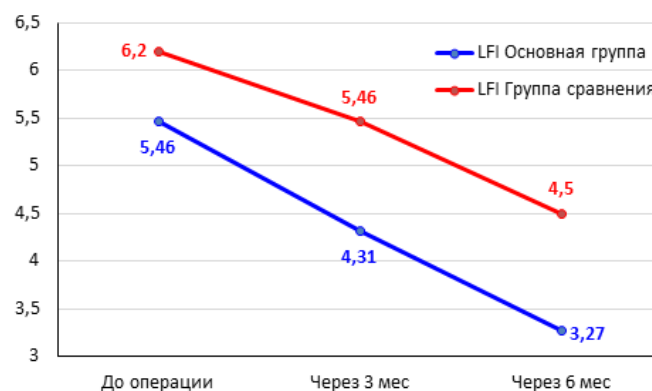


Рисунок 12. Динамика средних показателей болевого синдрома по LFI.

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.

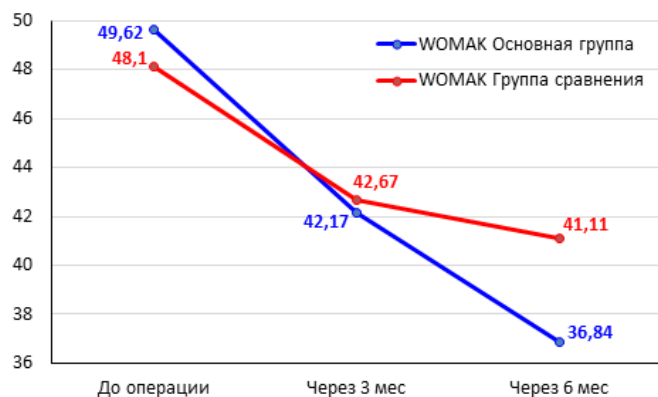


Рисунок 13. Динамика средних показателей болевого синдрома по WOMAK

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.ivannikov@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

Наймман 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:

Сури 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