

Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 3. С. 328-332.
Genij Ortopedii. 2022. Vol. 28, no. 3. P. 328-332.

Научная статья

УДК616.727.3-089.168.1-08:615.849.11

<https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-328-332>



**Результаты воздействия электромагнитных волн терагерцового диапазона на ткани
локтевого сустава при последствиях его повреждений**

Е.С. Козлов, Ю.П. Солдатов[✉], М.В. Стогов, Е.Н. Щурова, Е.А. Киреева

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

Автор, ответственный за переписку: Юрий Петрович Солдатов, soldatov-up@mail.ru

Аннотация

Введение. Среди применяемых в клинической практике диапазонов электромагнитных волн перспективными являются электромагнитные волны терагерцового диапазона (ЭМВТГД), которые, как показывают экспериментально-клинические исследования, способны обеспечить коррекцию основных патофизиологических нарушений живого организма – гипоксии, гиперкоагуляции, иммунодефицитных состояний. **Цель.** Изучить эффективность и безопасность применения электромагнитных волн терагерцового диапазона в комплексном лечении пациентов с последствиями переломов мыщелка плечевой кости (МПК). **Материалы и методы.** Проведены клинические, рентгенологические, физиологические и лабораторные исследования у 30 пациентов с последствиями переломов мыщелка плечевой кости (посттравматические деформации, остеоартриты локтевого сустава). Оперативное лечение больных с последствиями травм локтевого сустава было классическим и заключалось в проведении корригирующих остеотомий и остеосинтеза аппаратом Илизарова плеча, предплечья. Основная группа – 15 пациентов, которым проводили 10 сеансов воздействия ЭМВТГД на зону остеотомии, остальным 15 больным физиотерапевтическое лечение не проводили. **Результаты.** Обнаружено, что у пациентов основной группы в ближайшие сроки после лечения средние значения интенсивности болевого синдрома и дефицита амплитуды движений были статистически значимо ниже значений группы сравнения. Применение сеансов терапии ЭМВТГД приводило к различиям метаболических процессов в сравниваемых группах. Значительных изменений рентгенологических, физиологических и лабораторных показателей, а также клинических признаков, которые можно было бы отнести к нежелательным явлениям или осложнениям, связанным с применением ЭМВТГД, не выявлено. **Заключение.** Результаты выполненного сравнительного исследования позволяют рекомендовать применение сеансов терапии ЭМВТГД в системе комплексного лечения пациентов с последствиями переломов мыщелка плечевой кости. Методика может быть использована как средство для локальной стимуляции репаративных процессов у целевых пациентов.

Ключевые слова: мыщелок плечевой кости, последствия травм, деформация, остеоартрит, электромагнитные волны терагерцового диапазона, эффективность, безопасность

Для цитирования: Результаты воздействия электромагнитных волн терагерцового диапазона на ткани локтевого сустава при последствиях его повреждений / Е.С. Козлов, Ю.П. Солдатов, М.В. Стогов, Е.Н. Щурова, Е.А. Киреева // Гений ортопедии. 2022. Т. 28, № 3. С. 328-332. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-328-332>. EDN BOXUBR.

Original article

***The results of the impact of electromagnetic waves of the terahertz range on the tissues of the elbow joint
with the consequences of its injury***

E.S. Kozlov, Yu.P. Soldatov[✉], M.V. Stogov, E.N. Shchurova, E.A. Kireeva

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

Corresponding author: Yuri P. Soldatov, soldatov-up@mail.ru

Abstract

Introduction Among the ranges of electromagnetic waves used in clinical practice, electromagnetic waves of the terahertz range (EMWTHR) have promising applications. The experimental and clinical studies show that they are able to provide correction of the main pathophysiological disorders of a living organism such as hypoxia, hypercoagulation, and immunodeficiency. **Purpose** To study the effectiveness and safety of terahertz electromagnetic waves in the complex treatment of patients with the consequences of fractures of the humeral condyle. **Methods** Clinical, radiological, physiological and laboratory studies were conducted in 30 patients with consequences of fractures of the humeral condyle (post-traumatic deformities, osteoarthritis of the elbow joint). Surgical treatment of patients with consequences of injuries of the elbow joint was classical and consisted of corrective osteotomies and osteosynthesis with the Ilizarov apparatus of the humerus and forearm. The main group consisted of 15 patients who underwent 10 sessions of EMWTHR exposure to the osteotomy zone, and 15 patients did not undergo physiotherapy. **Results** It was found that in patients of the main group, the average values of the intensity of pain and the deficit in the range of motion were significantly lower than the findings of the comparison group in the short term after treatment. The use of EMWTHR therapy led to differences in metabolic processes in the compared groups. There were no significant changes in radiological, physiological and laboratory parameters, as well as clinical signs that could be attributed to adverse events or complications associated with the use of EMWTHR. **Conclusion** The results of the comparative study allow us to recommend the EMWTHR therapy in the system of complex treatment of patients with the consequences of fractures of the humeral condyle and can be used as a means for local stimulation of reparative processes in target patients.

Keywords: humeral condyle, injury, consequences, deformity, osteoarthritis, terahertz electromagnetic waves, efficacy, safety

For citation: Kozlov E.S., Soldatov Yu.P., Stogov M.V., Shchurova E.N., Kireeva E.A. The results of the impact of electromagnetic waves of the terahertz range on the tissues of the elbow joint with the consequences of its injury. *Genij Ortopedii*, 2022, vol. 28, no. 3, pp. 328-332. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2022-28-3-328-332>

ВВЕДЕНИЕ

Применение электромагнитных волн, как способа стимуляции регенерации опорных тканей, в настоящее время имеет достаточное теоретическое обоснование [1–3]. Среди применяемых в практике диапазонов электромагнитных волн перспективными являются электромагнитные волны терагерцового диапазона

(ЭМВТГД), которые, как показывают экспериментально-клинические исследования, способны обеспечить коррекцию основных патофизиологических нарушений живого организма – гипоксии, гиперкоагуляции, иммунодефицитных состояний [4–9]. Показано, что применение таких терапевтических средств, малоин-

вазивных и малотравматичных, может быть достаточно эффективным в практике травматологии и ортопедии [10, 11]. В этом плане комплексное применение ЭМВТГД при лечении больных ортотравматического профиля является перспективным способом

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проанализированы результаты клинично-рентгенологических, физиологических и лабораторных исследований у 30 больных с последствиями перелома МПК (различные деформации, остеоартриты локтевого сустава). Возраст пациентов составил 18–56 лет. Больные до лечения предъявляли жалобы на деформацию локтевого сустава, сопровождающую нарушением движений, боли в локтевом суставе при физической нагрузке и «ночные» боли. По данным рентгенографии у всех пациентов отмечались в локтевом суставе признаки остеоартрита II стадии. Давность перелома составила 1–2 года. Хирургическое лечение пациентов с последствиями перелома МПК было классическим и заключалось в проведении корригирующих остеотомий и остеосинтеза аппаратом Илизарова плеча, предплечья.

В раннем послеоперационном периоде после остеотомий костей, образующих локтевой сустав, 15 пациентов были рандомизированы в основную группу, в которой пациентам проводили 10 сеансов воздействия ЭМВТГД на зону остеотомии (режим амплитудной модуляции сигнала соответствовал частоте $150 \pm 0,75$ ГГц, продолжительность воздействия – 15 минут ежедневно). Первый сеанс начинали на 1–2 день после операции. Другим 15 пациентам данная процедура не выполнялась (группа сравнения). По клинично-демографическим данным пациенты сравниваемых групп были сопоставимы. Оперативные вмешательства выполнены одной бригадой, протоколы послеоперационного ведения пациентов отличались только наличием в основной группе дополнительного воздействия ЭМВТГД.

Источником ЭМВТГД явился физиотерапевтический прибор «Орбита» (рег. уд. № ФСР 2009/05497), который применялся по показаниям для терапевтического воздействия на заинтересованную патологическую зону живого организма электромагнитными волнами на частоте молекулярного спектра излучения и поглощения оксида азота.

Исследование одобрено этическим комитетом при ФГБУ «НМИЦ ТО им. акад. Г.А. Илизарова» Минздрава России.

Клинично-рентгенологические исследования. Пациентам выполняли рентгенографию сегмента конечности с областью остеотомии и исследуемого сустава в двух стандартных проекциях (переднезадняя и боковая). В послеоперационном периоде наблюдали динамику болевого синдрома и объема движений в локтевом суставе, которые анализировали с помощью визуально-аналоговой шкалы (оценка интенсивности боли в покое, при движении в суставе, в ночное время) и показателей дефицита амплитуды движений в баллах – от 0 до 5.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Изменения интенсивности болевого синдрома и дефицит амплитуды движений у пациентов изученных групп представлены в таблице 1.

Обнаружено, что у пациентов основной группы в

стимуляции регенерации тканей, а предварительные результаты, по данным литературы, положительны.

Цель исследования – изучить эффективность и безопасность воздействия ЭМВТГД в комплексном лечении пациентов с последствиями переломов МПК.

Физиологические исследования. Определяли реакцию кожных покровов верхней конечности при применении ЭМВТГД до процедуры воздействия ЭМВТГД, в процессе её выполнения на 1-й, 5-й и 10-й процедуре, через 7 дней после окончания воздействия и после окончания стационарного лечения. В зоне воздействия излучения производили измерение объемного кожного капиллярного кровотока и напряжения кислорода и углекислого газа. Измерение показателей проводили лазерным доплеровским флоуметром (BLF-21, «Transonic Systems», США) с применением накожного датчика. Чрескожным полярографическим монитором – 840 (VFD, $\text{ТсрCO}_2/\text{ТсрCO}_2$, "Novamatrix", США) определяли напряжение кислорода и углекислого газа (мм рт. ст.). Газовый состав тканей определяли с помощью согревающего ($t = 44^\circ\text{C}$) датчика с электродом типа "Clark" для пролонгированного определения ТсрO_2 и ТсрCO_2 . Измерение чрескожного напряжения кислорода и углекислого газа осуществляли до начала процедуры, непосредственно после окончания сеанса, через 7 дней после завершения воздействия и после окончания стационарного лечения.

Лабораторные исследования. У больных исследовали сыворотку крови. Забор крови осуществляли до начала применения ЭМВТГД, после 10 сеансов и на момент выписки из стационара. Определяли содержание глюкозы, лактата (МК), общего белка, общего холестерина, триглицеридов (ТГ), мочевины, неорганического фосфата, общего кальция, магния, натрия, калия, хлоридов. Выявляли активность щелочной (ЩФ) и тартратрезистентного изофермента кислой (ТрКФ) фосфатазы, трансаминаз (АСТ, АЛТ), креатинкиназы, лактатдегидрогеназы (ЛДГ).

На автоматическом биохимическом анализаторе Hitachi/BM 902 (Япония) выявляли активность ферментов и концентрацию субстратов. При этом применяли наборы реагентов фирмы Vital Diagnostic (СПб). Содержание калия, натрия, хлоридов определяли ион-селективным методом с применением ионселективного блока биохимического анализатора Hitachi/BM 902.

Статистическая оценка. Определяли среднюю арифметическую и стандартное отклонение ($\bar{X} \pm \text{SD}$). С помощью критерия Шапиро-Уилка выявляли нормальность распределения выборок. Процедуру статистической оценки значимости отличий показателей внутри исследуемых групп (до и после лечения) выполняли с применением W-критерия Вилкоксона. Для определения статистической значимости полученных показателей между группами применяли T-критерий Манна-Уитни.

ближайшие сроки после лечения средние значения интенсивности болевого синдрома и дефицита амплитуды движений были статистически значимо ниже значений группы сравнения.

Таблица 1

Интенсивность болевого синдрома и дефицит амплитуды движений у пациентов изученных групп ($\bar{X} \pm SD$)

Группа	Боль, балл (до 5)		Дефицит амплитуды движений, %	
	до лечения	при выписке	до лечения	при выписке
Основная группа	$2,5 \pm 0,3$	$0,4 \pm 0,2^{**}$	$34 \pm 0,2$	$22 \pm 0,2^{**}$
Группа сравнения	$2,7 \pm 0,3$	$1,0 \pm 0,2^*$	$36 \pm 0,2$	$34 \pm 0,1$

Примечание: * – значимое отличие со сроком до лечения при $p < 0,05$; ** – значимые отличия с группой сравнения при $p < 0,05$.

Таблица 2

Динамика изменения показателей сыворотки крови, имевших значимые изменения, у пациентов изученных групп ($\bar{X} \pm SD$)

Срок	Группа	ЩФ, Е/л	ТрКФ, Е/л	МК, ммоль/л	ТГ, ммоль/л
До воздействия ЭМВТГД	О	108 ± 41	$4,50 \pm 0,28$	$1,9 \pm 0,2$	$1,3 \pm 0,7$
	С	104 ± 24	$4,20 \pm 0,47$	$2,1 \pm 0,2$	$1,1 \pm 0,2$
После 10 сеансов	О	111 ± 32	$3,00 \pm 0,63^*$	$2,1 \pm 0,1$	$1,3 \pm 0,8$
	С	102 ± 20	$3,40 \pm 0,14^*$	$2,4 \pm 0,1$	$1,1 \pm 0,8$
В день выписки из стационара	О	95 ± 9	$2,55 \pm 0,07^{**}$	$2,3 \pm 0,3^*$	$0,8 \pm 0,4^*$
	С	97 ± 16	$5,61 \pm 1,11$	$2,9 \pm 0,3$	$1,3 \pm 0,1$

Примечание: О – основная группа; С – группа сравнения; * – достоверные отличия относительно срока до воздействия ЭМВТГД при $p < 0,05$; ** – достоверные значения, отличающиеся от показателей группы сравнения при $p < 0,05$.

Применение сеансов терапии ЭМВТГД приводило к различиям и метаболических процессов в сравниваемых группах (см. табл. 2). Так, если активность ЩФ у пациентов обеих групп значимо не отличалась, то у пациентов опытной группы в ходе лечения отмечалось достоверное снижение активности ТрКФ, и через месяц после лечения активность данного фермента у пациентов опытной группы была выше как исходного (до начала терапии) уровня, так и значений пациентов группы сравнения.

Кроме того, у пациентов основной группы через месяц после применения ЭМВТГД отмечались значимые отличия (снижение) уровня лактата и триглицеридов сыворотки крови относительно пациентов группы сравнения. Все другие исследованные биохимические показатели в ходе лечения у пациентов обеих групп достоверно между группами не отличались (данные не приведены). Наблюдаемые изменения в сыворотке крови продуктов энергетического обмена (лактат и ТГ) у больных опытной группы указывало на более высокую интенсивность аэробного обмена, что, возможно, было связано с улучшением кровоснабжения мягких тканей оперированного сегмента у пациентов в ходе применения ЭМВТГД.

В пользу последнего предположения говорят данные физиологических исследований. Выявлено, что объемная скорость капиллярного кожного кровотока в зоне воздействия ЭМВТГД последовательно в ходе сеансов нарастала в среднем от $3,0 \text{ мл/мин} \cdot 100 \text{ г}$ до нача-

ла сеансов, до $4,4 \text{ мл/мин} \cdot 100 \text{ г}$ через 2 минуты после начала сеанса и до $6,2 \text{ мл/мин} \cdot 100 \text{ г}$ – через 10 минут. После применения ЭМВТГД повышенные показатели капиллярного кровотока в заинтересованной зоне сохранялись до 10 минут.

В процессе воздействия ЭМВТГД усиливался и газовый режим тканей (табл. 3). Достоверные изменения средних показателей напряжения кислорода (его рост) и углекислого газа (его снижение) у пациентов опытной группы отмечалось уже через 5 сеансов терапии ЭМВТГД. Повышенные значения напряжения кислорода у всех пациентов основной группы сохранялись минимум в течение 7 дней после окончания воздействия КВЧ.

Таблица 3

Показатели чрескожного напряжения кислорода и углекислого газа у больных основной группы ($\bar{X} \pm SD$)

Показатель чрескожного напряжения (мм рт. ст.)	До лечения	Пятая процедура	Десятая процедура
Кислорода	60 ± 3	$75 \pm 5^*$	$77 \pm 4^*$
Углекислого газа	67 ± 3	$54 \pm 2^*$	$50 \pm 2^*$

Примечание: * – значимое отличие со сроком до лечения при $p < 0,05$.

Значительных изменений рентгенологических, физиологических и лабораторных показателей, а также клинических признаков, которые можно было бы отнести к нежелательным явлениям или осложнениям, связанным с применением ЭМВТГД, не выявлено. Это обстоятельство свидетельствует о допустимой безопасности её применения в системе лечения целевых пациентов.

ДИСКУССИЯ

В процессе работы выявлено, что применение ЭМВТГД у пациентов при лечении последствий переломов МПК способствует активации прежде всего местных, в зоне перелома, реакций, в целом приводящих к положительным клиническим эффектам в виде снижения болевого синдрома и дефицита амплитуды. Такой эффект достигается за счет активации местного кровотока в зоне оперативного вмешательства под воздействием ЭМВТГД, что приводило к локальному повышению кислородной обеспеченности тканей. Это, в свою очередь, на молекулярном уровне вызывало

интенсификацию локальных аэробных процессов, что вело к ускорению репарации всех тканей опорно-двигательного аппарата [12, 13].

Однако анализ литературных данных показывает, что применение данных волн в комплексе лечения пациентов ортопедического профиля имеет ограниченную доступность, и часто они применяются в индивидуальном порядке [14]. Системных исследований выполнено мало. Так, группой авторов [15] данная терапия была использована в комплексном лечении 18 больных с переломами локтевого отростка. Авторы

отмечают, что применение ЭМВТГД способствовало сокращению сроков временной нетрудоспособности данных пациентов в отличие от группы сравнения. В другой работе [16] технология была применена у 32 пациентов с переломами костей нижних конечностей. Исследователи констатируют, что применение ЭМВТГД приводило к улучшению реологических свойств крови у больных в сравнении с общепризнанной схемой профилактики тромбоза глубоких вен. Применяя ЭМВТГД в комплексном лечении 12 пациентов с проникающими колото-резаными ранениями груди, В.В. Масляков с соавт. [17] отмечают, что данная процедура предотвращала развитие изменений реологических свойств крови. При этом авторы отмечали хорошую переносимость данной процедуры. Также имеется опыт применения КВЧ-терапии как средства для стимуляции регресса нейроортопедических нарушений у пациентов с поясничным остеохондрозом и остеоартритом [18]. В целом, проведенное нами исследование в совокупности с представленными работами свидетельствует об эффективности применения ЭМВТГД в системе лечения целевых пациентов.

Несмотря на существующий скромный опыт применения ЭМВТГД, нужно отметить, что использование электромагнитного воздействия к настоящему времени находит все большее практическое применение для лечения больных с различной ортопедотравматологической патологией. [19–23]. Причем расширяются показания не только для стимуляции репарации кости, но и в

части применения воздействий электромагнитным полем при повреждениях хряща [24, 25]. Потенцирование эффектов такого воздействия возможно и за счёт комбинирования применяемых электромагнитных волн [26].

Суммируя опыт клинического применения электромагнитной стимуляции в практике травматологии и ортопедии Л. Calioigna отмечает, что основным клиническим эффектом такой стимуляции является снижение боли и возможность стимулировать процесс заживления локально, не вызывая системных эффектов и побочных реакций [27]. Эффективность же электромагнитной стимуляции в части сокращения сроков сращения кости, по данным литературы, выглядит не совсем очевидной [28–31]. В целом эти данные согласуются с полученными нами результатами: воздействия ЭМВТГД способствует развитию местных эффектов, снижению болевого синдрома, улучшению функции, без значимого сокращения сроков лечения, на фоне приемлемой безопасности.

Несомненно, полученные нами результаты имеют ограничения в плане небольшого объема выборки исследуемых пациентов. Очевидно, что доказательство эффективности применения ЭМВТГД у пациентов ортопедотравматологического профиля нуждается в расширении числа наблюдений и числа исследований в целом. Однако наш опыт применения пока подтверждает первоначальную гипотезу об эффективности использования данной процедуры в комплексе мер лечения целевых пациентов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты выполненного сравнительного исследования позволяют рекомендовать применение сеансов терапии ЭМВТГД в системе комплексного лечения пациентов с последствиями переломов

мышцелка плечевой кости. Методика может быть использована как средство для локальной стимуляции репаративных процессов у целевых пациентов.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Galli C., Pedrazzi G., Guizzardi S. The cellular effects of Pulsed Electromagnetic Fields on osteoblasts: A review // *Bioelectromagnetics*. 2019. Vol. 40, No 4. P. 211-233. DOI: 10.1002/bem.22187.
2. Pulsed electromagnetic fields promote bone formation by activating the sAC-cAMP-PKA-CREB signaling pathway / Y.Y. Wang, X.Y. Pu, W.G. Shi, Q.Q. Fang, X.R. Chen, H.R. Xi, Y.H. Gao, J. Zhou, C.J. Xian, K.M. Chen // *J. Cell Physiol*. 2019. Vol. 234, No 3. P. 2807-2821. DOI: 10.1002/jcp.27098.
3. Yuan J., Xin F., Jiang W. Underlying Signaling Pathways and Therapeutic Applications of Pulsed Electromagnetic Fields in Bone Repair // *Cell Physiol. Biochem*. 2018. Vol. 46, No 4. P. 1581-1594. DOI: 10.1159/000489206.
4. Казаринов К.Д. Биологические эффекты электромагнитного поля терагерцового диапазона // *Электронная техника. Серия 1: СВЧ-техника*. 2009. № 4 (503). С. 48-58.
5. Киричук В.Ф., Цымбал А.А. Применение терагерцового излучения на частотах оксида азота для коррекции антиоксидантных свойств крови и перекисного окисления липидов в условиях стресса // *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2010. Т. 96, № 2. С. 121-127.
6. Киричук В.Ф., Цымбал А.А. Применение электромагнитных волн терагерцового диапазона для коррекции функций гемостаза // *Медицинская техника*. 2010. № 1. С. 12-16.
7. Кулипанов Г.Н. Генерация и использование терагерцового излучения: история и перспективы // *Вестник Новосибирского государственного университета. Серия: Физика*. 2010. Т. 5, № 4. С. 24-27.
8. Чекрыгин В.Э. Терагерцовый диапазон на страже здоровья // *Известия ЮФУ. Технические науки*. 2009. № 7 (96). С. 102-107.
9. Extremely High Frequency Electromagnetic Fields Facilitate Electrical Signal Propagation by Increasing Transmembrane Potassium Efflux in an Artificial Axon Model / S. D'Agostino, C. Della Monica, E. Palizzi, F. Di Pietrantonio, M. Benetti, D. Cannata, M. Cavagnaro, D. Sardari, P. Stano, A. Ramundo-Orlando // *Sci. Rep*. 2018. Vol. 8, No 1. P. 9299. DOI: 10.1038/s41598-018-27630-8.
10. Лукин С.Ю., Солдатов Ю.П., Дьячков А.Н. Результаты лечения больных с множественной и сочетанной травмой с применением малоинвазивных технологий остеосинтеза и электромагнитных волн терагерцового диапазона // *Гений ортопедии*. 2021. Т. 27, № 1. С. 6-12.
11. Лукин С.Ю., Солдатов Ю.П., Стогов М.В. Комплексная коррекция патофизиологических нарушений у ортопедотравматологических больных с применением электромагнитных волн терагерцового диапазона на частотах излучения оксида азота // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2018. Т. 95, № 6. С. 58-66. DOI: 10.17116/kurort20189506158.
12. Potential Cellular and Biochemical Mechanisms of Exercise and Physical Activity on the Ageing Process / M. Ross, H. Lithgow, L. Hayes, G. Florida-James // *Subcell. Biochem*. 2019. Vol. 91. P. 311-338. DOI: 10.1007/978-981-13-3681-2_12.
13. Osteocyte-mediated Translation of Mechanical Stimuli to Cellular Signaling and Its Role in Bone and non-bone-Related Clinical Complications / Y. Yan, L. Wang, L. Ge, J.L. Pathak // *Curr. Osteoporos. Rep*. 2020. Vol. 18, No 1. P. 67-80. DOI: 10.1007/s11914-020-00564-9.

14. Nonoperative and Operative Bone and Cartilage Regeneration and Orthopaedic Biologics of the Hip: An Orthoregeneration Network (ON) Foundation Hip Review / J. Hernigou, P. Verdonk, Y. Homma, R. Verdonk, S.B. Goodman, P. Hernigou // *Arthroscopy*. 2022. Vol. 38, No 2. P. 643-656. DOI: 10.1016/j.arthro.2021.08.032.
15. Комплексное экспериментальное и клиническое исследование эффективности КВЧ-терапии на частотах оксида азота в восстановительном лечении пациентов с переломами костей / Н.В. Богомолова, Р.М. Дулатов, С.И. Киреев, В.Ф. Киричук, А.П. Креницкий // *Вестник новых медицинских технологий*. 2010. Т. 17, № 1. С. 107-110.
16. Комплексная профилактика венозного тромбоза у травматологических больных / С.И. Киреев, В.Ф. Киричук, Н.В. Богомолова, Р.М. Дулатов, А.П. Креницкий, О.Н. Ямщиков, Д.А. Марков // *Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки*. 2010. Т. 15, № 5. С. 1515-1518.
17. Применение аппарата для терагерцовой терапии "Орбита" с целью коррекции реологических свойств крови при колото-резаных ранениях груди / В.В. Масляков, О.И. Дралина, О.А. Суханова, В.Г. Барсуков, А.Я. Дадаев // *Физиотерапия, бальнеология и реабилитация*. 2015. Т. 14, № 4. С. 29-32.
18. Мирютова Н.Ф., Бартфельд Н.Н., Кожемякин А.М. Применение КВЧ-терапии в восстановительном лечении заболеваний опорно-двигательного аппарата // *Вопросы курортологии, физиотерапии и лечебной физической культуры*. 2006. № 3. С. 13-16.
19. The effects of pulsed electromagnetic fields combined with a static magnetic intramedullary implant on the repair of bone defects: A preliminary study / Z. Bao, M. Fan, L. Ma, Q. Duan, W. Jiang // *Electromagn. Biol. Med.* 2019. Vol. 38, No 3. P. 210-217. DOI: 10.1080/15368378.2019.1625785.
20. The Application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) for Bone Fracture Repair: Past and Perspective Findings / C. Daish, R. Blanchard, K. Fox, P. Pivonka, E. Pirogova // *Ann. Biomed. Eng.* 2018. Vol. 46, No 4. P. 525-542. DOI: 10.1007/s10439-018-1982-1.
21. Promising application of Pulsed Electromagnetic Fields (PEMFs) in musculoskeletal disorders / H. Hu, W. Yang, Q. Zeng, W. Chen, Y. Zhu, W. Liu, S. Wang, B. Wang, Z. Shao, Y. Zhang // *Biomed. Pharmacother.* 2020. Vol. 151. P. 110767. DOI: 10.1016/j.biopha.2020.110767.
22. The role of biophysical stimulation with PEMFs in fracture healing: from bench to bedside / G. Vicenti, D. Bizzoca, G. Solarino, F. Moretti, G. Ottaviani, F. Simone, G. Zavattini, G. Maccagnano, G. Noia, B. Moretti // *J. Biol. Regul. Homeost. Agents*. 2020. Vol. 34, No 5, Suppl. 1. P. 131-135.
23. Pulsed electromagnetic fields: promising treatment for osteoporosis / T. Wang, L. Yang, J. Jiang, Y. Liu, Z. Fan, C. Zhong, C. He // *Osteoporos. Int.* 2019. Vol. 30, No 2. P. 267-276. DOI: 10.1007/s00198-018-04822-6.
24. Fahy N., Alini M., Stoddart M.J. Mechanical stimulation of mesenchymal stem cells: Implications for cartilage tissue engineering // *J. Orthop. Res.* 2018. Vol. 36, No 1. P. 52-63. DOI: 10.1002/jor.23670.
25. Biophysical stimulation of bone and cartilage: state of the art and future perspectives / L. Massari, F. Benazzo, F. Falez, D. Perugia, L. Pietrogrande, S. Setti, R. Osti, E. Vaienti, C. Ruosi, R. Cadossi // *Int. Orthop.* 2019. Vol. 43, No 3. P. 539-551. DOI: 10.1007/s00264-018-4274-3.
26. The Effect of Pulsed Electromagnetic Field and Combined Magnetic Field Exposure Time on Healing of a Rabbit Tibial Osteotomy / D.C. Fredericks, E.B. Petersen, M. Rhodes, G.A. Larew, J.V. Nepola // *Iowa Orthop. J.* 2019. Vol. 39, No 2. P. 20-26.
27. Pulsed Electromagnetic Fields in Bone Healing: Molecular Pathways and Clinical Applications / L. Caligogna, M. Medetti, V. Bina, A.M. Brancato, A. Castelli, E. Jannelli, A. Ivone, G. Gastaldi, S. Annunziata, M. Mosconi, G. Pasta // *Int. J. Mol. Sci.* 2021. Vol. 22, No 14. P. 7403. DOI: 10.3390/ijms22147403.
28. Assiotis A., Sachinis N.P., Chalidis B.E. Pulsed Electromagnetic Fields for the Treatment of Tibial Delayed Unions and Nonunions. A Prospective Clinical Study and Review of the Literature // *J. Orthop. Surg. Res.* 2012. Vol. 7. P. 24. DOI: 10.1186/1749-799X-7-24.
29. Electromagnetic Bone Growth Stimulation in Patients with Femoral Neck Fractures Treated with Screws: Prospective Randomized Double-Blind Study / C. Faldini, M. Cadossi, D. Luciani, E. Betti, E. Chiarello, S. Giannini // *Curr. Orthop. Pract.* 2010. Vol. 21, No 3. P. 282-287. DOI: 10.1097/BCO.0b013e3181d4880f.
30. The effects of low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic fields bone growth stimulation in acute fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials / P.F. Hannemann, E.H. Mommers, J.P. Schots, P.R. Brink, M. Poeze // *Arch. Orthop. Trauma Surg.* 2014. Vol. 134, No 8. P. 1093-1106. DOI: 10.1007/s00402-014-2014-8.
31. Electromagnetic stimulation as coadjuvant in the healing of diaphyseal femoral fractures: a randomized controlled trial / A. Martinez-Rondanelli, J.P. Martinez, M.E. Moncada, E. Manzi, C.R. Pinedo, H. Cadavid // *Colomb. Med. (Cali)*. 2014. Vol. 45, No 2. P. 67-71.

Статья поступила в редакцию 17.11.2021; одобрена после рецензирования 10.01.2022; принята к публикации 28.03.2022.

The article was submitted 17.11.2021; approved after reviewing 10.01.2022; accepted for publication 28.03.2022.

Информация об авторах:

1. Евгений Сергеевич Козлов;
2. Юрий Петрович Солдатов – доктор медицинских наук, профессор, soldatov_up@mail.ru;
3. Максим Валерьевич Стогов – доктор биологических наук, доцент, stogo_off@list.ru;
4. Елена Николаевна Щурова – доктор биологических наук, elena.shurova@mail.ru;
5. Елена Анатольевна Киреева – кандидат биологических наук.

Information about the authors:

1. Evgeny S. Kozlov;
2. Yuri P. Soldatov – Doctor of Medical Sciences, Professor, soldatov-up@mail.ru;
3. Maksim V. Stogov – Doctor of Biological Sciences, Assistant Professor, stogo_off@list.ru;
4. Elena N. Shchurova – Doctor of Biological Sciences, elena.shurova@mail.ru;
5. Elena A. Kireeva – Candidate of Biological Sciences.