



Применение магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности медицинской реабилитации пациентов с остеоартрозом коленного сустава: обзорная статья

Кульчицкая Д.Б.^{1,*}, Юрова О.В.¹, Севрюгина О.А.²

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России, Москва, Россия

² ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ

ВВЕДЕНИЕ. В последние годы для диагностики раннего остеоартроза все чаще стали применять магнитно-резонансную томографию (МРТ). Принимая во внимание тот факт, что на сегодняшний день фармакологические средства не являются достаточно эффективными и часто приводят к аллергизации организма, возникает необходимость в поисках новых немедикаментозных методов лечения пациентов с остеоартрозом (ОА) коленного сустава, которые обладают доказанной эффективностью.

ЦЕЛЬ. Анализ научных данных о применении МРТ как объективного метода оценки эффективности медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ. Был проведен поиск публикаций в базах данных PEDro, PubMed за период с 2000 года по март 2023 года. Подходящие статьи должны были отражать применение МРТ в оценке эффективности медицинской реабилитации у пациентов с ОА коленного сустава.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ. В результате поиска в электронных ресурсах наибольшее количество работ по изучаемой тематике было установлено в базе данных PubMed. По результатам количественного анализа публикаций в данной базе найдено 7256 работ, в которых отражено применение МРТ — современного диагностического исследования в медицинской реабилитации. При этом 2,5 % от общего количества занимали публикации, в которых с помощью МРТ исследователи оценивали эффективность медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава. Большинство публикаций было в международных базах, тогда как в российских они практически отсутствовали.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ. Проведенный анализ научных данных о применении МРТ как объективного метода оценки эффективности медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава показал, что на сегодняшний день встречается не так много научных публикации по данной теме. Несмотря на малое число исследований, среди применяемых методов восстановительной медицины с доказанным влиянием на связочный аппарат, хрящевую и мягкие ткани коленного сустава, по данным МРТ, у пациентов с ОА можно выделить ударно-волновую терапию, лечебную физкультуру и ультразвуковую терапию. Однако очевидной является необходимость продолжения научных исследований в данном направлении.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: остеоартрит, остеоартроз коленного сустава, медицинская реабилитация, физиотерапия, магнитно-резонансная томография.

Для цитирования / For citation: Кульчицкая Д.Б., Юрова О.В., Севрюгина О.А. Применение магнитно-резонансной томографии в оценке эффективности медицинской реабилитации пациентов с остеоартрозом коленного сустава: обзорная статья. Вестник восстановительной медицины. 2023; 22(2):96-101.

<https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-96-101>. [Kulchitskaya D.B., Yurova O.V., Sevryugina O.A. Application of Magnetic Resonance Imaging in Medical Rehabilitation Effectiveness Assessing for Patients with Knee Joint Osteoarthritis: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(2): 96-101.

<https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-96-101> (In Russ.)]

*Для корреспонденции: Кульчицкая Детелина Борисовна, E-mail: deti_ku@mail.ru, kulchitskayadb@nmicrk.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Статья получена: 01.03.2023

Поступила после рецензирования: 29.03.2023

Статья принята к печати: 17.04.2023

Application of Magnetic Resonance Imaging in Medical Rehabilitation Effectiveness Assessing for Patients with Knee Joint Osteoarthritis: a Review

 **Detelina B. Kulchitskaya**^{1,*},  **Olga V. Yurova**¹,  **Olga A. Sevryugina**²

¹ National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology, Moscow, Russia

² M.F. Vladimirsky Moscow Regional Research Clinical Institute, Moscow Region, Russia

ABSTRACT

INTRODUCTION. In recent years, magnetic resonance imaging (MRI) has been increasingly used to diagnose early osteoarthritis (OA). Taking into account the fact that nowadays pharmacological agents are not effective enough and often lead to allergization of the body, there is a need to search for new non-drug methods of treatment of patients with knee joint OA that have proven effectiveness.

AIM. To analyze scientific evidence on the use of MRI as an objective method of assessing the effectiveness of medical rehabilitation of patients with knee OA.

MATERIALS AND METHODS. We searched for publications in the PEDro and PubMed for the period from 2000 to March 2023. Suitable articles were to reflect the use of MRI as a criterion for the effectiveness of medical rehabilitation in patients with OA of the knee joint.

RESULTS AND DISCUSSION. As a result of a search in electronic resources, the largest number of works on the subject under study was found in PubMed. According to the literature quantitative analysis, 7256 works were identified, which reflect the use of MRI in medical rehabilitation. The publications in which the effectiveness of medical rehabilitation of patients with knee OA was evaluated by researchers using MRI accounted for 2.5 % of the total number. Most of the publications were in international databases, while they were practically absent in the Russian ones.

CONCLUSION. Despite the scarce research on the matter, we can distinguish the following rehabilitation medicine methods with a proven effect on the ligamentous apparatus, cartilage and soft tissues of the knee joint in patients with OA, according to MRI data: shockwave therapy, physical therapy and ultrasound therapy. However, the need for further scientific research in this direction is obvious.

KEYWORDS: osteoarthritis, knee osteoarthritis, medical rehabilitation, physiotherapy, magnetic resonance imaging.

For citation: Kulchitskaya D.B., Yurova O.V., Sevryugina O.A. Application of Magnetic Resonance Imaging in Medical Rehabilitation Effectiveness Assessing for Patients with Knee Joint Osteoarthritis: a Review. Bulletin of Rehabilitation Medicine. 2023; 22(2):96-101. <https://doi.org/10.38025/2078-1962-2023-22-2-96-101> (In Russ.).

***For correspondence:** Detelina B. Kulchitskaya, E-mail: deti_ku@mail.ru, kulchitskayadb@nmicr.ru; ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Received: 01.03.2023

Revised: 29.03.2023

Accepted: 17.04.2023

ВВЕДЕНИЕ

Остеоартроз (ОА), особенно ОА коленного сустава, является наиболее распространенной формой артроза, приводящей к значительной инвалидизации пациентов во всем мире.

До недавнего времени для диагностики ОА коленного сустава на начальных стадиях в основном применялась рентгенография. Однако этот метод не позволяет достоверно визуализировать связочный аппарат, хрящевую и мягкие ткани. В последние годы начали чаще использовать МРТ, которая является высокоинформативным неинвазивным методом диагностики раннего ОА коленного сустава [1]. МРТ включена в клинические рекомендации по гонартрозу (2021), согласно которым для лечения и реабилитации пациентов с ОА коленного сустава применяются консервативные и хирургические методы [2]. Консервативные методы включают медикаментозные средства, а также лечебную

физкультуру, массаж, физиотерапию и диету. Принимая во внимание тот факт, что на сегодняшний день фармакологические средства не являются достаточно эффективными и часто приводят к аллергизации, возникает необходимость в поисках новых немедикаментозных методов лечения пациентов с ОА коленного сустава, которые обладают доказанной эффективностью [3–12].

ЦЕЛЬ

Анализ научных данных о применении МРТ как объективного метода оценки эффективности медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Был проведен поиск публикаций в базах данных PEDro, PubMed за период с 2000 года по март 2023 года. Подходящие статьи должны были сообщать о примене-

нии МРТ как критерия эффективности медицинской реабилитации у пациентов с ОА коленного сустава. Поиск осуществлялся по ключевым словам на русском и английском языках: остеоартрит/остеоартроз коленного сустава (knee osteoarthritis), медицинская реабилитация (medical rehabilitation), физиотерапия (physiotherapy), магнитно-резонансная томография (magnetic resonance imaging).

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате поиска в электронных ресурсах установлено, что самое большое количество работ по изучаемой тематике находилось в базе данных PubMed. По результатам количественного анализа публикаций в данной базе выявлено 7256 работ, в которых отражено применение МРТ в медицинской реабилитации. При этом 2,5 % от общего количества занимали публикации, в которых МРТ использовали как метод оценки эффективности медицинской реабилитации пациентов с остеоартрозом коленного сустава.

Серии работ были посвящены изучению эффективности лечебной физкультуры (ЛФК) у данной категории пациентов [13-21]. Так, в одной из анализируемых публикаций авторский коллектив провел исследование, целью которого явилось определение связи между тяжестью ОА коленного сустава, по данным МРТ, и результатом применения ЛФК у пациентов с данной патологией [22]. В исследование были включены 95 участников с ОА коленного сустава, участвующих в 12-недельной программе, включающей лечебную физкультуру. Всем обследуемым проводили МРТ-сканирование коленного сустава на аппарате с напряженностью магнитного поля 3,0 Т до начала и после лечения. С помощью данных МРТ ученые систематически оценивали наличие и выраженность признаков ОА (целостность хрящевой ткани, изменение костного мозга, наличие остеофитов, выпот/синовит и повреждение менисков). Для анализа корреляции между тяжестью ОА, по данным МРТ, и изменениями в ограничении движений после ЛФК проводили регрессионный анализ. Полученные результаты продемонстрировали, что лечебная физкультура не влияет на степень тяжести ОА, по данным МРТ.

Авторы другой научной работы изучали влияние силовых тренировок в воде на биохимический состав хрящевой ткани в области большеберцово-бедренного сочленения у женщин в постменопаузе с остеоартрозом коленного сустава легкой степени тяжести [23]. В исследования были включены 87 женщин-добровольцев в постменопаузе в возрасте 60–68 лет. Все обследуемые случайным образом были распределены в две группы: первая — основная (n = 43) и вторая — контрольная (n = 44). Женщины основной группы участвовали в 48 тренировках на протяжении 16 недель под наблюдением персонала, в то время как обследуемые контрольной группы поддерживали обычный уровень физической активности. Биохимический состав хрящевой ткани в области медиального и латерального мыщелков большеберцово-бедренного сочленения оценивали с помощью времени поперечной T2-релаксации (методики T2-картирования) и на изображениях хрящевой ткани с отсроченным контрастным усилением препаратами гадолиния (dGEMRIC индекс). После 4-месячных трениров-

вок в водной среде ученые отметили значительное снижение времени T2 релаксации — 1,2 мс (95 % доверительный интервал (ДИ): от -2,3 до -0,1, P = 0,021), и dGEMRIC индекса 23 мс (от -43 до -3, p = 0,016) в задней части (ROI) хрящевой ткани медиального мыщелка бедренной кости во всю толщину в основной группе, по сравнению с контрольной группой.

Опубликовано исследование, в котором у пациентов с ОА коленного сустава с помощью метода МРТ изучалось влияние ЛФК на активность воспалительного процесса при синовите и повреждении костного мозга [24]. 60 пациентов с ОА коленного сустава были случайным образом разделены на две группы в соотношении 1:1. Пациентам первой группы в течение 12 недель проводили ЛФК 3 раза в неделю, а во второй контрольной группе не проводили ЛФК.

Синовит и поражение костного мозга оценивали с помощью статической МРТ с контрастированием и без него, а также с помощью МРТ с динамическим контрастным усилением (ДКУ). Данные МРТ с ДКУ были количественно оценены с использованием попиксельной методологии, основанной на анализе кривых интенсивности сигнала. После курса терапии авторы наблюдали статистически значимые групповые различия в оценке синовита на МРТ с ДКУ в верхнем завороте синовиальной оболочки у пациентов первой группы, по сравнению с пациентами второй. При этом в обеих группах не выявлено изменение воспалительной активности, а также никаких групповых различий при повреждении костного мозга, по сравнению с обычной МРТ. Ученые отметили, что, несмотря на отсутствие изменений в активности воспалительного процесса у пациентов с ОА коленного сустава, придерживавшихся 12-недельного курса лечебной физкультуры, зафиксировано уменьшение боли, по сравнению с контрольной группой. Ученые сделали вывод, что, в целом, физические упражнения не вредны при ОА коленного сустава и необходимо проведение дальнейших исследований.

Встречается исследование, в котором ученые использовали МРТ с целью изучения действия глюкозамина сульфата и физических упражнений на структуру сустава [25]. В исследование были включены 39 женщин с диагнозом ОА коленного сустава. Пациенты были рандомизированы на две группы. Группа I (n = 20) получала программу физических упражнений, в то время как группа II (n = 19) получала глюкозамина сульфат (1500 мг/сут) в дополнение к лечебной физкультуре. После проведенного лечения, несмотря на значительное улучшение всех параметров МРТ, включая объем и толщину хрящевой ткани коленного сустава вдоль медиального и латерального мыщелков в двух группах, статистически значимых различий между группами после терапии не было выявлено. В заключение авторы отметили, что одних физических упражнений было достаточно для предотвращения структурных изменений и потери хряща в коленном суставе, что было оценено с помощью МРТ.

Существуют исследования, в которых группа авторов, применяя МРТ, оценивала терапевтическую эффективность электроакупунктуры в лечении остеоартрита [26]. Так, 60 пациентов с ОА коленного сустава были случайным образом разделены на 2 группы, по 30 человек в каждой, в одной из которых пациенты получали элек-

троакупунктуру, в другой — лечебную физкультуру. Для исследования коленных суставов использовали МРТ — аппарат GE Signa EXCITE Twin Speed HD 1.5T. Измеряли значения T2 в 10 подобластях хряща большеберцово-бедренных суставов. После лечения в группе получавших электроакупунктуру интенсивность сигнала на T2-ВИ в переднелатеральной большеберцовой подобласти (LTa) была значительно снижена ($p < 0,05$), но не имела существенной разницы в остальных девяти подобластях (все $p > 0,05$). В группе пациентов, получавших ЛФК, значение T2 ни в одной подобласти достоверно не отличалось до и после лечения (все $p > 0,05$). В заключение исследователи отметили, что электроакупунктура оказывает положительное влияние на интенсивность сигнала на T2-ВИ в хряще и может способствовать восстановлению хряща.

Существует научное исследование, в которое были включены 186 пациентов с ОА коленного сустава [27]. Из них 82 человека получали процедуры ударно-волновой терапии УВТ. Параметры воздействия были следующими: 2,0 бар, 0,25 МДж/мм и 8 Гц/с два раза в неделю в течение 4 недель непрерывно, а 104 пациента получали пероральный прием нестероидных противовоспалительных препаратов (НПВП). Авторы оценивали влияние УВТ на состояние хряща у пациентов с ОА коленного сустава с помощью морфологической оценки шкалы степени повреждения хряща (CaLS) и количественное измерение хряща при T2-картировании. Значение CaLS и T2aLS — это новая система оценки степени повреждения хряща, разработанная в соответствии с данными, предоставленными учеными Alizai и соавторами из Университета Сан-Франциско. Авторы установили, что содержание свободной воды положительно коррелирует со значением на T2-ВИ суставного хряща; следовательно, изменения значения времени T2-релаксации, измеренные с помощью T2-картирования, могут отражать дегенерацию хряща. В начале курса у большинства пациентов с помощью МРТ было обнаружено повреждение хряща. Через двадцать четыре недели после лечения различия в значениях CaLS и T2 в области надколенника, вертлужной впадины, медиальной и латеральной области бедренной и большеберцовой костей не показали статистической значимости по сравнению с показателями до лечения ($t = -1,859$, $p = 0,076$). В заключение авторы выдвинули предположение, что полученный низкий эффект действия УВТ у пациентов с ОА коленного сустава является результатом применения низкой энергии. Ученые также заявляют о продолжении исследований с применением более высоких параметров УВТ.

В настоящее время имеются ограниченные и противоречивые данные относительно того, может ли боль коррелировать со степенью поражения костного мозга (СПКМ) или нет. Проведен регрессионный анализ у 72 пациентов (27 мужчин и 45 женщин) с поражением костного мозга (ПКМ) коленного сустава с целью выявления корреляции между размером ПКМ коленного сустава и оценкой боли по шкале KOOS, а также корреляции между уменьшением размера СПКМ и улучшением оценки боли в результате курсового воздействия УВТ [28]. Всем пациентам была проведена УВТ по терапевтическому протоколу, который состоял из одной процедуры УВТ, каждые 3 недели в течение 9 недель (всего 3 раза) со средней плотностью потока энергии

(EFD) 0,35 МДж/мм² (диапазон: 0,22–0,43 МДж/мм²) и частотой 4 Гц.

Была продемонстрирована статистически значимая корреляция между субшкалой боли и площадью СПКМ (бета = $-0,362$ [ДИ 95 %: $-0,019/-0,05$], $p = 0,002$), указывающая на то, что чем больше площадь ПКМ, тем хуже клиническое состояние пациентов. Через шесть месяцев после курсового воздействия УВТ наблюдалось статистически значимое уменьшение площади ПКМ и улучшение клинического статуса. Клиническое улучшение достоверно коррелировало со снижением размера ПКМ (бета = $0,254$ [ДИ 95 %: $0,001/0,017$], $p = 0,031$). Это позволило авторам сделать заключение, что тяжесть боли коррелирует с размером ПКМ и, кроме того, УВТ является эффективным методом лечения ПКМ.

Целью другого ретроспективного исследования была оценка эффективности УВТ на болезненный отек костного мозга ОКМ при остеоартрите коленного сустава [29]. Это исследование проводилось у пациентов с ранней или средней стадиями остеоартрита с болью в колене и наличием, по результатам МРТ, отека костного мозга. Всего в исследование было включено 126 пациентов, получавших лечение УВТ (группа А, $n = 82$) или алендронатом (группа В, $n = 44$). Боль и функциональное состояние колена измерялись с использованием визуальной аналоговой шкалы (VAS) и индекса остеоартрита WOMAC соответственно. Степень ОКМ измеряли с помощью МРТ. Показатели VAS и WOMAC снизились более значительно через 3 месяца после лечения в группе А, чем в группе В ($p < 0,01$). При 6-месячном наблюдении с помощью МРТ частота отчетливого уменьшения и полной регрессии ОКМ пораженного коленного сустава в группе А была выше, чем в группе В ($p < 0,01$), что дало основание авторам заключить, что УВТ является эффективным, надежным и неинвазивным методом лечения пациентов с болезненным ОКМ при остеоартрите коленного сустава с последующей быстрой нормализацией результатов МРТ.

В ряде доклинических исследований изучалась эффективность низкоинтенсивного импульсного ультразвука (УЗ) в качестве потенциального метода лечения ОА коленного сустава. Были проведены несколько клинических исследований, которые косвенно подтвердили с помощью МРТ регенерацию хряща после ультразвуковой терапии (УЗТ) [30, 31]. Так, целью одного клинического исследования явилось изучение влияния УЗТ на толщину коленного хряща, болевого синдрома и функцию коленного сустава у пациентов с ОА коленного сустава. Результаты оценивались с помощью МРТ, визуальной аналоговой шкалы (VAS), индекса остеоартроза университетов Западного Онтарио и Макмастера (WOMAC) и краткого опроса из 36 пунктов (SF-36) для оценки качества жизни. После курсового применения УЗТ не было отмечено значительного увеличения толщины хряща, измеренной с помощью МРТ. Терапия УЗ значительно снизила показатели VAS и WOMAC, а также значительно увеличила показатель SF-36, но существенного увеличения толщины хряща при МРТ не наблюдалось.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный анализ научных данных о применении МРТ как объективного метода оценки эффективности медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава показал, что на сегодняшний день встречается не так много научных публикаций по данной теме.

Большинство научных работ опубликовано в международных базах, тогда как в российских они практически отсутствовали. Несмотря на малое количество исследований, среди применяемых методов с доказанным, по результатам МРТ, влиянием на связочный аппарат, хрящевую и мягкие ткани, можно выделить

ударно-волновую терапию, лечебную физкультуру и ультразвуковую терапию. Однако необходимо провести дальнейшие исследования с применением МРТ как объективного метода оценки эффективности различных методов медицинской реабилитации пациентов с ОА коленного сустава.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Кульчицкая Детелина Борисовна, доктор медицинских наук, профессор, главный научный сотрудник отдела физиотерапии и рефлексотерапии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

E-mail: deti_ku@mail.ru, kulchitskayadb@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Юрова Ольга Валентиновна, доктор медицинских наук, профессор, заместитель директора по научной работе и образовательной деятельности, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр реабилитации и курортологии» Минздрава России.

E-mail: yurovaov@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7626-5521>

Северюгина Ольга Анатольевна, младший научный сотрудник отдела лучевой диагностики, ГБУЗ МО «Московский областной научно-исследовательский клинический институт им. М.Ф. Владимирского».

E-mail: olgafesyun@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1308-1239>

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства, согласно международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией). Наибольший вклад распределен следующим образом: Кульчицкая Д.Б., Северюгина О.А. — концепция и дизайн исследования, сбор материала, статистическая обработка, анализ полученных данных, написание текста; Юрова О.В. — редактирование.

Источники финансирования. Данное исследование не было поддержано никакими внешними источниками финансирования.

Конфликт интересов. Юрова О.В. — заместитель главного редактора журнала «Вестник восстановительной медицины»; Кульчицкая Д.Б. — член редколлегии журнала «Вестник восстановительной медицины»; остальные авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Доступ к данным. Данные, подтверждающие выводы этого исследования, можно получить по запросу у корреспондирующего автора.

ADDITIONAL INFORMATION

Detelina B. Kulchitskaya, Dr.Sci. (Med.), Professor, Chief Researcher of the Department of Physiotherapy and Reflexology, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: deti_ku@mail.ru, kulchitskayadb@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7785-9767>

Olga V. Yurova, Dr.Sci. (Med.), Professor, Deputy Director for Science and Professional Education, National Medical Research Center for Rehabilitation and Balneology.

E-mail: yurovaov@nmicrk.ru;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7626-5521>

Olga A. Seviugina Junior Researcher of the Department of Radiation Diagnostics, M.F. Vladimirovsky Moscow Regional Research Clinical Institute.

E-mail: olgafesyun@gmail.com;

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1308-1239>

Author Contributions: All authors confirm their authorship according to the ICMJE criteria (all authors contributed significantly to the conception, study design and preparation of the article, read and approved the final version before publication). Special contribution: Kulchitskaya D.B., Seviugina O.A. — concept and design of the study, collection of material, statistical processing, analysis of the data obtained, writing the text; Yurova O.V. — editing.

Funding. This study was not supported by any external funding sources.

Disclosure. Yurova O.V. — Deputy Editor-in-Chief of the Bulletin of Rehabilitation Medicine. Kulchitskaya D.B. — member of the editorial board of the Bulletin of Rehabilitation Medicine. The other authors declare the absence of conflicts of interest.

Data Access Statement. The data that support the findings of this study are available on request from the corresponding author.

Список литературы / References

1. Link T.M., Li X. Establishing compositional MRI of cartilage as a biomarker for clinical practice. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2018; 26(9): 1137–9. <https://doi.org/10.1016/J.JOCA.2018.02.902>.
2. Клинические рекомендации Гонартроз. 2021. Доступно на: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/667_1 [Clinical guidelines Gonarthrosis. 2021. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/recommend/667_1 (In Russ.).]
3. Boonhong J., Suntornpiyapan P., Piriyajarukul A. «Ultrasound combined transcutaneous electrical nerve stimulation (UltraTENS) versus in symptomatic knee osteoarthritis: a randomized doubleblind, controlled trial». *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2018; 31(3): 507–513.
4. Ciplak E., Akturk S., Buyukavci R., Ersoy Y. Efficiency of high intensity laser therapy in patients with knee osteoarthritis. *Medicine Science*. 2018; 7(4): 724–7. <https://doi.org/10.5455/medscience.2018.07.8819>.
5. Isik M., Ugur M., Yakisan R.S., Sari T., Yilmaz N. Comparison of the effectiveness of medicinal leech and TENS therapy in the treatment of primary osteoarthritis of the knee: A randomized controlled trial. *Zeitschrift für Rheumatologie*. 2017; 76(9): 798–805. <https://doi.org/10.1007/s00393-016-0176-1>.
6. Collins J.E., Losina E., Marx R.G., Guermazi A., Jarraya M., Jones M.H., Levy B.A., Mandl L.A., Martin S.D., Wright R.W., Spindler K.P., Katz J.N. Early Magnetic Resonance Imaging-Based Changes in Patients with Meniscal Tear and Osteoarthritis: Eighteen-Month Data from

- a Randomized Controlled Trial of Arthroscopic Partial Meniscectomy Versus Physical Therapy. *Arthritis Care & Research*. 2020; 72(5): 630–640. <https://doi.org/10.1002/acr.23891>.
7. Wen-Yue W., Ying-Peng X., Quan-Mao D., Li-Min X., De-Zhi W., Yang B., Li-Su W., Yu-Bin L., Zhi-Jun N., Yan-Xu M., Wu-Zhong C., Li-Qun B., Yang L., Li-Kun J. A randomized, parallel control and multicenter clinical trial of evidence-based traditional Chinese medicine massage treatment VS External Diclofenac Diethylamine Emulgel for the treatment of knee osteoarthritis. *Trials*. 2022; 23(1): 555. <https://doi.org/10.1186/s13063-022-06388-5>.
 8. Choi M., Lee S.J., Park C.M., Ryoo S., Kim S., Jang J.Y., Kim H.A. Arthroscopic Partial Meniscectomy versus Physical Therapy for Degenerative. Meniscal Tear: a Systematic Review. *Journal of Korean Medical Science*. 2021; 36(45): e292. <https://doi.org/10.3346/jkms.2021.36.e292>.
 9. Zhong Z., Liu B., Liu G., Chen J., Li Y., Chen J., Liu X., Hu Y. A Randomized Controlled Trial on the Effects of Low-Dose Extracorporeal Shockwave Therapy in Patients With Knee Osteoarthritis. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*. 2019; 100(9): 1695–1702. <https://doi.org/10.1016/j.apmr.2019.04.020>.
 10. Fu J.Y., Zhang X., Zhao Y.H., Tong H.F., Chen D.Z., Huang M.H. Bibliometric analysis of acupuncture research fronts and their worldwide distribution over three decades. *African Journal of Traditional, Complementary and Alternative Medicines*. 2017; 14(3): 257–273. <https://doi.org/10.21010/ajtcam.v14i3.27>.
 11. Zhang N., Li J.L., Yan C.Q., Wang X., Lin L.L., Tu J.F., Qi Y.S., Liu J.H., Liu C.Z., Wang L.Q. The cerebral mechanism of the specific and nonspecific effects of acupuncture based on knee osteoarthritis: study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*. 2020; 21(1): 566. <https://doi.org/10.1186/s13063-020-04518-5>.
 12. Huang DE, Qin Y, Lin MN, Lai XL Clinical efficacy of different waves of electroacupuncture on knee osteoarthritis and its effect on TGF- β 1 in joint fluid. *Zhongguo Zhen Jiu*. 2020; 40(4): 370–4. <https://doi.org/10.13703/j.0255-2930.20190422-0005>.
 13. Multanen J., Rantalainen T., Kautiainen H., Ahola R., Jämsä T., Nieminen M.T., Lammentausta E., Häkkinen A., Kiviranta I., Heinonen A. Effect of progressive high-impact exercise on femoral neck structural strength in postmenopausal women with mild knee osteoarthritis: a 12-month RCT. *Osteoporosis International*. 2017; 28(4): 1323–1333. <https://doi.org/10.1007/s00198-016-3875-1>.
 14. Pogacnik Murillo A.L., Eckstein F., Wirth W., Beavers D., Loeser R.F., Nicklas B.J., Mihalko S.L., Miller G.D., Hunter D.J., Messier S.P. Impact of Diet and/or Exercise Intervention on Infrapatellar Fat Pad Morphology: Secondary Analysis from the Intensive Diet and Exercise for Arthritis (IDEA) Trial. *Cells Tissues Organs*. 2017; 203(4): 258–266. <https://doi.org/10.1159/000449407>.
 15. Hunter D.J., Beavers D.P., Eckstein F., Guermazi A., Loeser R.F., Nicklas B.J., Mihalko S.L., Miller G.D., Lyles M., DeVita P., Legault C., Carr J.J., Williamson J.D., Messier S.P. The Intensive Diet and Exercise for Arthritis (IDEA) trial: 18-month radiographic and MRI outcomes. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2015; 23(7): 1090–8. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2015.03.034>.
 16. Berg B., Roos E.M., Englund M., Kise N.J., Tiulpin A., Saarakkala S., Engebretsen L., Eftang C.N., Holm I., Risberg M.A. Development of osteoarthritis in patients with degenerative meniscal tears treated with exercise therapy or surgery: a randomized controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2020; 28(7): 897–906. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2020.01.020>.
 17. Ikuta F., Takahashi K., Hashimoto S., Mochizuki Y., Yuzawa Y., Inanami H., Takai S. Effect of physical therapy on early knee osteoarthritis with medial meniscal posterior tear assessed by MRI T2 mapping and 3D-to-2D registration technique: A prospective intervention study. *Modern Rheumatology*. 2020; 30(4): 738–747. <https://doi.org/10.1080/14397595.2019.1646193>.
 18. Liu J., Chen L., Tu Y., Chen X., Hu K., Tu Y., Lin M., Xie G., Chen S., Huang J., Liu W., Wu J., Xiao T., Wilson G., Lang C., Park J., Tao J., Kong J. Different exercise modalities relieve pain syndrome in patients with knee osteoarthritis and modulate the dorsolateral prefrontal cortex: A multiple mode MRI study. *Brain, Behavior and Immunity*. 2019; (82): 253–263. <https://doi.org/10.1016/j.bbi.2019.08.193>.
 19. Riddle D.L., Perera R.A. Influence of Baseline Magnetic Resonance Imaging Features on Outcome of Arthroscopic Meniscectomy and Physical Therapy Treatment of Meniscal Tears in Osteoarthritis: Letter to the Editor. *The American Journal of Sports Medicine*. 2019; 47(8): NP45–NP46. <https://doi.org/10.1177/0363546519852624>.
 20. Van Ginckel A., Hall M., Dobson F., Calders P. Semin. Effects of long-term exercise therapy on knee joint structure in people with knee osteoarthritis: A systematic review and meta-analysis. *Seminars in Arthritis and Rheumatism*. 2019; 48(6): 941–949. <https://doi.org/10.1016/j.semarthrit.2018.10.014>.
 21. Øiestad B.E., Østerås N., Frobell R., Grotle M., Brøgger H., Risberg M.A. Efficacy of strength and aerobic exercise on patient-reported outcomes and structural changes in patients with knee osteoarthritis: study protocol for a randomized controlled trial. *BMC Musculoskeletal Disorders*. 2013; (14): 266. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-266>.
 22. Knoop J., Dekker J., van der Leeden M., van der Esch M., Klein J.P., Hunter D.J., Roorda L.D., Steultjens M.P., Lems W.F. Is the severity of knee osteoarthritis on magnetic resonance imaging associated with outcome of exercise therapy? *Arthritis Care & Research*. 2014; 66(1): 63–8. <https://doi.org/10.1002/acr.22128>.
 23. Munukka M., Waller B., Rantalainen T., Häkkinen A., Nieminen M.T., Lammentausta E., Kujala U.M., Paloneva J., Sipilä S., Peuna A., Kautiainen H., Selänne H., Kiviranta I., Heinonen A. Efficacy of progressive aquatic resistance training for tibiofemoral cartilage in postmenopausal women with mild knee osteoarthritis: a randomised controlled trial. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2016; 24(10): 1708–1717. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2016.05.007>.
 24. Bandak E., Boesen M., Bliddal H., Daugaard C., Hangaard S., Bartholdy C., Damm Nybing J., Kubassova O., Henriksen M. The effect of exercise therapy on inflammatory activity assessed by MRI in knee osteoarthritis: Secondary outcomes from a randomized controlled trial. *The Knee*. 2021; (28): 256–265. <https://doi.org/10.1016/j.knee.2020.12.022>.
 25. Durmus D., Alayli G., Bayrak I.K., Canturk F. Assessment of the effect of glucosamine sulfate and exercise on knee cartilage using magnetic resonance imaging in patients with knee osteoarthritis: a randomized controlled clinical trial. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2012; 25(4): 275–84. <https://doi.org/10.3233/BMR-2012-0336>.
 26. Bao F., Zhang Y., Wu Z.H., Wang Y., Sheng M., Hu N., Feng F., Wang D.H., Zhang Y.X., Li T., Sun H. Efficacy observation on knee osteoarthritis treated with electroacupuncture and its influence on articular cartilage with T2 mapping. *Zhongguo Zhen Jiu*. 2013; 33(3): 193–7.
 27. Xu Y., Wu K., Liu Y., Geng H., Zhang H., Liu S., Qu H., Xing G. The effect of extracorporeal shock wave therapy on the treatment of moderate to severe knee osteoarthritis and cartilage lesion. *Medicine*. 2019; 98(20): e15523. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000015523>.
 28. Sansone V., Maiorano E., Pascale V., Romeo P. Bone marrow lesions of the knee: longitudinal correlation between lesion size changes and pain before and after conservative treatment by extracorporeal shockwave therapy. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*. 2019; 55(2): 225–230. <https://doi.org/10.23736/S1973-9087.18.05036-0>.
 29. Kang S., Gao F., Han J., Mao T., Sun W., Wang B., Guo W., Cheng L., Li Z. Extracorporeal shock wave treatment can normalize painful bone marrow edema in knee osteoarthritis: A comparative historical cohort study. *Medicine*. 2018; 97(5): e9796. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000009796>.
 30. Jo N.G., Ko M.H., Won Y.H., Park S.H., Seo J.H., Kim G.W. The efficacy of low-intensity pulsed ultrasound on articular cartilage and clinical evaluations in patients with knee osteoarthritis. *Journal of Back and Musculoskeletal Rehabilitation*. 2022; 35(6): 1381–1389. <https://doi.org/10.3233/BMR-210357>.
 31. Loyola Sánchez A., Ramirez Wakamatzu M.A., Vazquez Zamudio J., Casasola J., Hernández Cuevas C., Ramírez González A., Galicia Tapia J. Effect of low-intensity pulsed ultrasound on regeneration of joint cartilage in patients with second and third degree osteoarthritis of the knee. *Reumatología Clínica*. 2009; 5(4): 163–7. <https://doi.org/10.1016/j.reuma.2008.09.005>.