

Чуть ниже в левой гемисфере определяется парасагитально расположенный участок понижения показателей СМК и СВТ, при наличии неизмененного ОМК — зона вероятнее всего соответствующая свежей, потенциально обратимой ишемии (рис. 5).

Выводы

Применение комплекса методик КТ-диагностики, включающего оценку перфузии головного мозга, у пациентов с острым нарушением мозгового кровообращения доказало свою целесообразность. Быстрота выполнения и оценки результатов, отсутствие противопоказаний, высокая информативность — несомненные преимущества методики. Применение ПКТ у пациентов в ранние сроки появления симптомов ОНМК позволяет определить показания для тромболитической терапии (в т.ч. за пределами терапевтического окна), а в комплексе с КТА — показания к ангиохирургическому вмешательству.

Литература

1. Hunter W., Kaste M., Feischl, et al. Assessment of cerebral perfusion and arterial anatomy in hyperacute stroke with three-dimensional functional CT: early clinical results. *AJNR Am Neuroradiology*. — 1998. — Vol. 19. — P. 29–37.
 2. Mayer T.E., Hamman G.F., Baranczyk J., et al. Dynamic CT perfusion imaging of acute stroke. *ALNR Am Neuroradiology*. — 2002. — Vol. 21. — P. 1441–1449.
 3. Roberts C.H., Roberts T.P.L., Smith W.S., Lee T.J., Fishbein H.J., Dillon W.P. Multisection dynamic CT perfusion for acute cerebral ischemia: the “toggling-table” technique. *ALNR Am Neuroradiology*. — 2001. — Vol. 22. — P. 1077–1080.
 4. Waaijer A., van Leeuwen M.S., van Osch M.J. et al. Changes in cerebral perfusion after revascularization of symptomatic carotid artery stenosis: CT measurement. *Radiology*. — 2007. — Vol. 254, № 2. — P. 541–548.
- И др. авторы.

Магнитно-резонансная томография: методы количественной оценки состояния суставного хряща у больных остеоартрозом

С.К. Терновой, И.Ю. Насникова, С.П. Морозов, П.А. Филистеев
ФГУ «Центральная клиническая больница с поликлиникой» УД Президента РФ

В последние годы постоянно возрастает клинический интерес к ранней диагностике остеоартроза (ОА), продиктованный появлением таргетного хирургического и медикаментозного лечения. Магнитно-резонансная томография (МРТ) — наиболее эффективный неинвазивный метод визуализации и мониторинга повреждений суставного хряща коленного сустава. В этой статье изложены количественные МРТ техники визуализации суставного хряща, такие как компьютерное моделирование толщины и объема хряща, измерение времен релаксации (T1ρ и T2), отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния, диффузионная МРТ и перенос намагниченности. Многочисленные исследования, основанные на вышеуказанных методах, показали многообещающие результаты в выявлении структурных изменений суставного хряща и диагностике ОА.

Ключевые слова: количественная МРТ, T2-картирование, отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния, dGEMRIC, T1ρ-картирование, диффузионная МРТ суставного хряща, метод переноса намагниченности в диагностике состояния суставного хряща.

Lately, clinical interest to early diagnostics of osteoarthritis has raised due to the development of target surgical and medicamentous treatment. Magnet-resonance tomography (MRT) is the most effective non-invasive technique for visualizing and monitoring damaged articular cartilage in the knee. The given article presents quantitative techniques for visual examination of articular cartilage such as: computer modeling of cartilage thickness and volume, measuring of relaxation time (T1 and T2), delayed MR-contrasting of articular cartilage with Gadolinium preparations, diffuse MRT and magnetization transfer. Multiple studies based on the abovementioned techniques have shown promising effectiveness of these techniques for revealing structural changes in articular cartilage and for osteoarthritis diagnostics.

Key words: quantitative MRT, T2-mapping, delayed MR-contrasting of articular cartilage with Gadolinium preparations, dGEMRIC, T1ρ-mapping, diffuse MRT of articular cartilage, a technique for magnetization transfer in diagnosing articular cartilage state.

Введение

Остеоартроз (ОА) — гетерогенное многофакторное заболевание, заключающаяся в дисбалансе процессов синтеза и резорбции хрящевой ткани и характеризующееся постепенным прогрессирующим истончением гиалинового суставного хряща (1). Подобно другим мезенхимальным тканям, гиалиновый хрящ состоит из клеток и внеклеточной матрикса. В нормальном гиалиновом хряще имеется только один тип клеток — это высокоспециализированные хондроциты, составляющие около 1% от объема всей ткани. Хондроциты синтези-

руют такие макромолекулы, как коллагены (коллаген II типа составляет 90–95%), протеогликаны и неколлагеновые белки, собирая и организуя их затем в высокоупорядоченную трехмерную структуру — матрикс. В гиалиновом хряще протеогликаны сжаты коллагеновым каркасом и гидратированы лишь частично, тем не менее вода составляет от 60% до 80% от массы нативной ткани. Это определяет механические свойства хряща — прочность и эластичность. По мере старения организма, пролиферативная и метаболическая активность хондроцитов снижается, что на фоне физических

нагрузок и травматизации коленного сустава приводит к повреждению, дегенеративно-дистрофическим изменениям хрящевой ткани с развитием ОА. Для оценки степени тяжести острых и хронических повреждений суставного хряща коленного сустава разработаны многочисленные классификации. Наибольшее распространение в клинической практике из-за своей простоты получила система, предложенная Outerbridge в 1961 г., который описал четыре степени повреждения хряща:

1 степень — локальный отек и размягчение хряща; 2 степень — поверхностное разволокнение, фрагментация и растрескивание хряща на участке диаметром не более 1,25 см; 3 степень — неполнослойная фибрилляция, фрагментация и растрескивание хряща диаметром более 1,25 см; 4 степень — дефект хряща с обнажением субхондральной кости.

При описании состояния суставного хряща, кроме вида и глубины повреждения, принято отмечать его размеры, а также функциональную (нагружаемые и ненагружаемые области) и анатомическую локализацию (International Cartilage Repair Society, 2000).

На сегодняшний день для пациентов с ОА коленного сустава существует большой выбор лечебных процедур: нестероидные противовоспалительные средства, инъекции гиалуроновой кислоты и факторов роста, трансплантация хряща и остеохондральных комплексов, использование техники микропереломов и корригирующей остеотомии, и наконец, частичное и полное эндопротезирование. Имея в арсенале такой широкий спектр лечебных манипуляций, первостепенное значение приобретает качественная оценка состояния хрящевой ткани для выбора адекватного медикаментозного или хирургического пособия.

Методы диагностики

Рентгенография часто применяется как базовый метод диагностики ОА. С его помощью можно определить сужение суставной щели, субхондральную перестройку костной ткани, оценить суставные поверхности и наличие остеофитов, что клинически соответствует поздним стадиям заболевания. Непосредственная оценка суставного хряща рентгенологическим методом затруднительна. Это подтверждается исследованием Rogers (2), согласно которому сужение суставной щели при рентгенографии не соответствует степени его истончения. Кроме того, рентгенологически не удается выявить локальные зоны хондромалиции, соответствующие 1–2 степени повреждения по Outerbridge, а при вальгусной или варусной деформации коленного сустава охарактеризовать суставной хрящ дегенеративно расширенной суставной щели вообще не представляется возможным (3).

Высокоинформативным методом оценки состояния хряща коленного сустава является магнитно-резонансная томография (МРТ). Учитывая разницу в инвазивном артроскопическом и неинвазивном лучевом восприятии проявлений ОА, применительно к МРТ классификация Outerbridge может быть представлена в следующем виде:

1 степень — повышение интенсивности МР-сигнала от суставного хряща на T2- и протонно-взвешенных (PD) изображениях;

2 степень — истончение хряща менее 50% толщины;

3 степень — истончение хряща более 50% толщины;

4 степень — локальный или распространенный дефект хряща с обнажением субхондральной кости.

Многочисленные работы, посвященные возможностям МРТ в диагностике ОА, характеризуются неоднородностью полученных данных. Так, в ряде исследований результаты МРТ трактовались как наличие или отсутствие ОА без учета степени истончения суставного хряща (4,5). Такое «упрощение» не удовлетворяет современным требованиям травматологов-ортопедов, заинтересованных в точной предоперационной диагностике, и соответственно адекватной терапии. Другая группа авторов (6–10) выполнила МР-стадирование дегенеративных изменений суставного хряща с последующей артроскопической верификацией. Blackburn продемонстрировали «умеренную» зависимость между МРТ и артроскопией в стадировании хондромалиции (7), в то время как в работе Drape (8) сила корреляции была очень высокой. По данным ряда исследований (6,9,10) чувствительность МРТ варьировала от 31% до 100%. Наилучшие результаты были представлены Kawahara (9) — чувствительность МРТ для 1 степени составила 32%, для 2 — 72%, 3 — 94%, 4—100%.

Стандартное МР-исследование коленного сустава с акцентом на суставной хрящ включает в себя T2 и PD быстрые спин-эхо (FSE) последовательности с использованием программ жироподавления, а также T1-взвешенные градиентные последовательности (например SPGR). Использование такого протокола оказывается недостаточным для достоверной оценки начальных изменений хрящевого матрикса, особенно на этапе биохимической трансформации.

Начальные проявления дегенерации суставного хряща включает в себя изменение структуры и концентрации его ключевых компонентов — протеогликанов, межклеточной жидкости, коллагена (11). Выявление вышеуказанных изменений является обязательным условием ранней диагностики остеоартроза до формирования макроскопических изменений.

На сегодняшний день существует несколько МРТ методик, позволяющих проводить количественную оценку состояния суставного хряща и его матрикса на биохимическом уровне. Наиболее популярными техниками являются: картирование суставного хряща T2 и T1ρ, количественное измерение толщины и объема суставного хряща, отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния (dGEMRIC).

Количественное измерение толщины и объема суставного хряща

МРТ с высоким разрешением активно используется для количественной оценки толщины и объема суставного хряща при ОА. Тем не менее, на текущий момент не существует полностью автоматических программ количественного анализа хряща, что главным образом связано с его низкой контрастностью от окружающих тканей. Количественный анализ и картирование суставного хряща осуществляется посрезово с использованием полуколичественных техник, основанных на определении формы и моделировании наружных краев (рис. 1).

В работе Lindsey (12) была продемонстрирована зависимость между выраженностью болевого синдрома и объемом сохраненного суставного хряща. Таким образом, количественный анализ толщины и объема суставного хряща при МРТ коррелирует не только с тяжестью

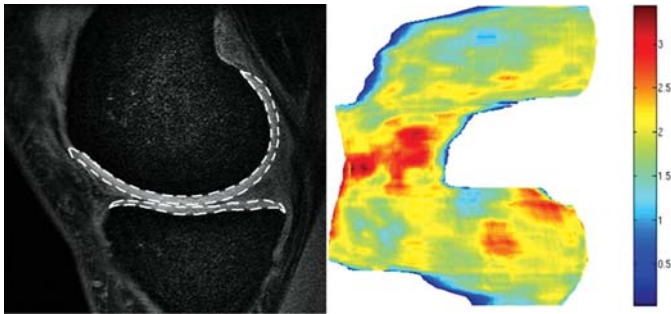


Рис. 1. Количественное измерение толщины и объема суставного хряща. Пример сегментации суставного хряща мыщелков бедренной и большеберцовой кости и карта толщины суставного хряща бедренной кости. G Blumenkrantz., 2007.

ОА, но и с сопутствующими дегенеративными изменениями других структур коленного сустава.

Отсроченное контрастирование суставного хряща гадолинием (dGEMRIC)

dGEMRIC – метод ранней МРТ диагностики ОА на микроскопическом уровне, основанный на оценке потери гликозаминогликанов (ГАГ). Молекулы ГАГ состоят из повторяющихся звеньев уроновых кислот (D-глюкуроновой или L-идуроновой), а также сульфатированных и ацетилированных аминокислот. Из-за избытка сульфатных и карбоксильных групп в ГАГ протеогликаны аккумулируют высокий отрицательный заряд, определяющий прочность тканевого матрикса. Наличие отрицательного заряда у ГАГ приводит к тому, что свободные ионы, расположенные вблизи суставного хряща, будут диффундировать и распределяться в хряще в зависимости от концентрации молекул ГАГ (13).

Для того, чтобы с помощью МРТ удалось выявить концентрацию ГАГ, необходимо использовать парамагнитное контрастное вещество, обладающее зарядом – например $Gd-DTPA^{2-}$. Так как молекулы ГАГ и $Gd-DTPA$ имеют отрицательные заряды, распределение контрастного препарата в суставном хряще будет происходить обратно пропорционально концентрации ГАГ – в областях с наибольшим содержанием ГАГ концентрация ионов $Gd-DTPA^{2-}$ будет наименьшей. Эта техника получила название dGEMRIC (delayed Gadolinium Enhanced MRI of Cartilage – отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния).

Методически dGEMRIC представляет собой постконтрастные 2D FSE или 3D градиентные T1-взвешенные последовательности. После внутривенного введения препаратов гадолиния необходима физическая активация коленного сустава для полноценного проникновения препарата в суставной хрящ. Отсрочка между внутривенным введением препаратов гадолиния и последующим сканированием должна составлять 2–5 часов (14).

Для клинической интерпретации результатов dGEMRIC используется специальный индекс, как правило обозначаемый T1Gd, т.е. время T1 релаксации суставного хряща после введения контрастного препарата (рис. 2).

Возрастает интерес к хондральной трансплантации при лечении локальных хрящевых дефектов. С помощью dGEMRIC существует возможность оценить на-

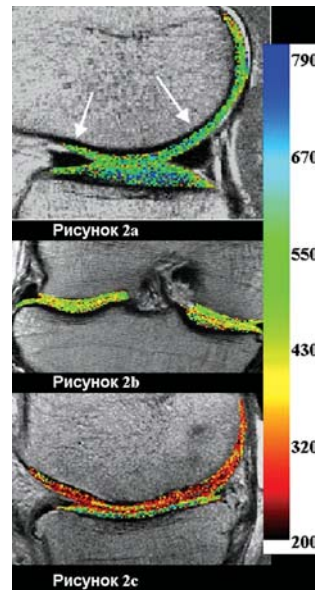


Рис. 2. Методика dGEMRIC. Значения T1Gd уменьшаются при прогрессировании ОА (рис2а- интактный суставной хрящ, рис 2б – начальный ОА, рис2с – выраженный ОА). Burstein., 2001.

копление ГАГ в месте имплантации и соответственно эффективность процедуры. В эксперименте трансплантаты со сроком менее 6 месяцев с момента пересадки имеют меньшую концентрацию ГАГ, чем окружающие ткани, в то время как в трансплантатах более 1 года уровень ГАГ идентичен окружающему хрящевому матриксу(15).

T2-картирование суставного хряща

Количественная оценка времени T2 релаксации является неинвазивным маркером дегенерации суставного хряща, так как этот параметр зависит от степени гидратации ткани и ее биохимического состава. Вода суставного хряща находится в связанном состоянии с окружающими макромолекулами, что обуславливает его низкую интенсивность МР-сигнала в последовательностях с длинным временем эхо (TE), т.е. на T2-взвешенных изображениях. T2 релаксация отражает способность молекул водорода к перемещению и межмолекулярному энергетическому взаимодействию в хрящевом матриксе и напрямую зависит от микроскопической подвижности системы. Повреждение протеогликан-коллагенового комплекса у пациентов с хондромализией приводит к уменьшению микровязкости и соответственно увеличению содержания свободной жидкости, что в свою очередь сопровождается увеличением времени T2 релаксации. Фокусы повышения МР-сигнала соответствуют зонам измененного хряща при ОА, что совпадает с данными артроскопии (16).

Методика картирования хряща включает в себя выполнение исследования с последующей реконструкцией и построением цветных T2 карт.

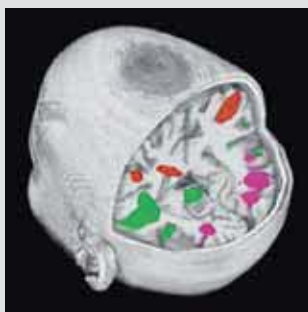
В исследованиях *in vitro* была продемонстрирована зависимость времени T2 релаксации от биохимической структуры суставного хряща. В большинстве работ было установлено, что на интенсивность МР-сигнала при определении времени T2 влияет хондральная дегидратация и нарушение структуры коллагена, в то время как зависимость T2 от изменения структуры протеогликанов сомнительна. Mosher (17) определил время T2 релаксации суставного хряща у здоровых пациентов и больных ОА и выявил достоверное увеличение значений T2 в группе больных ОА.

МР-томограф Discovery MR750 3.0T

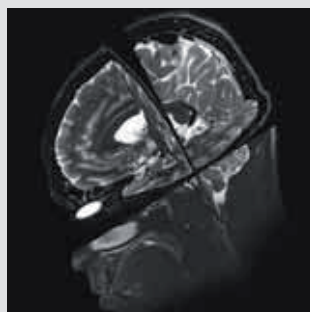
Простота совершенства. Совершенство простоты

Передовая оптическая система передачи РЧ-сигналов, повышающая отношение сигнал/шум

МР-томограф Discovery MR750 3.0T оснащен эксклюзивной технологией оптической передачи РЧ-сигналов Optix, разработанной компанией GE, которая обеспечивает повышенную четкость и максимальную интенсивность передачи сигналов и способствует формированию четких и резких изображений. Эта цифровая приемная система нового поколения характеризуется 4-кратным увеличением динамического диапазона, а использование в процедурной оптической архитектуры передачи данных повышает, по сравнению с традиционными неоптическими приемниками, отношение сигнал/шум на величину до 27 %.



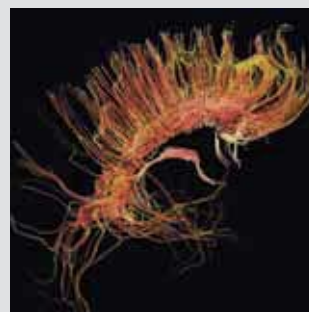
МР-томограф Discovery MR750 позволяет за 5 минут проводить стандартные ФМРТ-исследования с высокими надежностью, точностью и воспроизводимостью, формируя на 60% больше срезов без увеличения времени сканирования



Приложение Cube. Приложение Cube переформатирует объемные данные, полученные за один скан, с субмиллиметровым изотропным разрешением в любой плоскости без потери информации и снижения разрешения. Новая технология параллельной визуализации ARC под управлением данных автокалибровки быстро формирует изображения, практически не содержащие артефактов



Времяпролетные ИП. Использование с МР-томографом Discovery MR750 времяпролетных ИП повышает контрастность изображения потока крови на фоне окружающих тканей и сокращает продолжительность сканирования. Это позволяет быстро захватывать изображения мелких кровеносных сосудов с высокой четкостью без применения контрастных веществ, что повышает точность диагностики



Картирование тензора диффузии (DTI)/FiberTrak. С появлением МР-томографа Discovery MR750 технология DTI вышла на принципиально новый уровень: вдвое увеличилось число срезов и появилась возможность либо увеличить число направлений диффузии, либо сократить продолжительность сканирования. Технология DTI/FiberTrak позволяет формировать изображения белого вещества в виде собственных векторов, ADC, карт относительной анизотропии и проекций 3D волоконных трактов



GE imagination at work

GE Healthcare Россия и СНГ

123317, Россия, Москва,
Пресненская наб., 10С, 12 этаж
Бизнес-центр «Башни на Набережной»,
Москва-Сити
Тел.: +7 495 739 69 31, факс: +7 495 739 69 32
www.gehealthcare.ru

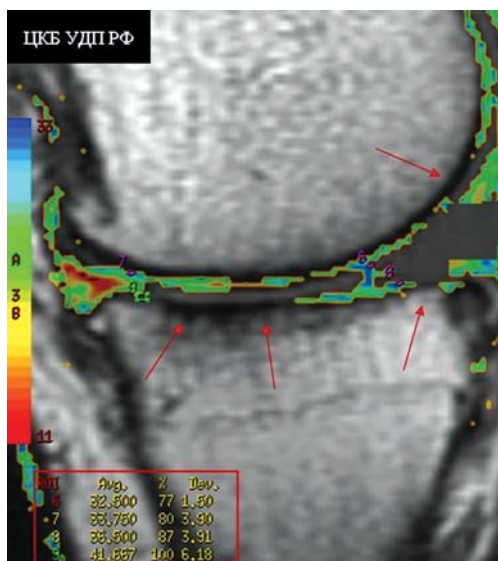


Рис. 3. T2-картирование. У пациента с ОА отмечается выраженное истончение суставного хряща медиальных мыщелков бедренной и большеберцовой кости. Выявляются хрящевые дефекты (указаны стрелками), отмечается увеличение значений T2 от визуализируемой хрящевой ткани (35–40мс), что соответствует ее биохимической перестройке.

Продолжается изучение вопроса о корреляции механических свойств суставного хряща и времени T2 релаксации. В исследованиях было показано статистически достоверное уменьшение времени T2 от поверхностных отделов суставного хряща бедренной кости после 30 минут бега (18).

Таким образом, время релаксации T2 – это параметр, характеризующий гидрофильность ткани суставного хряща и анизотропию распределения коллагена. Его значения могут существенно варьировать у здоровых пациентов, зависят от напряженности поля томографа и типа импульсной последовательности, поэтому при оценке участков измененной структуры суставного хряща в качестве референсных значений необходимо использовать интактные отделы хряща у того же пациента. Время T2 релаксации увеличивается по мере прогрессирования ОА (рис. 3).

T2-картирование суставного хряща может легко выполняться в клинической практике, не требует введения контрастного препарата, увеличивает общее время исследования сустава не более, чем на 6–8 минут.

T2-картирование суставного хряща позволяет также проводить неинвазивное динамическое наблюдение за состоянием хрящевой ткани на фоне лечения. Требуется дальнейшего изучения вопрос о корреляции степени механической компрессии хрящевой ткани и времени T2 релаксации – изменение времени T2 при физических нагрузках может позволить сформировать более рациональные режимы тренировок спортсменов для предотвращения появления и прогрессирования ОА.

T1ρ -картирование суставного хряща

Время T1ρ (T1rho) релаксации является другим возможным параметром для оценки биохимических изменений суставного хряща (19). Оно характеризует взаимодействие малой силы между малоподвижными водными молекулами и окружающим макромолекулярным окружением. Основным компонентом суставного

хряща, оказывающим влияние на подвижность молекул воды является межклеточное вещество. Таким образом, изменения в экстрацеллюлярном матриксе, такие как потеря протеогликанов, и соответственно уменьшение концентрации крупных малоподвижных молекул, могут изменять значение параметра T1ρ.

In vivo исследования показывают увеличение значений T1ρ у пациентов с ОА по сравнению с контрольной группой (20), что отражает потенциальную способность метода диагностировать дегенеративные изменения хрящевой ткани. Была продемонстрирована эффективность измерения T1ρ в участках хряща, прилегающих к зонам контузионного отека костного мозга (27) – в данных зонах определялось статистически достоверное увеличение параметра T1ρ по сравнению с окружающим хрящом ($51,8 \pm 10,8$ мс и $43,0 \pm 8,3$ мс соответственно, $p = 0,032$).

Активно дискутируется вопрос о различиях T2 и T1ρ. Несмотря на то, что оба параметра основываются на изменении положения и энергии молекул воды, в их основе заложены разные механизмы релаксации. Menezes (21) показал, что параметры T2 и T1ρ взаимно дополняют друг друга и могут быть использованы для комбинированной оценки микроструктурных изменений суставного хряща. T1ρ имеет большую динамическую амплитуду значений, чем T2, что потенциально может означать его более высокую чувствительность в ранней диагностике дегенеративных изменений суставного хряща (20).

Majumdar (22) исследовал разницу в значениях T2 и T1ρ у здоровых пациентов и больных ОА. Средние значения T1ρ у больных ОА (52,28 мс) были на 19,1% больше, чем в контрольной группе (43,90 мс). Средние значения T2 (38,31 мс) у пациентов с ОА только на 9,6% превышали величины здоровых обследуемых (34,94 мс). У больных ОА статистически достоверным оказалось только изменение параметра T1ρ, но не времени T2.

Таким образом, в исследованиях была показана слабая связь между изменениями структуры протеогликанов и временем T2 релаксации. T2 значительно лучше, чем T1ρ характеризует структуру и пространственную ориентацию коллагена и количество окружающей воды (20). С учетом того, что пусковым фактором ОА является лизис протеогликанов, а не повреждение коллагена или изменение его структуры, измерение значений T2 может быть менее эффективным способом оценки ОА по сравнению с T1ρ и другими методами. В дополнение к этому, существует зависимость T2 от направления магнитного поля томографа, что делает сложным определение «эталонных» значений времени T2.

Метод переноса намагниченности и диффузионная МРТ в диагностике повреждения суставного хряща

Техника переноса намагниченности (Magnetization Transfer) основывается на разном времени релаксации протонов в составе молекул воды и макромолекул хрящевое матрикса. С помощью частотного преднасыщения можно элиминировать макромолекулярный компонент намагниченности и получить изолированный уменьшенный МР-сигнал от протонов воды. Техника переноса намагниченности может быть актуальна для определения состояния коллагенового компонента в макромолекулярном окружении.

Количественные МРТ методы оценки суставного хряща

Методика	Характеризуемый компонент хряща	Инвазивность	Показания
T2 картирование	коллаген, вода	нет	ранняя диагностика ОА, динамический контроль
T1ρ	коллаген+ГАГ	нет	ранняя диагностика ОА, динамический контроль
dGEMRIC	ГАГ	да	постоперационная оценка репарации и жизнеспособности хрящевой ткани
Перенос намагниченности	коллаген	нет	не определены
Диффузионная МРТ	вода, коллаген	нет	не определены
Количественное измерение толщины и объема хряща	гидратация+ концентрация макромолекул	нет	диагностика ОА, тесты с нагрузкой

С помощью диффузионных свойств молекул воды в составе хрящевого матрикса можно охарактеризовать его структуру. Было показано, что скорость диффузионного движения молекул воды в суставном хряще на 40% меньше, чем в свободной жидкости. Скорость диффузии увеличивается при увеличении гидратации суставного хряща и уменьшается при его компрессии. Такая зависимость означает, что рост коэффициента диффузии воды «ограничивают» другие компоненты суставного хряща, протеогликаны и коллаген. Потенциальная возможность диффузионной МРТ определять анизотропию коллагена не нашла подтверждения в работе Gray (23), проведенной на препаратах бычьего хряща – распределение значений диффузии не зависело от направления сбора данных, т.е. диффузия молекул воды происходила изотропно. Требуется дополнительное исследование для определения практической составляющей эффекта переноса намагниченности и диффузионной МРТ в диагностике ОА.

Заключение

Ключевым моментом лучевой диагностики у больных ОА остается выявление заболевания на начальной биохимической стадии до формирования грубых морфологических изменений, значительно усложняющих процесс лечения. Количественные методы оценки суставного хряща (измерение толщины и объема суставного хряща, T1ρ, T2, dGEMRIC и др.) существенно повысили эффективность МРТ в диагностике ОА. Каждый из методов характеризуется своим физическим принципом и мишенью в составе хрящевой ткани, что в совокупности позволяет выявить минимальные проявления заболевания (Таблица 1). Можно считать доказанной взаимосвязь вышеописанных МР-параметров с биохимической структурой хряща, нагрузками, экспрессией генов и белков, клиническими проявлениями и стадией ОА. Необходимы дальнейшие разработки в этой области для совершенствования и стандартизации количественных методов, определения клинических показаний с последующим внедрением в алгоритмы диагностики ОА.

Литература

1. Brandt K.D., Doherty M., Lohmander L.S. *Osteoarthritis*. New York. Oxford University Press Inc. – 1998.
2. Rogers J., Watt Dieppe P. A comparison of the visual and radiographic detection of bony changes at the knee joint. *BMJ*. – 1990. – Vol. 300. – P. 367–368.
3. Chan W.P., Lang P., Stevens M.P., Sack K., Majumdar S., Stoller D.W. et al. Osteoarthritis of the knee: comparison of radiography, CT, and MR imaging to assess extent and severity. *Ajr Am J Roentgenol*. – 1991. – Vol. 157, № 4. – P. 799–806.
4. Disler D.G., McCauley T.R., Kelman C.G., Fuchs M.D., Ratner L.M., Wirth C.R., Hospodar P.P. Fat-suppressed three-dimensional spoiled gradient-echo MR imaging of hyaline cartilage defects in the knee: comparison with standard MR imaging and arthroscopy. *Am J Roentgenol*. – 1996. – Vol. 167. – P. 127–132.
5. Potter H.G., Linklater J.M., Allen A.A., Hannafin J.A., Haas S.B. Magnetic resonance imaging of articular cartilage in the knee. An evaluation with use of fast spin-echo imaging. *J Bone Joint Surg Am*. – 1998. – Vol. 80. – P. 1276–1284.
6. Bachmann G.F., Basad E., Rauber K., Damian M.S., Rau W.S. Degenerative joint disease on MRI and physical activity: a clinical study of the knee joint in 320 patients. *Eur Radiol*. – 1999. – Vol. 9. – P. 145–152.
7. Blackburn W.D. Jr, Bernreuter W.K., Rominger M., Loose L.L. Arthroscopic evaluation of knee articular cartilage: a comparison with plain radiographs and magnetic resonance imaging. *J Rheumatol*. – 1994. – Vol. 21. – P. 675–679.
8. Drape J.L., Pessis E., Auleley G.R., Chevrot A., Dougados M., Ayrat X. Quantitative MR imaging evaluation of chondropathy in osteoarthritic knees. *Radiology*. – 1998. – Vol. 208. – P. 49–55.
9. Kawahara Y., Uetani M., Nakahara N., Doiguchi Y., Nishiguchi M., Futagawa S., Kinoshita Y., Hayashi K. Fast spin-echo MR of the articular cartilage in the osteoarthrotic knee. Correlation of MR and arthroscopic findings. *Acta Radiol*. – 1998. – Vol. 39. – P. 120–125.

И др. авторы.