

**Возможности МРТ-диагностики для клинического изучения остеоартрита  
коленного сустава**

*Ашууров Жохонгир Низом углы, Хайитов Асроркул Маматкулович  
Самаркандский филиал Республиканского научного центра экстренной  
медицинской помощи*

**Аннотация**

Магнитно-резонансная томография (МРТ) становится все более важным методом визуализации в исследованиях остеоартрита (ОА) и широко используется в текущих усилиях по пониманию патогенеза ОА и разработке структурных и модифицирующих заболевание препаратов от ОА. МРТ предлагает полуколичественную, количественную и композиционную оценку ОА коленного сустава и позволяет визуализировать ткани, которые не видны при рентгенографии, включая, помимо прочего, хрящи, мениски, поражения костного мозга, синовит и мышцы. В настоящее время признано, что МРТ с контрастным усилением позволяет более точно оценить синовит, чем МРТ без контраста. Благодаря своей способности визуализировать множественную патологию тканей, связанную с болью, в трех измерениях, МРТ является лучшим методом визуализации ОА.

**Ключевые слова:** остеоартрит, магнитно-резонансная томография, МРТ, оценка МРТ, рентгенография, хрящ, поражение костного мозга, синовит, мениск, корень мениска, полуколичественный, количественный, коленный сустав

**Введение**

Недавние достижения в области методов магнитно-резонансной томографии (МРТ) помогли исследователям остеоартрита (ОА) понять процесс заболевания ОА и идентифицировать биомаркеры прогрессирования заболевания. Визуализация остеоартрита в значительной степени основывается на рентгенографии, и сужение суставной щели, выявленное на рентгенограмме, по-прежнему является единственной структурной конечной точкой, признанной Управлением по санитарному надзору за качеством пищевых продуктов и медикаментов США и Европейским агентством по лекарственным средствам как доказательство эффективности препаратов для лечения остеоартрита, модифицирующих заболевание (DMOAD). ) в фазе III клинических испытаний. Однако присущие рентгенографии ограничения хорошо задокументированы и, по мнению некоторых исследователей, являются возможной причиной того, что на сегодняшний день не удалось обнаружить эффективный DMOAD [ 1 ].

МРТ позволяет визуализировать несколько важных патологических особенностей ОА коленного сустава, включая хрящ, мениск, синовит и поражения костного мозга (BML), хотя эти результаты МРТ могут присутствовать у значительной части бессимптомных людей, а поражения, обнаруженные на МРТ, могут не всегда имеют клиническое значение [ 2 ]. Тем не менее, исследовательское сообщество ОА все чаще использует МРТ для структурной оценки суставов в эпидемиологических и клинических исследованиях ОА [ 3 ]. Визуализация ОА

может быть широко классифицирована как «морфологическая» и «композиционная». К первым относятся полуколичественные [ 4 ] и количественные [ 3 ] подходы, тогда как последний включает в себя относительно новые методы, включая dGEMRIC, T2-картирование, T1 rho, визуализацию натрия и диффузионную визуализацию [ 5 ]. Цель этого несистематического описательного обзора состоит в том, чтобы представить краткий обзор избранных оригинальных статей, опубликованных в основном за последние три года, в которых описываются последние тенденции и разработки в исследованиях ОА с использованием данных, полученных с помощью МРТ. В этом обзоре основное внимание будет уделено ОА коленного сустава, суставу, наиболее широко изучаемому в исследованиях ОА.

### Технические соображения

Чтобы обеспечить оптимальную оценку признаков ОА, обнаруживаемых на МРТ, исследователям необходимо выбрать соответствующие последовательности импульсов. Подробное обсуждение этих технических проблем было опубликовано ранее [ 4 ]. Короче говоря, полуколичественная оценка очаговых дефектов хряща и BML лучше всего достигается с использованием последовательности восстановления с инверсией короткого тау или одной из чувствительных к жидкости (т.е. взвешенных по T2, средневзвешенных или взвешенных по плотности протонов) последовательности спинного эха с подавлением жира [ 6 , 7 ]. Для лонгитюдных исследований с использованием полуколичественной оценки признаков ОА следует регистрировать изменения «в пределах класса», чтобы обеспечить достаточную чувствительность к изменениям [ 8• ]. Более того, читатели изображений должны быть полностью обучены, чтобы они могли различать истинную аномалию сигнала, возникающую из-за патологического изменения, и артефакты, напоминающие патологические изменения сигнала. Например, артефакт чувствительности может выглядеть так же, как повреждение хряща. Хотя МРТ может быть мощным исследовательским инструментом, при неправильном использовании она может дать вводящие в заблуждение или неверные данные.

### МРТ хрящей

#### Полуколичественная оценка хряща

Было опубликовано несколько полуколичественных систем оценки, в том числе две наиболее широко используемые системы: оценка МРТ всего органа (WORMS) и оценка коленного сустава при ОА Бостон-Лидс (BLOKS), а также более новая оценка коленного сустава при ОА МРТ (MOAKS) [ 4 , 9 ]. Продольное исследование Laberge et al. выявили, что ожирение увеличивает распространенность и тяжесть повреждения хряща в течение 36 месяцев [ 10 ]. Крема и др. выявили, что преобладающее повреждение хряща (т.е. оценка по шкале WORMS два или более) и потеря хряща с течением времени связаны с возникновением BML в одних и тех же тибioфеморальных компартментах. Их результаты подтверждают гипотезу о том, что тесная взаимосвязь костно-хрящевой единицы важна для прогрессирования ОА коленного сустава [ 11 ].]. Недавние исследования свидетельствуют о том, что очаговые дефекты хряща увеличивают

риск развития ОА коленного сустава. Ремер и др. выявили, что наличие преобладающего повреждения хряща и нехрящевой патологии на исходном уровне увеличивает риск последующей потери хряща в том же субрегионе [ 12 ]. Недавнее популяционное исследование показало, что очаговые дефекты хряща у пожилых людей распространены, что большинство дефектов остаются стабильными в течение 2,9 лет, а исходная степень дефекта хряща предсказывает риск эндопротезирования коленного сустава в течение пяти лет [ 13 ].]. Используя данные инициативы по остеоартриту, Virayavanich et al. выявили, что частое сгибание колена было связано с более высокой распространенностью повреждения коленного хряща (особенно в пателлофemorальном отделе) и с повышенным риском прогрессирования повреждения хряща у бессимптомных субъектов среднего возраста, у которых были факторы риска ОА коленного сустава [ 14 ].

### Количественная морфометрия хряща

Количественная морфометрия хряща использовалась в нескольких недавних исследованиях ОА [ 15-18 ]. Сообщалось, что количественные показатели структуры суставного хряща, например, потеря толщины хряща и оголенные участки субхондральной кости, являются предикторами эндопротезирования коленного сустава [ 18 ]. Тем не менее, исследователи, желающие использовать подход количественной морфометрии в многоцентровом исследовании, должны учитывать, что данные, полученные от разных групп по сегментации, следует объединять только тогда, когда продемонстрирована эквивалентность интересующих показателей хряща: Schneider et al. выявили, что различия групп сегментации были основной причиной изменчивости измерений в большинстве областей хряща для всех серий изображений [ 19 ].]. Экштейн и др. сообщили о корреляции от слабой до умеренной и согласованности между индивидуальной кратковременной и долгосрочной потерей хряща, а также между начальным и последующими периодами наблюдения [ 20 ]. Эти результаты подтверждают теорию о том, что более длительные периоды наблюдения предпочтительнее для получения надежных результатов в отношении потери хряща в отдельных коленях. МакАлиндон и др. провели двухлетнее рандомизированное плацебо-контролируемое двойное слепое клиническое исследование с участием 146 участников с симптоматическим ОА коленного сустава, чтобы определить, уменьшает ли добавка витамина D симптомы и структурное прогрессирование ОА коленного сустава [ 21 ]. По сравнению с плацебо, прием витамина D в течение двух лет в дозе, достаточной для повышения уровня 25-гидроксивитамина D в плазме выше 36 нг/мл., не уменьшил боль в колене или потерю объема хряща у пациентов с симптоматическим ОА коленного сустава.

Цао и др. в поперечном сечении было выявлено, что минеральная плотность костей позвоночника (МПКТ) всего тела, бедра и/или латеральной большеберцовой кости была значимо и положительно связана с толщиной бедренного, латерального большеберцового и/или надколенного хрящей у субъектов с РОА, после поправки на потенциальные помехи [ 22 ]. В продольном направлении высокая общая МПК тела была связана с увеличением толщины бедренного хряща, высокая МПК позвоночника была связана с увеличением толщины бедренного и

латерального большеберцового хрящей, а высокая медиальная МПК большеберцового отдела позвоночника была связана с увеличением медиальной толщины большеберцового хряща у пациентов с рентгенологическим исследованием. ОА. Таким образом, как системная, так и субхондральная МПК положительно связаны с увеличением толщины хряща у пациентов с РОА, что позволяет предположить, что МПК тела может иметь защитный эффект против истончения хряща при ОА коленного сустава.

Видмайер и др. сообщили, что высокий индекс массы тела (ИМТ) был связан с повышенной дневной нагрузкой (т.е. изменением толщины) суставного хряща колена [ 23 ]. Тем не менее, еще предстоит определить, объясняет ли это увеличение дневной нагрузки у людей с высоким ИМТ повышенный риск ОА, связанный с ожирением, или вместо этого указывает на изменение механических свойств хряща у этих людей.

### Композиционная МРТ хрящей

Композиционная МРТ позволяет визуализировать биохимические свойства гиалинового хряща. Он может быть чувствителен к ранним преморфологическим изменениям, которые не видны на обычной МРТ. Композиционная визуализация изменений хрящевого матрикса может быть выполнена с использованием передовых методов МРТ, включая МРТ хряща с отсроченным усилением гадолинием (dGEMRIC), T1 rho и T2 картирование. Два из них, dGEMRIC и T1 rho, используют преимущества концентрации сильно отрицательно заряженных гликозаминогликанов (GAG) в здоровом гиалиновом хряще; потеря этих ГАГ в фокальных областях, пораженных возможным ранним заболеванием, может быть визуализирована. И dGEMRIC, и T1 rho фокусируются на плотности заряда в хряще. Напротив, на концентрацию T2 влияет сложное сочетание ориентации коллагена и гидратации хряща.

Методы композиционной МРТ обычно не используются в современной клинической практике и остаются исследовательскими инструментами, доступными только в некоторых академических учреждениях. Тем не менее, они использовались в клинических испытаниях и обсервационных исследованиях. В плацебо-контролируемом двойном слепом пилотном исследовании гидролизата коллагена при легком ОА коленного сустава McAlindon et al. [ 24 ] показали, что показатель dGEMRIC увеличился (т.е. более высокое содержание ГАГ и лучшее состояние хряща) для представляющих интерес участков большеберцового хряща у пациентов, получавших гидролизат коллагена, и снизился в группе плацебо. Достоверная разница наблюдалась при 24-недельном наблюдении. Будущие исследования могут определить, связаны ли макроскопические изменения хряща с этими ранними результатами dGEMRIC. Соуза и др. сообщили, что острая нагрузка на коленный сустав привела к значительному сокращению времени релаксации T1 rho и T2 медиального тибioфemorального компартмента, особенно в областях хряща с небольшими очаговыми дефектами [ 25 ]. Эти данные свидетельствуют о том, что изменение значения rho T1 при механической нагрузке может быть связано с биомеханическими и структурными свойствами хряща. Ховис и др. сообщили, что

легкие упражнения были связаны с низкими значениями T2 хряща, но умеренные и напряженные упражнения были связаны с высокими значениями T2 для женщин, предполагая, что уровень активности может влиять на состав хряща [ 26 ]. Используя дизайн продольного исследования, Lin et al. выявили, что высокие и очень низкие уровни физической активности были связаны с большим прогрессированием измерений T2 хряща у бессимптомных людей среднего возраста, что предполагает ускоренную биохимическую дегенерацию хрящевого матрикса с течением времени [ 27 ]. В интервенционном исследовании, оценивающем влияние потери веса на суставной хрящ, Anandacoomarasamy et al. сообщили, что на улучшение качества суставного хряща указывает увеличение индекса dGEMRIC в течение одного года для медиального, но не для латерального компартмента [ 28 ]. Эти результаты могут отражать важность потери веса для возможного клинического и структурного улучшения.

Также были исследованы различные новые композиционные приемы. Рая и др. обнаружили, что визуализация диффузионного тензора *in vivo*, основанная на системе 7T MR, была лучше, чем картирование T2, для различения коленных суставов OA от коленных суставов без OA [ 29 ]. В других работах по системам с 7 T сообщалось о воспроизводимости метода *in vivo* [ 30 ]. Другими композиционными методами, которые могут оказаться полезными для дальнейшего изучения, являются T2\*-картирование [ 31 ] и визуализация натрия [ 30 ]. хряща. Эти методы кажутся многообещающими, но их необходимо сделать практичными и совместимыми со стандартными системами МРТ, прежде чем их можно будет использовать в исследованиях или для постановки клинических диагнозов. Недавнее исследование Newbould et al. показало, что клинически осуществимая МРТ натрия с напряженностью поля 3 Тл, средним временем визуализации и ослаблением жидкости с помощью взвешивания T1 успешно дифференцировала здоровых людей контрольной группы и пациентов с OA.

### **МРТ мениска**

Считается, что патология мениска связана с заболеванием коленного сустава OA, поскольку структурные изменения (например, разрыв мениска, мацерация или экструзия) могут привести к потере нормальной функции в отношении буферизации механической нагрузки на тибioфemorальный сустав [ 32 ]. Инглунд и др. изучили множественные факторы риска патологии медиального мениска в 791 коленном суставе из исследования MOST с нормальным состоянием медиального мениска на исходном уровне и обнаружили, что травма колена и генерализованный OA, выражающийся в множественных костных разрастаниях суставов пальцев, варусном выравнивании и ожирении, были факторами риска патологии медиального мениска [ 33 ].

В своем популяционном исследовании в Южной Корее Kim et al. сообщили, что частота повреждения мениска у их субъектов (средний возраст 72 года) составила 49,7 % для мужчин и 71,2 % для женщин [ 34 ]. Тяжесть боли в колене значительно коррелировала со степенью повреждения медиального мениска. В исследовании Stehling et al., когда колено подвергалось осевой механической нагрузке, у субъектов с дегенеративными аномалиями коленного сустава экструзия

мениска значительно увеличивалась по сравнению со здоровыми субъектами [ 35 ]. В продольном контролируемом последующем исследовании субъектов, перенесших артроскопическую частичную медиальную менискэктомию (АРММ), Wang et al. описали повышенный риск последующего повреждения хряща в большеберцовом и пателло-фemorальном суставах у пациентов с АРММ [ 36 ].]. Используя VML и данные многоцентрового исследования остеоартрита, Crema et al. выявили связь экструзии медиального мениска с разрывами медиального мениска, повреждением медиального хряща и варусной деформацией, тогда как экструзия латерального мениска была связана с разрывами латерального мениска, повреждением латерального хряща и вальгусной деформацией [ 37 ]. В двухлетнем клиническом исследовании с участием 161 пациента с ОА коленного сустава Raynald et al. показали, что тяжелый разрыв медиального мениска и экструзия медиального мениска, обнаруженные с помощью МРТ в начале исследования, были сильными долгосрочными предикторами полной замены коленного сустава [ 38 ].]. Используя данные инициативы по остеоартриту, Badlani et al. выявили, что коленные суставы с разрывами менисков с большим вовлечением и экструзией лучевой кости имеют больший риск последующего развития рентгенологического ОА [ 39 ].

Недавно была опубликована первая статья по исследованию разрыва мениска при остеоартрите (MeTeOR) [ 40 ].]. Исследование MeTeOR представляет собой многоцентровое рандомизированное контролируемое исследование с участием симптоматических пациентов в возрасте 45 лет и старше с разрывом мениска, обнаруженным на МРТ, и признаками ОА легкой или средней степени тяжести, что определяется наличием дефектов хряща, выявленных на МРТ. Исследователи случайным образом распределили 351 пациента на операцию и послеоперационную физиотерапию или на стандартный режим физиотерапии (с возможностью перехода к операции по усмотрению пациента и хирурга). Пациенты были обследованы через шесть и 12 месяцев. Первичным результатом была разница между группами в отношении изменения индекса физической функции Университета Западного Онтарио и Университета Макмастера (WOMAC) (в диапазоне от 0 до 100, где более высокие баллы указывают на более тяжелые симптомы) через шесть месяцев после рандомизации. В анализе намерения лечить не было обнаружено существенных различий в функциональном улучшении между исследуемыми группами через шесть месяцев после рандомизации. Однако 30 % пациентов, отнесенных к группе физиотерапии, перешли на операцию в течение первых шести месяцев.

Следует отметить, что разрыв корней менисков — это совершенно другое явление, чем разрыв самих менисков. Исследование Guerhazi et al. выявили, что изолированный разрыв медиального заднего корня мениска (т.е. без разрыва тела или передних и/или задних рогов медиального мениска) связан с эпизодической и прогрессирующей потерей медиального большеберцово-бедренного хряща [ 41• ]. Разрывы корня мениска могут привести к экструзии мениска, поскольку мениск теряет связку, которая прикрепляет его к плато большеберцовой кости. Рис. 2). Таким образом, в исследованиях ОА не следует игнорировать разрывы корня

мениска. В дополнение к морфологической визуализации мениска с использованием обычных последовательностей МРТ, описанных выше, в публикациях сообщалось об использовании различных методов МРТ. Венгер и др. использовали сравнительный подход внутри человека и выявили, что болезненные колени имеют меньшее покрытие мениска плато большеберцовой кости и большую экструзию тела мениска по сравнению с коленями без боли из подгруппы инициативы по остеоартриту [ 42 ].]. Авторы использовали метод 3D-сегментации мениска, который обеспечивает количественные измерения размера мениска, положения и других переменных. Используя данные инициативы по остеоартриту, более недавнее исследование, проведенное той же группой исследователей, выявило измененное положение и форму мениска (т.е. большее выпячивание) в обоих отделах коленных суставов с медиальным остеоартрозом по сравнению с контрольными коленями без ОА [ 43 ], подразумевая, что эти данные могут быть связаны с патогенезом ОА и/или последствиями заболевания. Используя метод dGEMRIC для оценки вещества менисков в коленях пациентов с ОА и нормальных контрольных коленях молодых людей, Li et al. выявили достоверные различия между группами при использовании как ионогенных, так и неионогенных контрастных веществ [ 44 ].]. Авторы пришли к выводу, что разница в менискальном T1Gd между пациентами с ОА и нормальными субъектами не определяется распределением заряда, а может быть связана с изменениями в кинетике вымывания и вымывания. Ван и др. выявили, что значения T1 rho выше в определенных субрегионах мениска и большеберцово-бедренного хряща, предполагая, что региональное повреждение как бедренно-большеберцового гиалинового хряща, так и менисков может быть связано с остеоартритом [ 45 ]. Уильямс и др. использовали технику картирования T2\* с ультракоротким эхо-сигналом с усилением по времени (UTE) для выявления дегенерации мениска человека *in vitro* и *in vivo* у субъектов с риском развития ОА [ 46 ].]. В этом исследовании на трупах и людях наблюдалось значительное повышение значений UTE-T2\* в менисках субъектов с повреждением передней крестообразной связки, но без клинических признаков аномалии подповерхностного мениска. Это открытие свидетельствует о том, что картирование UTE-T2\* чувствительно к субклинической дегенерации мениска, но пока неизвестно, могут ли измененные внутрименисковые биохимические показатели предсказать прогрессирование дегенерации и разрыва мениска или развитие ОА.

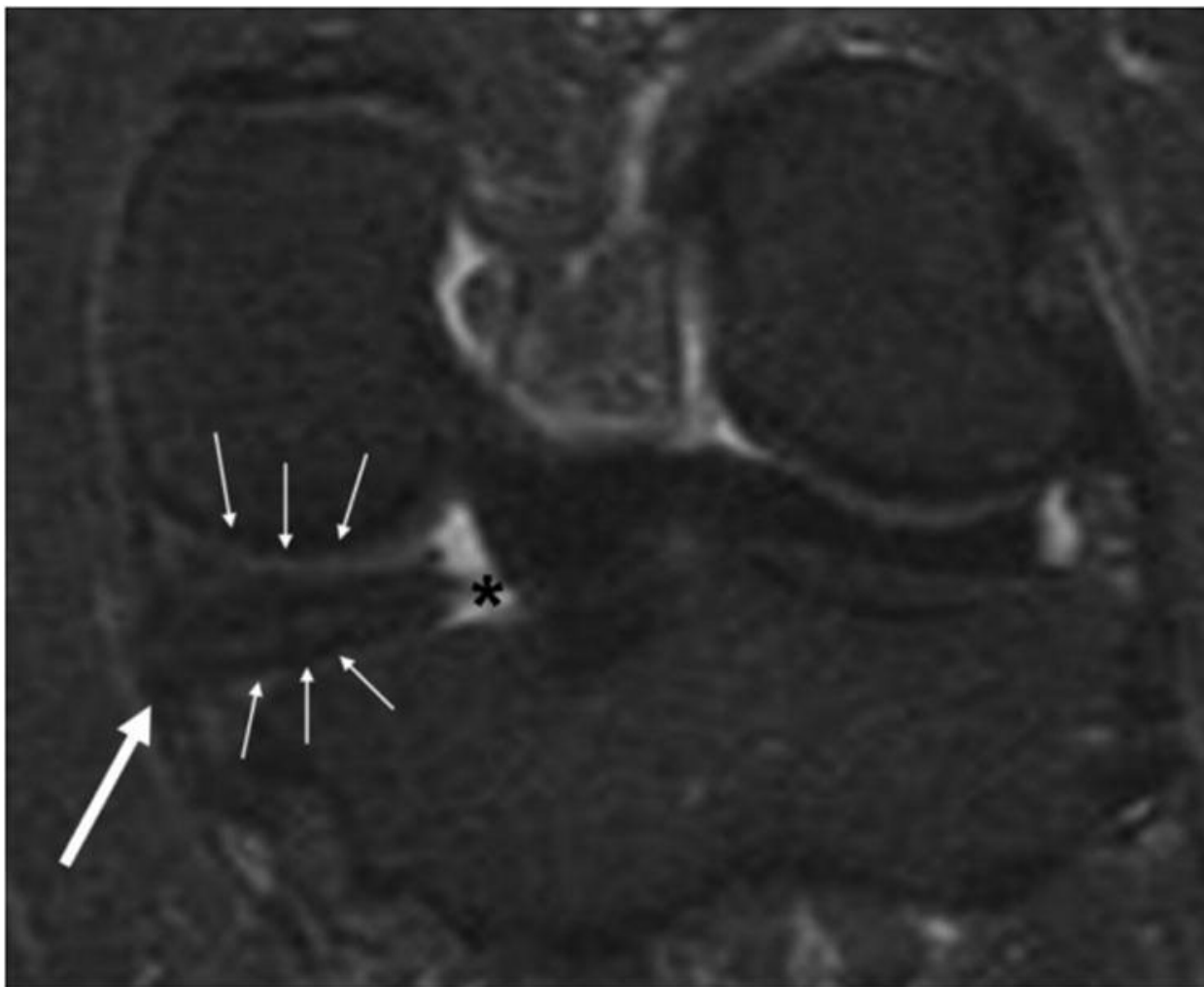


Рис. 2

Изображение, взвешенное по плотности протонов, с подавлением жира в короне, показывающее разрыв медиального корня заднего мениска ( звездочка ) с одновременным выпячиванием мениска ( большая стрелка ). Обратите внимание также на соседние повреждения бедренного и большеберцового хрящей ( маленькие стрелки ) по сравнению с боковой стороной.

#### **МРТ синовита**

Синовит является важным патологическим признаком ОА коленного сустава, поскольку известно, что он связан с болью [ 47 , 48 , 49 , 50 ].] и, следовательно, потенциально может стать целью DMOAD. Синовит можно оценить с помощью МРТ с введением контрастного вещества гадолиния или без него. Без инъекции контраста невозможно провести различие между синовиальной жидкостью (то есть суставным выпотом) и синовиальной оболочкой, потому что обе они имеют одинаковую гиперинтенсивность на жидкостно-чувствительных последовательностях с подавлением жира, включая восстановление короткой инверсии тау-белка (STIR) и подавление жира. T2-взвешенные последовательности быстрого спинного эха (FSE). Таким образом, для оценки синовита с помощью МРТ без усиления (NEMRI) в качестве суррогатного маркера используется гиперинтенсивность T2 в пределах жировой ткани Хоффа. Используя NEMRI и



полуколичественный подход, Knoор et al. выявили, что слабость четырехглавой мышцы бедра была связана с синовитом у пациентов с ОА коленного сустава [ 51 ]. Чжан и др. выявили, что изменение синовита связано с колебаниями боли в колене у пациентов с ОА коленного сустава [ 49 ].

Важно отметить, что исследование Loeuille et al. сопоставили результаты МРТ с результатами гистологии, основанной на биопсии синовиальной оболочки, и показали, что МРТ с контрастным усилением (СЕМРИ) может выявить подтвержденный биопсией синовит, тогда как NEMRI не может [ 52•• ]. Крема и др. показали, что СЕМРИ более специфичен, чем NEMRI, для синовита и лучше коррелирует с болью [ 53 ]. Используя полуколичественную оценку по СЕМРИ в качестве эталона для синовита, NEMRI имеет высокую чувствительность (0,71–0,88), но относительно низкую специфичность (0,30–0,55) [ 53 ]. Хотя одно исследование показало, что полуколичественная оценка синовита на основе NEMRI связана с измерениями синовита на основе СЕМРИ [ 54 ].], все больше данных в литературе свидетельствует о том, что СЕМРИ является лучшим вариантом для оценки синовита на основе МРТ (рисунок 1). Идентификация места, в котором возникает синовит, кажется важной частью оценки. Повреждение задних рогов мениска связано с прилежащим перименискальным синовитом (скорректированное отношение шансов 2,5, 95 % ДИ 1,3–4,8), но не с синовитом заднего крестообразного углубления, что указывает на то, что синовит в этих двух местах может иметь разные патомеханизмы [ 55 ].]. Бейкер и др. выявили положительную связь между плазменными медиаторами воспаления и синовитом, оцененную с помощью СЕМРИ [ 56 ]. Для будущих клинических и эпидемиологических исследований, посвященных синовиту, доступно более одной системы полуколичественной оценки на основе СЕМРИ [ 48 , 56 ].]. Самая последняя опубликованная система оценок Guermazi et al. позволяет всесторонне оценить синовит всего коленного сустава, включая оценку 11 анатомических локализаций [ 48• ], хотя эта система нуждается в подтверждении будущими исследованиями. Системы оценки на основе NEMRI также доступны [ 9 , 57–59 ] и в настоящее время используются гораздо шире, чем системы оценки на основе СЕМРИ. Там, где использование СЕМРИ невозможно, NEMRI по-прежнему является допустимой альтернативой для оценки синовита при условии, что исследователи осведомлены об ограничениях NEMRI, как описано выше.

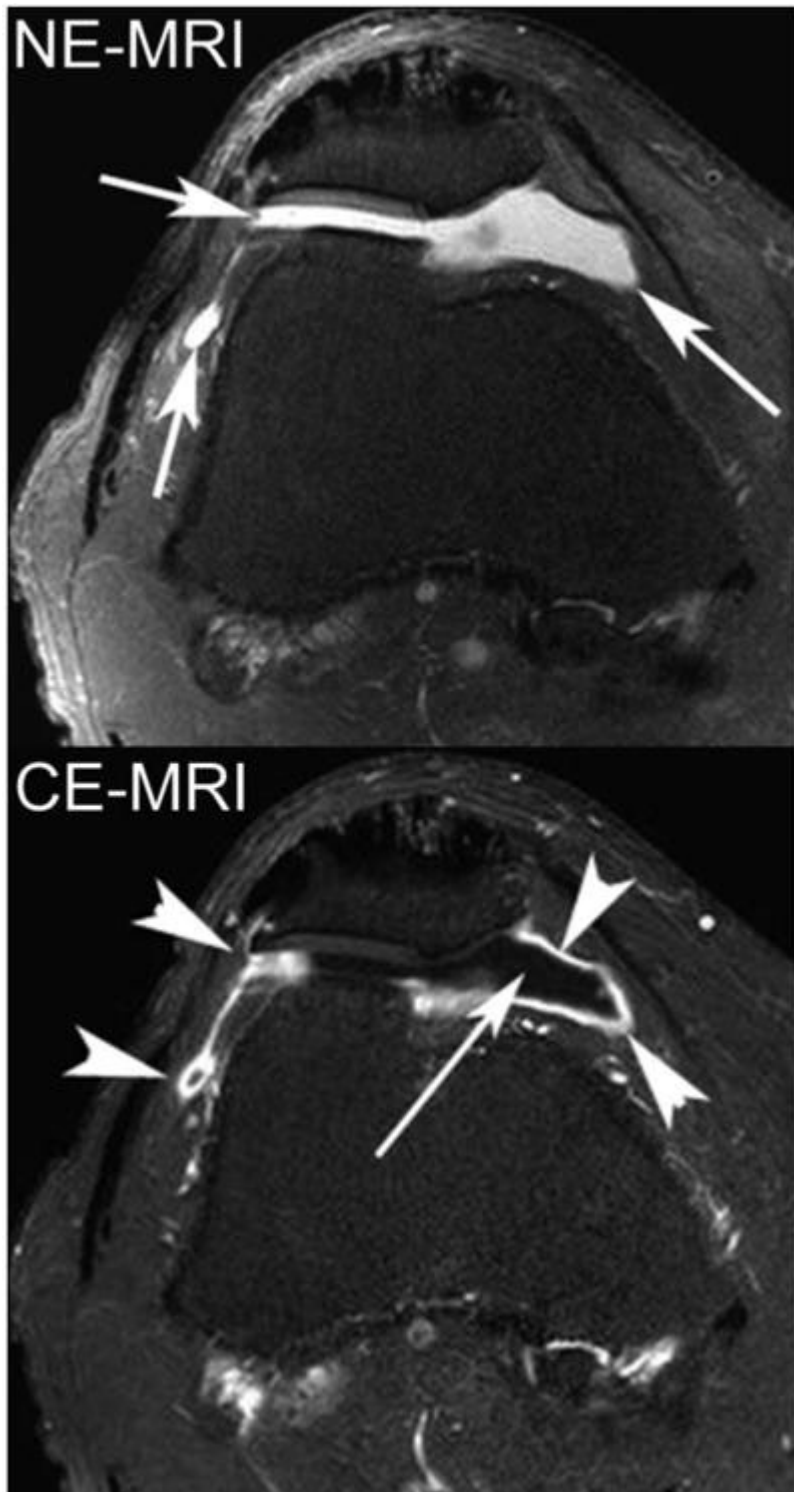


рисунок 1

Сравнение неусиленной (НЭ-МРТ) и МРТ с контрастным усилением (КЭ-МРТ) синовита при остеоартрозе коленного сустава. Аксиальная НЭ-МРТ показывает сигнал, эквивалентный жидкости, в полости сустава, что свидетельствует о суставном выпоте в перипателлярных углублениях (стрелки). Невозможно различить выпот и воспаленную синовиальную оболочку, потому что оба они изображаются как гиперинтенсивные. Напротив, аксиальная

КЭ-МРТ показывает заметное синовиальное усиление ( стрелки ), которое можно четко отличить от выпота, изображенного как гипоинтенсивность ( стрелка ).

### **МРТ поражений костного мозга (BML)**

Хотя обнаруженный на МРТ BML сам по себе может быть неспецифической находкой и может указывать на патологические процессы, отличные от ОА [ 60 ], в контексте ОА коленного сустава они являются важным признаком и широко изучаются исследовательским сообществом ОА. Недавние исследования с использованием МРТ показывают, что BML может быть потенциальным визуализирующим биомаркером для количественной оценки структурных изменений в коленных суставах, пораженных ОА [ 61 ].

Чтобы лучше понять биологические и механические пути, связывающие изменения хрящей, костей и костного мозга при прогрессировании ОА, Kazakia et al. использовали микрокомпьютерную томографию (мкКТ), периферическую количественную компьютерную томографию высокого разрешения (HR-pQCT) и инфракрасную спектроскопию с преобразованием Фурье (FTIR) для оценки костной структуры и состава BML, связанного с ОА коленного сустава [ 62 ]. Трабекулярная кость в BML была выше по объемной доле, с большим количеством и более толстыми трабекулами, которые были более пластинчатыми по структуре по сравнению с трабекулами в непораженных областях. Состав трабекулярной ткани BML имел более низкое содержание фосфатов и карбонатов. Присутствовала инфильтрация костного мозга волокнистой коллагеновой сетью и признаки повышенного ремоделирования кости. Эти структурные и композиционные изменения были специфически локализованы в областях, лежащих в основе деградациии хряща, подтверждая парадигму фокальных взаимодействий между костью, костным мозгом и хрящом при прогрессировании ОА коленного сустава.

В популяционном исследовании субъектов с болью в колене Ip et al. выявили, что BML присутствовал у 11 % пациентов без ОА, у 38 % пациентов с предрентгенологическим ОА (степень Келлгрена-Лоуренса <2 на рентгенографии, но с заметным повреждением хряща на МРТ) и у 71 % пациентов с рентгенологическим ОА. [ 63 ]. BML были значительно связаны с болью при подъеме по лестнице, но не с болью при ходьбе или с общим баллом WOMAC. В другом популяционном исследовании, исследовании остеоартрита Framingham, Guermazi et al. сообщили, что 52 % (371/710) лиц без рентгенологического ОА имели BML, независимо от болевого статуса [ 2 ]. Штейн и др. изучили 160 участников из подгруппы прогрессирования инициативы по остеоартриту и выявили, что колени с разрывом передней крестообразной связки (ПКС) имели значительно больше BML в латеральной части бедра, чем колени без разрыва ПКС. Используя данные исследования MOST, Hayashi et al. сообщили, что смещение коленного сустава связано с повышенным риском возникновения и увеличения BML в более нагруженных отделах тибioфemorального сустава [ 64 ]. Эти результаты подчеркивают влияние биомеханики сустава на структурную целостность всего сустава, включая субхондральную кость [ 65 ]. Также, используя данные исследования MOST, Zhang et al. [ 49 ] показали, что изменения BML,

обнаруженные на МРТ, были связаны с соответствующими колебаниями боли в колене. Снижение BML было связано с исчезновением боли, что позволяет предположить, что субхондральная кость может быть потенциальной мишенью для индивидуальной терапии.

В отчете Доре и соавт. описали возможную связь системных и нутритивных факторов риска с последующим развитием BML, подтверждая гипотезу о том, что метаболизм субхондральной кости не зависит только от биомеханических свойств локализованной нагрузки [ 66 ]. Рандомизированное клиническое исследование, о котором сообщили Laslett et al. выявили, что однократное вливание золедроновой кислоты уменьшает боль в колене и локальный размер BML и увеличивает процент улучшения в течение шести месяцев [ 67 ]. Недавно были предложены два новых метода для количественной оценки объема BML. Панг и др. [ 68 ] использовали полуавтоматическую технику сегментации, которая была подтверждена по шкале BLOKS для BML, а Ratzlaff et al. также использовали полуавтоматический метод, который был подтвержден по шкале WORMS для оценки BML [ 69 ]. Хотя оба метода были проверены на соответствие установленным системам полуколичественной оценки, еще предстоит определить, будут ли эти новые методы играть важную роль в клинических испытаниях ОА в будущем.

### **МРТ мышц**

МРТ позволяет отлично очертить мышцы и, таким образом, может использоваться для измерения площади поперечного сечения или длины мышц нижних конечностей. Сэттлер и др. выявили, что колени с частой болью имеют меньшие анатомические площади поперечного сечения и испытывают меньшую нагрузку со стороны четырехглавой мышцы бедра (но не других мышц бедра) по сравнению с контралатеральными коленями без боли в колене на той же рентгенологической стадии [ 70 ].]. Частая боль, по-видимому, не влияла на корреляцию между анатомической площадью поперечного сечения и силой коленного сустава при ОА. Эти данные свидетельствуют о том, что упражнения, укрепляющие четырехглавую мышцу, могут быть полезны для лечения симптоматического ОА коленного сустава. Основываясь на этом, Ruhdorfer et al. выявили отсутствие существенных боковых различий анатомической площади поперечного сечения четырехглавой мышцы бедра (или другой мышцы бедра) между коленями с медиальным сужением суставной щели (JSN) на рентгенограмме и коленями без JSN, или между специфическими медиальными слоями колена JSN и контралатеральными коленями без JSN, для мужчин или женщин [ 71 ]. Двухлетние продольные изменения анатомических площадей поперечного сечения мышц бедра были небольшими и существенно не отличались между коленями с медиальным JSN и коленями без JSN. Эти продольные данные показали, что более поздняя рентгенологическая стадия ОА коленного сустава не обязательно связана с продольным снижением мышечной функции.

### **Выводы**

МРТ стала мощным исследовательским инструментом для исследовательского сообщества ОА, и в литературе публикуется все больше данных, полученных с помощью МРТ. МРТ преодолевает присущие рентгенографии ограничения и

позволяет оценивать различные ткани и патологические особенности, связанные с болью. Для морфологического анализа доступны полуколичественные и количественные подходы, а новые композиционные методы МРТ обещают визуализацию преморфологических изменений в тканях, включая хрящи и мениски. По сравнению с NEMRI, CEMRI обеспечивает более точную оценку синовита при ОА коленного сустава, хотя первый по-прежнему является действенной альтернативой, когда CEMRI недоступен. При условии, что исследователи используют соответствующие процедуры МРТ для достижения целей своего исследования, МРТ поможет выявить патологическую основу ОА

### Литература/References

1. Akbarovich, Y. G., & Vaxobovich, A. O. (2022). IMPROVEMENT OF THE METHOD OF RADIATION DIAGNOSTICS OF DEGENERATIVE CENTRAL STENOSIS OF THE CERVICAL SPINAL CANAL. *American Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 6, 48-51.
2. Azizovich, H. T. (2021). A Modern Approach to the Care of Victims with Combined Pelvic and Femoral Bone Injuries Based on the Severity of the Injury and the Severity of the Condition. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 2(4), 156-159.
3. Burievich, T. A., Norkulovich, P. S., & Azizovich, T. H. (2022). OPTIMAL CHOICE OF SURGICAL TREATMENT FOR LUMBAR SPONDYLOLISTHESI. *The American Journal of Medical Sciences and Pharmaceutical Research*, 4(02), 12-16.
4. Burievich, T. A., Tilakovich, T. B., & Azizovich, T. K. (2021). OUR EXPERIENCE OF SURGICAL TREATMENT OF UNKNOWN FRACTURES AND FALSE JOINTS OF THE SHIN BONES. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(09), 2020.
5. Furkatovich, S. B., Anvarovich, T. J., Akbarovich, Y. G., & Berdimurodovich, K. Z. (2021). Ultrasound diagnosis of hip dysplasia in infants. *World Bulletin of Public Health*, 5, 108-110.
6. Mamatmurodovna, M. G., Farhodovich, N. S., Saidkulovich, B. A., Umarjonovna, Y. E., & Amonillaevna, F. D. (2018). Peculiarities of x-ray semiotics in early age children with pneumonia. *European science review*, 2(11-12), 103-105.
7. Manapovich, M. S., Yuldashevich, V. E., Pulatovich, X. B., Lvovich, K. D., Jamalovich, A. J., Erkinovich, V. O., ... & Djamshidovich, I. A. (2021). EXPERIENCE OF APPLICATION OF SIMULTANE SURGERY IN PATIENTS WITH SKELETAL INJURY COMPLICATED WITH DEEP VENOUS THROMBOSIS OF THE LOWER LIMBS AND PELVIS. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(09), 2020.
8. Shamsiddinovich, M. J., Berdimuradovich, K. Z., & Berdialievich, U. S. (2022). Improvement of mri diagnostics in hoff's disease. *Yosh Tadqiqotchi Jurnali*, 1(4), 358-370.

9. Shirov, B. F. (2022). Early Diagnosis of DDH in Young Children in the Endemic Zone. *INTERNATIONAL JOURNAL OF HEALTH SYSTEMS AND MEDICAL SCIENCES*, 1(4), 413-415.
10. Shirov, B. F., & Yanova, E. U. (2021). Turdumatov ZhA. Ultrasound evaluation of various degrees of hip dysplasia in newborns. *Journal of Hepato-Gastroenterological Research*, 3(2), 146-149.
11. Tilyakov, H. A., Valiyev, E. Y., Tilyakov, A. B., & Tilyakov, A. B. (2021). A new approach to surgical treatment of victims with pelvic and femoral fracture injuries, taking into account the severity of the condition and the severity of the injury. *International Journal of Health and Medical Sciences*, 4(3), 338-346.
12. Tilyakov, K. A., Tilyakov, A. B., Shamsiev, J. Z., Rabimov, F. K., Rustamov, Z. A. U., & Sattarov, S. S. (2022). Our experience with the results of surgical treatment of victims with concomitant injuries of the pelvis and femur. *Cardiometry*, (24), 217-225.
13. Turdumatov, J., & Mardieva, G. (2020). Clinical and X-ray peculiarities of the course of chronic obstructive pulmonary disease in combination with diabetes mellitus. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(02), 2020.
14. Umarjonovna, Y. E., & Mamatmuradovna, M. G. (2020). Arcuate foramen of atlas: Do I need to diagnose?. *European Journal of Molecular & Clinical Medicine*, 7(02), 2020.
15. Алиев, Б. Г., Исмаел, А., Уразовская, И. Л., Мансуров, Д. Ш., Ткаченко, А. Н., Хайдаров, В. М., & Спичко, А. А. (2022). Частота и структура негативных последствий эндопротезирования тазобедренного сустава в отдаленные сроки. *Новости хирургии*, 30(4), 392-400.
16. Алиев, М. А., Раджабов, Х. Х., Холмуродова, Х. Х., & Холмуродов, О. Х. (2022). Результат хирургического лечения длинной интрамедуллярной опухоли спинного мозга со сирингомиелией. *Uzbek journal of case reports*, 2(3), 7-17.
17. Балглей, А. Г., Ткаченко, А. Н., Хайдаров, В. М., Мансуров, Д. Ш., & Уразовская, И. Л. (2022). Частота и структура осложнений при артроскопическом лечении остеоартрита коленного сустава. *Вестник Северо-Западного государственного медицинского университета им. ИИ Мечникова*, 14(2), 35-47.
18. Барановский, А. А., Балглей, А. Г., Ткаченко, А. Н., Мансуров, Д. Ш., & Хромов, А. А. (2023). Возможности туннелизации в лечении остеоартрита коленного сустава. *Гений ортопедии*, 29(2), 204-210.
19. Барановский, А. А., Уразовская, И. Л., Мансуров, Д. Ш., Сайганов, С. А., Мазуров, В. И., Ткаченко, А. Н., & Мамасолиев, Б. М. (2022). Организация лечения остеоартрита коленного сустава. *Uzbek journal of case reports*, 2(3), 37-45.

20. Валиев, Э. Ю., Тиляков, Х. А., Каримов, Б. Р., & Исмоилов, А. Д. (2021). СОВРЕМЕННЫЙ ВЗГЛЯД НА ВЫБОР ТАКТИКИ ЛЕЧЕНИЯ ПОСТРАДАВШИХ С СОЧЕТАННЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ТАЗА И БЕДРА. In *МЕДИЦИНСКАЯ ПОМОЩЬ ПРИ ТРАВМАХ. НОВОЕ В ОРГАНИЗАЦИИ И ТЕХНОЛОГИЯХ. РОЛЬ НАЦИОНАЛЬНОЙ ОБЩЕСТВЕННОЙ ПРОФЕССИОНАЛЬНОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ТРАВМАТОЛОГОВ В СИСТЕМЕ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ РФ* (pp. 23-24).
21. Валиев, Э. Ю., Хасанов, З. Р., Яхёев, А. С., & Тиляков, Х. А. (2022). Совершенствование оказания хирургической помощи пострадавшим с повреждениями таза. In *Скорая медицинская помощь-2022* (pp. 36-38).
22. Вансович, Д. Ю., Сердобинцев, М. С., Усиков, В. В., Цололо, Я. Б., Мансуров, Д. Ш., Спичко, А. А., ... & Вороков, А. А. (2021). Применение электростатического поля электрета при хирургическом лечении больных гонартрозом. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*, 23(3), 24-30.
23. Воронов, А. А., Фадеев, Е. М., Спичко, А. А., Алиев, Б. Г., Мурзин, Е. А., Хайдаров, В. М., ... & Ткаченко, А. Н. (2020). Возможности прогноза местных инфекционных осложнений при артропластике тазобедренного и коленного суставов. *Медико-фармацевтический журнал «Пульс»*, 22(12), 106-111.
24. Гайковая, Л. Б., Ткаченко, А. Н., Ермаков, А. И., Фадеев, Е. М., Усиков, В. В., Хайдаров, В. М., & Мансуров, Д. Ш. (2018). Лабораторные маркеры прогноза инфекции области хирургического вмешательства при транспедикулярной фиксации позвоночника. *Профилактическая и клиническая медицина*, 1, 50-56.
25. Гиясова, Н. К., & Шукурова, Л. Б. (2022). Оценка результатов перфузионной компьютерной томографии печени как неинвазивного метода изучения гемодинамики печеночной паренхимы у пациентов с фиброзом и циррозом. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(3), 646-653.
26. Гиясова, Н., Жалилов, Х., Садуллаев, О., Назарова, М., & Шавкатова, Ш. (2022). Визуализация травматических повреждений плечевого пояса (часть 2). *Involta Scientific Journal*, 1(11), 59-75.
27. Жалилов, Х. М., Каххаров, А. С., Негматов, И. С., Бобохолова, С. Ш., & Шавкатова, Ш. Ш. (2022). Краткая История Искусственного Интеллекта И Роботизированной Хирургии В Ортопедии И Травматологии И Ожидания На Будущее. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(6), 223-232.
28. Каримов, З., Мухсинов, К., Назарова, М., & Шавкатова, Ш. (2022). Визуализация травматических повреждений плечевого пояса (часть 1). *Involta Scientific Journal*, 1(11), 43-58.
29. Каххаров, А. С., Гиясова, Н. К., Шавкатова, Ш. Ш., & Рахмонов, У. Т. (2022). Асептический Некроз Головки Бедренной Кости, Рекомендации Для Врачей. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(4), 268-277.

30. Каххаров, А. С., Гиясова, Н. К., Шукурова, Л. Б., & Шавкатова, Ш. Ш. (2022). Профилактика Асептического Некроза Головки Бедренной Кости Вызванного Стероидами При Лечении COVID-19. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(6), 63-78.
31. Каххаров, А. С., Гиясова, Н. К., Шукурова, Л. Б., & Шавкатова, Ш. Ш. (2022). Факторы риска развития асептического остеонекроза (новейший обзор литературы). *Science and Education*, 3(11), 305-313.
32. МАМУРОВА, М. М., Умаржоновна, Я. Э., БАХРИТДИНОВ, Б. Р., ГИЯСОВА, Н. К., & МАРДИЕВА, Г. М. (2022). On the assessment of anomalies in the development of the vertebrobasilar zone in dyscirculatory encephalopathy by MRI. *Журнал биомедицины и практики*, 7(1).
33. Мамурова, М. М., Янова, Э. У., Бахритдинов, Б. Р., Гиясова, Н. К., & Мардиева, Г. М. (2021). Магнитно-Резонансная Томография В Диагностике Дисциркуляторной Энцефалопатии На Фоне Аномалий Развития. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 2(6), 131-136.
34. Мансуров, Д. Ш., Лучкевич, В. С., Тарасов, А. В., Корнеев, А. А., & Ткаченко, А. Н. (2019). Обоснование медико-организационных мероприятий по улучшению профилактики и оценка вероятности развития инфекции в области хирургического вмешательства у пострадавших с переломами костей. *Профилактическая и клиническая медицина*, (1), 39-45.
35. Мансуров, Д. Ш., Тарасов, А. А., Дорофеев, Ю. Л., Федulichев, П. Н., Корнеев, А. А., & Ткаченко, А. Н. (2018). Организация профилактики местных гнойных осложнений при травматологических операциях в Республике Крым. In *Профилактическая медицина-2018* (pp. 85-90).
36. Мансуров, Д. Ш., Уразовская, И. Л., Сайганов, С. А., Ткаченко, А. Н., Хайдаров, В. М., Балглей, А. Г., & Тотоев, З. А. (2022). Роль артропластики в комплексном лечении остеоартрита коленного сустава. *Политравма*, (3), 80-88.
37. Мардиева, Г. М., & Ашуров, Ж. Н. У. (2022). Possibilities of radiography in the diagnosis of pneumonia in newborns. *Uzbek journal of case reports*, 2(3), 31-36.
38. Мардиева, Г. М., Облобердиева, П. О. К., & Казаков, С. Ю. У. (2020). Лучевые методы исследования в диагностике портальной гипертензии (обзор литературы). *Вопросы науки и образования*, (41 (125)), 61-76.
39. Мардиева, Г. М., Уринбоева, Д. С., Шукурова, Л. Б., & Гиясова, Н. К. (2021). Аспекты ультразвуковой диагностики хронического тиреоидита. *Re-health journal*, (1 (9)), 47-50.
40. Мардиева, Г., Ашуров, Ж., Бахритдинов, Б., & Якубов, Г. (2021). РЕНТГЕНОЛОГИЧЕСКАЯ СИМПТОМАТИКА ПНЕВМОНИИ У ДЕТЕЙ РАННЕГО ВОЗРАСТА. *Журнал гепато-гастроэнтерологических исследований*, 2(3.1), 46-49.



41. Мухсинов, К. М., Шавкатова, Ш. Ш., & Орипова, Д. А. (2022). Ротационная Оценка Переломов Диафиза Плечевой Кости С Фиксированным Проксимальным Разгибанием По Методике Мiро. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(5), 279-285.
42. Норматова, З. И., & Янова, Э. У. (2017). Эпидемиология опухолей печени. In *Молодежь и медицинская наука в XXI веке* (pp. 222-224).
43. Руссу, И. И., Линник, С. А., Синенченко, Г. И., Ткаченко, А. Н., Фадеев, Е. М., & Мансуров, Д. Ш. (2016). Возможности вакуумной терапии в лечении инфекционных осложнений у пациентов ортопедо-травматологического профиля (обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*, (2), 49-54.
44. Слабоспицкий, М. А., Мохов, Д. Е., Лимарев, В. В., Ткаченко, П. В., Ткаченко, А. Н., Мансуров, Д. Ш., & Хайдаров, В. М. (2022). Обоснование экономической эффективности авторской мануальной методики вправления вывиха плеча. *Российский остеопатический журнал*, (3), 103-113.
45. ТИЛЯКОВ, А. Б., & ТИЛЯКОВ, Х. А. (2022). ПРИМЕНЕНИЕ МАЛОИНВАЗИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ПРИ ЛЕЧЕНИИ ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОГО АППАРАТА У ПОСТРАДАВШИХ С ПОЛИТРАВМОЙ. *ЖУРНАЛ БИОМЕДИЦИНЫ И ПРАКТИКИ*, 7(2).
46. Ткаченко, А. Н., Корнеев, А. А., Дорофеев, Ю. Л., Мансуров, Д. Ш., Хромов, А. А., Хайдаров, В. М., ... & Алиев, Б. Г. (2021). Оценка динамики качества жизни методами анализа выживаемости у пациентов, перенесших артропластику тазобедренного сустава. *Гений ортопедии*, 27(5), 527-531.
47. Ткаченко, А. Н., Уль, Х. Э., Алказ, А. В., Ранков, М. М., Хромов, А. А., ФАДЕЕВ, Е., & МАНСУРОВ, Д. (2017). Частота и структура осложнений при лечении переломов длинных костей конечностей (обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*, (3), 87-94.
48. Ткаченко, А. Н., Фадеев, Е. М., Усиков, В. В., Хайдаров, В. М., Мансуров, Д. Ш., & Нур, О. Ф. (2017). Прогноз и профилактика инфекции области хирургического вмешательства при операциях на позвоночнике (обзор литературы). *Кафедра травматологии и ортопедии*, (1), 28-34.
49. Фадеев, Е. М., Хайдаров, В. М., Виссарионов, С. В., Линник, С. А., Ткаченко, А. Н., Усиков, В. В., ... & Фаруг, Н. О. (2017). Частота и структура осложнений при операциях на позвоночнике. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*, 5(2), 75-83.
50. Хайдаров, В. М., Ткаченко, А. Н., Кирилова, И. А., & Мансуров, Д. Ш. (2018). Прогноз инфекции в области хирургического вмешательства при операциях на позвоночнике. *Хирургия позвоночника*, 15(2), 84-90.
51. Ходжанов, И. Ю., Тиляков, Х. А., & Гафуров, Ф. А. (2023). Тўпиклар синиши ва болдирлараро синдесмоз бойлами жарохатларида суякичи остеосинтез усули.

52. Широ́в, Б. Ф. (2021). УЗИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ПО ГРАФУ: СТАНДАРТИЗОВАННОЕ РАННЕЕ ВЫЯВЛЕНИЕ ВРОЖДЕННОЙ ДИСПЛАЗИИ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА. *Scientific progress*, 2(2), 917-922.
53. Широ́в, Б., Янова, Э., & Турдуматов, Ж. (2021). Ultrasound assessment of varying degrees of hip dysplasia in neonates. *Журнал генито-гастроэнтерологических исследований*, 2(3.2), 146-149.
54. ЯНОВА, Э. У., & МАРДИЕВА, Г. М. (2020). Что такое аномалия Киммерле и как она влияет на кровообращение в вертебробазилярной зоне (обзор литературы). *Журнал неврологии и нейрохирургических исследований*, 1(2).
55. Янова, Э. У. (2019). Влияние аномалии Киммерле на кровообращение в вертебробазилярной зоне. *ТОМ-1*, 465.
56. Янова, Э. У., & Мардиева, Г. М. (2021). Выявление аномалии Киммерле лучевыми методами исследования. *Российский электронный журнал лучевой диагностики*, 11(4), 44-52.
57. Янова, Э. У., Мардиева, Г. М., & Юлдашев, Р. А. (2021). Evaluation of blood circulation in Kimmerle's anomaly. *Re-health journal*, (1), 30-33.
58. Янова, Э. У., Облобердиева, П. О., & Салохий, И. О. (2022). Сравнительный Анализ Рентгенологических Методов Исследования В Выявлении Аномалии Киммерле. *Central Asian Journal of Medical and Natural Science*, 3(5), 429-439.
59. Янова, Э. У., Юлдашев, Р. А., & Гиясова, Н. К. (2021). Аномалия Киммерле при визуализации краниовертебральной области. *вестник КГМА имени ИК Ахунбаева*, 4(4), 130-134.
60. Янова, Э. У., Юлдашев, Р. А., & Мардиева, Г. М. (2019). Лучевая диагностика краниовертебрального кровообращения при аномалии Киммерле. *Вопросы науки и образования*, (27 (76)), 94-99.
61. Янова, Э., Мардиева, Г., Гиясова, Н., Бахритдинов, Б., & Юлдашев, Р. (2021). Костная перемычка первого шейного позвонка. *Журнал вестник врача*, 1(4 (101)), 93-100.