



Использование цветового T2-картирования при МРТ-исследовании у детей с рецидивирующими вывихами надколенника в послеоперационном периоде

Андронников Е.А.¹, Алексеева Т.В.¹, Михалкина Н.Г.¹, Сяндюков А.Р.^{1,2}, Преображенская Е.В.¹

¹ ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, ул. Федора Гладкова, 33, Чебоксары, 428020, Чувашская Республика, Российская Федерация

² ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова», Московский пр-т, 45, Чебоксары, 428017, Чувашская Республика, Российская Федерация

Андронников Евгений Александрович, врач-рентгенолог, заведующий рентгеновским отделением ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-3151-4368>

Алексеева Татьяна Васильевна, врач-рентгенолог ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0002-1993-5290>

Михалкина Наталия Геннадьевна, врач-рентгенолог ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0001-7065-1480>

Сяндюков Айрат Рашитович, к.м.н., заведующий детским травматолого-ортопедическим отделением ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России, доцент кафедры травматологии, ортопедии и экстремальной медицины ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова»;
<http://orcid.org/0000-0001-8276-9216>

Преображенская Елена Васильевна, начальник научно-образовательного отдела ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России;
<http://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

Резюме

Актуальность. Нестабильность надколенника в детском и подростковом возрасте, возможно, связана с нарушением его трекинга, что зачастую приводит к развитию рецидивирующего вывиха и быстрому прогрессированию дегенеративно-дистрофических изменений хрящевой ткани. Стандартный протокол магнитно-резонансной томографии (МРТ) на начальных биохимических этапах трансформации хрящевого матрикса недостаточно эффективен для оценки формы надколенника, степени развития фасеток, состояния суставного хряща, целостности поддерживающих связок надколенника. Количественное время релаксации T2 при МР-картировании хряща – неинвазивный маркер хрящевой дегенерации, чувствительный к биохимическому составу и степени гидратации ткани. T2-картирование может дополнить исследование ввиду высокой диагностической значимости на ранних этапах развития артроза.

Цель: оценка состояния суставного хряща надколенника после стабилизирующего артроскопического оперативного вмешательства при рецидивирующем вывихе надколенника у детей с использованием МРТ с цветовым T2-картированием.

Материал и методы. В исследование включены 22 подростка 15–17 лет (13 юношей, 9 девушек) с привычным вывихом надколенника. Всем пациентам проведено стабилизирующее хирургическое лечение. До операции выполняли клинические тесты, рентгенографические исследования в трех проекциях, ультразвуковое исследование и компьютерную томографию коленных суставов. МРТ коленного сустава до хирургического вмешательства, на 3-и сутки и через 6 мес после операции дополняли цветовым картированием хрящевой ткани надколенника с вычислением времени T2-релаксации.

Результаты. Локальные участки в нагружаемых зонах хряща надколенника со средним временем T2-релаксации 35,5 мс до операции выявлены у всех пациентов. На 3-и сутки при корректном положении надколенника время T2-релаксации увеличилось до 37,8 мс, через 6 мес у 86,4% пациентов отмечено его снижение, в том числе в 73,7% случаев – до 28,6 мс в среднем.

Заключение. МРТ с цветовым T2-картированием позволяет оценить восстановление структуры хряща после стабилизирующего оперативного лечения. Замедление процессов хондродегенерации и регенеративный эффект отмечаются уже через 6 мес после операции.

Ключевые слова: магнитно-резонансное контрастирование; протонно-взвешенные изображения; надколенник; удерживатель надколенника; суставной хрящ; хондромалиция; магнитно-резонансное картирование; артроскопия.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Андронников Е.А., Алексеева Т.В., Михалкина Н.Г., Сяндюков А.Р., Преображенская Е.В. Использование цветового Т2-картирования при МРТ-исследовании у детей с рецидивирующими вывихами надколенника в послеоперационном периоде. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2024; 105(5): 238–244. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-238-244>

Для корреспонденции: Андронников Евгений Александрович, E-mail: andronnikovevgenij@mail.ru

Статья поступила 04.10.2024

После доработки 13.12.2024

Принята к печати 14.12.2024

The Use of Color T2 Mapping in MRI Examination of Children with Recurrent Patellar Dislocations in the Postoperative Period

**Evgeniy A. Andronnikov¹, Tatiana V. Alekseeva¹, Natalia G. Mikhalkina¹,
Ayrat R. Syundyukov^{1,2}, Elena V. Preobrazhenskaya¹**

¹ Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty,
ul. Fedora Gladkova, 33, Cheboksary, 428020, Chuvash Republic, Russian Federation

² Chuvash State University named after I.N. Ulyanov,
Moskovskiy prospekt, 45, Cheboksary, 428017, Chuvash Republic, Russian Federation

Evgeniy A. Andronnikov, Radiologist, Head of X-ray Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0002-3151-4368>

Tatiana V. Alekseeva, Radiologist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0002-1993-5290>

Natalia G. Mikhalkina, Radiologist, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0001-7065-1480>

Ayrat R. Syundyukov, Cand. Med. Sc., Head of Pediatric Traumatology and Orthopaedic Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty; Associate Professor, Chair of Traumatology, Orthopedics and Extreme Medicine, Chuvash State University named after I.N. Ulyanov;
<http://orcid.org/0000-0001-8276-9216>

Elena V. Preobrazhenskaya, Head of Scientific and Educational Department, Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty;
<http://orcid.org/0000-0003-3556-145X>

Abstract

Background. Patellar instability in childhood and adolescence may be associated with a violation of its tracking, which often leads to the development of recurrent dislocation and rapid progression of degenerative-dystrophic changes in cartilage tissue. The standard protocol of magnetic resonance imaging (MRI) at the initial biochemical stages of cartilage matrix transformation is not effective enough to assess the shape of the patella, the degree of facet development, the state of articular cartilage, and the integrity of the supporting ligaments of the patella. Quantitative relaxation time T2 during cartilage MR mapping is a noninvasive marker of cartilage degeneration, sensitive to biochemical composition and degree of tissue hydration. T2 mapping can complement the study due to its high diagnostic significance in the early stages of arthrosis development.

Objective: to assess the condition of patellar articular cartilage after stabilizing arthroscopic surgery for recurrent patellar dislocation in children using MRI with color T2 mapping.

Material and methods. The study included 22 adolescents aged 15–17 years (13 boys, 9 girls) with habitual patellar dislocation. All patients underwent stabilizing surgical treatment. Before the operation, clinical tests, X-ray examinations in three projections, ultrasound and computed tomography of knee joints were performed. Knee joint MRI before, on day 3 and 6 months after surgery was supplemented with color mapping of patellar cartilage tissue with calculation of T2 relaxation time.

Results. Local areas in the loaded areas of patellar cartilage with an average T2 relaxation time of 35.5 ms before surgery were detected in all patients. On day 3, with the correct position of the patella, the T2 relaxation time increased to 37.8 ms. After 6 months, 86.4% of patients showed a decrease, including in 73.7% of cases – up to 28.6 ms on average.

Conclusion. MRI with color T2 mapping makes it possible to assess the restoration of cartilage structure after stabilizing surgical treatment. A slowdown in the processes of chondro-degeneration and a regenerative effect are noted as early as 6 months after surgery.

Keywords: magnetic resonance contrast; proton-weighted images; patella; patellar retainer; articular cartilage; chondromalacia; magnetic resonance mapping; arthroscopy.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

For citation: Andronnikov EA, Alekseeva TV, Mikhalkina NG, Syundyukov AR, Preobrazhenskaya EV. The use of color T2 mapping in MRI examination of children with recurrent patellar dislocations in the postoperative period. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2024; 105(5): 238–244 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2024-105-5-238-244>

For corresponding: Evgeniy A. Andronnikov, E-mail: andronnikovevgenij@mail.ru

Received October 4, 2024

Revised December 13, 2024

Accepted December 14, 2024

Введение / Introduction

Привычный вывих надколенника является актуальной проблемой детской травматологии и ортопедии, наиболее часто наблюдаемой среди пациентов в возрасте 10–17 лет. Распространенность этого состояния – от 5 до 50 случаев на 100 тыс. населения в год [1, 2]. По другим данным, частота вывихов надколенника у детей составляет 29 случаев на 100 тыс. населения, что в 6 раз больше, чем во взрослом возрасте (5,8 случая на 100 тыс. населения) [3, 4].

Вывих надколенника (как первичный, так и повторный) ведет к повреждению хрящевого покрова. Рецидивирующий вывих надколенника, частота которого составляет 3–5% всех патологических состояний коленного сустава, – опасное нарушение, вызывающее тяжелые дисфункции нижних конечностей и требующее хирургического лечения [5].

Нестабильность надколенника в детском и подростковом возрасте, возможно, связана с нарушением его трекинга, которое является проявлением дисплазии. Нарушенный трекинг надколенника зачастую приводит к развитию рецидивирующего вывиха, при котором суставной хрящ все время находится под нагрузкой, что влечет за собой быстрое прогрессирование дегенеративно-дистрофических изменений хрящевой ткани. При этом неоказание своевременной и квалифицированной медицинской помощи ведет к хондромалиции, формированию пателлофemorальной артроза, который, в свою очередь, способствует развитию выраженного болевого синдрома, нарушению функции коленного сустава уже в детском возрасте [3]. Хондромалиция является одной из причин, вызывающих боли в переднем отделе коленного сустава, однако иногда она протекает и бессимптомно. Заболевание может быть вызвано рядом факторов: патологическое наклонное положение, подвывих надколенника, смещение и дисбаланс мышечно-сухожильных групп, тендиноз квадрицепса, патологическая медиапателлярная складка, травматизация жировой подушки [6].

Методом выбора лечения нестабильности надколенника является хирургическое вмешательство (известно более 150 оперативных методик), направленное на усиление медиального связочного аппарата надколенника. Сегодня все более широкое применение получают методы малоин-

вазивного лечения при рецидивирующих вывихах надколенника [7]. Малоинвазивная пластика медиальной пателлофemorальной связки (medial patellofemoral ligament, MPFL) с применением артроскопического релиза позволяет восстановить утраченную анатомическую структуру, стабилизирующую надколенник (MPFL), и одновременно осуществить дебридмент поврежденного хряща без больших кожных разрезов.

Распознать повреждение хряща на ранней стадии рентгенологическими методами невозможно. Магнитно-резонансная томография (МРТ) заняла основное место в ряду диагностических исследований, назначаемых пациентам с привычным вывихом надколенника и жалобами на боль в передних отделах коленного сустава. Она позволяет оценить форму надколенника, степень развития его фасеток, состояние суставного хряща, целостность поддерживающих связок надколенника.

Стандартное МР-обследование коленного сустава с акцентом на суставной хрящ включает получение T2- и протонно-взвешенных (PD) изображений с использованием программ жироподавления, а также T1-взвешенные градиентные последовательности в сагиттальной, корональной и (обязательно) аксиальной плоскостях. Применение такого протокола обследования оказывается недостаточно эффективным, особенно на начальных биохимических этапах трансформации хрящевого матрикса.

Основными методиками, позволяющими проводить оценку состояния хрящевой ткани на этапе изменения структуры и концентрации коллагена, протеогликанов и межклеточной жидкости, являются МР-картирование суставного хряща T2, T1 (T1rho), количественное измерение его толщины, а также отсроченное МР-контрастирование суставного хряща препаратами гадолиния (delayed gadolinium-enhanced MR imaging of cartilage, dGERMIC) [8].

Количественное время релаксации T2 служит неинвазивным маркером хрящевой дегенерации, не требующим введения контрастирующих веществ и чувствительным к биохимическому составу и степени гидратации ткани [2, 9–11]. Имобилизация водных протонов в хрящевой ткани с помощью матрикса «коллаген – протеогликан» способствует затуханию T2, в то время как подвижные водные протоны синовиальной жидкости

сохраняют высокий сигнал T2. Потеря коллагена и протеогликанов при дегенерации хряща увеличивает подвижность молекул воды, тем самым повышая интенсивность сигнала на T2-взвешенных изображениях. Таким образом, время релаксации T2 – это параметр, характеризующий гидрофильность ткани суставного хряща и анизотропию распределения коллагена [8].

T2-картирование суставного хряща, незначительно увеличивая время исследования, может дополнить стандартный объем импульсных последовательностей ввиду высокой диагностической значимости на ранних этапах развития артроза.

Цель – оценка состояния суставного хряща надколенника после стабилизирующего артроскопического оперативного вмешательства при рецидивирующем вывихе надколенника у детей с использованием МРТ с цветовым T2-картированием.

Материал и методы / Material and methods

Проспективное сплошное одноцентровое исследование проведено в условиях ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Минздрава России (г. Чебоксары) на основании клинических данных пациентов детского травматолого-ортопедического отделения в медицинской информационной системе.

В группу исследования включены 22 подростка в возрасте 15–17 лет (13 юношей и 9 девушек) с привычным вывихом надколенника. Всем пациентам проведено хирургическое вмешательство в объеме артроскопического латерального релиза и пластики медиального удерживателя надколенника. В 7 случаях дополнительно осуществлялась медиализация бугристости большеберцовой кости.

Всем пациентам выполняли пластику MPFL трансплантатом из сухожилия полусухожильной мышцы. Обязательным условием являлось проведение артроскопического латерального релиза, который позволяет снизить нагрузку на хрящ надколенника. В ряде случаев было необходимо медиализировать собственную связку надколенника, чтобы восстановить биомеханику его движения.

В рамках дооперационного обследования всем пациентам проводили клинические тесты, рентгенографические исследования в трех проекциях (прямой, боковой и аксиальной в положении сгибания в коленном суставе под углом 45°), ультразвуковое исследование и компьютерную томографию коленных суставов.

МРТ коленного сустава до операции, на 3-и сутки после нее и через 6 мес выполняли на аппарате Magnetom Aera 1.5T (Siemens, Германия) в стандартных режимах (T2 TSE, PD TSE, PD TSE FS, T1 TSE – в трех плоскостях). Участникам исследования не разрешалось выполнять упражнения высокой интенсивности, связанные с коленным суставом, за

24 ч до обследования. Пациенты находились в положении лежа, центр спирали располагался на одной линии с нижним краем надколенника. Длинная ось коленного сустава была параллельна длинной оси таблицы сканирования, чтобы свести к минимуму влияние эффекта magic angle.

Целью проведения МРТ-исследования на 3-и сутки после операции являлась оценка корректности проведения натяжения и изометрии трансплантата MPFL. Для более глубокого изучения процессов хондродегенерации надколенника МРТ была дополнена цветовым картированием хрящевой ткани с вычислением времени T2-релаксации.

В дооперационном периоде выявляли локальные участки в нагружаемых зонах суставного хряща надколенника. Оценивали дислокацию надколенника, повреждение его связочного аппарата, признаки пателлофemorального импинджмента, дегенерацию суставного хряща надколенника. Затем картировали пателлофemorальное сочленение с составлением цветной T2-карты суставного хряща. Для этого зоны интереса (region of interest, ROI) были выставлены через равные промежутки на аксиальном срезе надколенника с ориентированием на выявленные нагружаемые проблемные зоны. В качестве контрольных значений использованы ROI ненагружаемых (интактных) участков. Далее проводили количественную оценку результатов картирования в проблемных зонах хряща.

Полученные данные регистрировали в виде электронных таблиц, визуализацию структуры данных и их анализ выполняли в MS Office Excel 2007 (Microsoft, США) и в программе Graf Pad. Для описания количественных показателей осуществляли проверку на нормальность распределения по критерию Колмогорова–Смирнова. При нормальном распределении для описания признака использовали его среднее значение и среднеквадратичное отклонение (CO), а при распределении, отличающемся от нормального, – медиану и верхний и нижний квартили (Me (Q1–Q3)). В обоих случаях применяли 95% доверительный интервал (ДИ). Значимость различий при нормальном распределении оценивали по t-критерию Стьюдента, а при его отсутствии – по непараметрическому критерию Манна–Уитни. Категориальные данные описывали условными кодами неизмеряемых категорий, не подлежащих упорядочиванию.

Результаты / Results

В дооперационном периоде у всех пациентов выявлены локальные участки в нагружаемых зонах суставного хряща надколенника (рис. 1) с увеличенным временем T2-релаксации: среднее значение 35,5 мс (CO 1,1; 95% ДИ 35,5–36,5).

На 3-и сутки (в раннем послеоперационном периоде) установлена корректность натяжения

трансплантата, точки его проведения определены верно, надколенник находился строго над межмыщелковой бороздой. Отмечено увеличение среднего времени T2-релаксации до 37,8 мс (СО 2,1; 95% ДИ 37,0–39,0).

Через 6 мес после операции время T2-релаксации у 3 (13,6%) пациентов не изменилось, у 19 (86,4%) определялось снижение времени T2-релаксации, в том числе у 14 (73,7%) оно варьировалось в пределах 27–30 мс и составило в среднем 28,6 мс (СО 1,1; 95% ДИ 28,4–29,6), у 5 (26,3%) – от 31 до 32 мс, в среднем 31,4 мс (СО 0,5; 95% ДИ 30,3–31,7). Пример представлен на рисунке 2.

Обсуждение / Discussion

Целью всех хирургических вмешательств являлась реставрация трекинга надколенника. При восстановлении его физиологической биомеханики обеспечивается равномерная нагрузка на фасетки надколенника и мыщелки бедра, снижается гиперпрессия, что положительно влияет на регенерацию хрящевой ткани.

В работе K. Małeck et al. (2023 г.) акцентируется внимание на том, что любая нестабильность надколенника, связанное с этим хирургическое лечение и потенциальная ротационная нестабильность в феморотибиальном суставе могут ускорить общую дегенерацию суставного хряща, и не только в пателлофеморальном суставе [12].

МРТ коленного сустава рекомендуется всем пациентам с подозрением на вывих надколенника для выявления повреждения MPFL, нарушения хряща на надколеннике и наружном мыщелке бедренной кости, дисфункцию внутренней головки четырехглавой мышцы бедра [13].

Диагностические возможности артроскопии превосходят возможности МРТ в выявлении и стадировании повреждений суставного хряща при остеоартрозе, хондромалиции надколенника, остеохондральных повреждениях. МРТ позволяет определить диффузное и локальное истончение суставного хряща (в том числе с формированием кратера и реактивным отеком субхондральной кости), но часто пропускает I стадию хондромалиции (размягчение хряща), хорошо выявляемую артроскопически. В ряде исследований показано, что при оценке суставного хряща для МРТ характерна высокая частота ложноположительных результатов, связанных с вариантами нормального строения хряща и распространенностью слабовыраженных артефактов, принимаемых за повреждения. Поэтому все большую актуальность приобретает использование цветового МР-картирования суставного хряща [14].

T.C. Mamisch et al. (2010 г.) продемонстрировали, что цветовое картирование хрящевой ткани с вычислением времени T2-релаксации способствует раннему выявлению дегенерации хряща,



Рис. 1. Цветовое T2-картирование хряща надколенника до оперативного вмешательства. Время T2-релаксации для зоны локальных изменений хряща составляет 36 мс

Fig. 1. Color T2 mapping of patellar cartilage before surgery. The T2 relaxation time for the zone of local cartilage changes is 36 ms

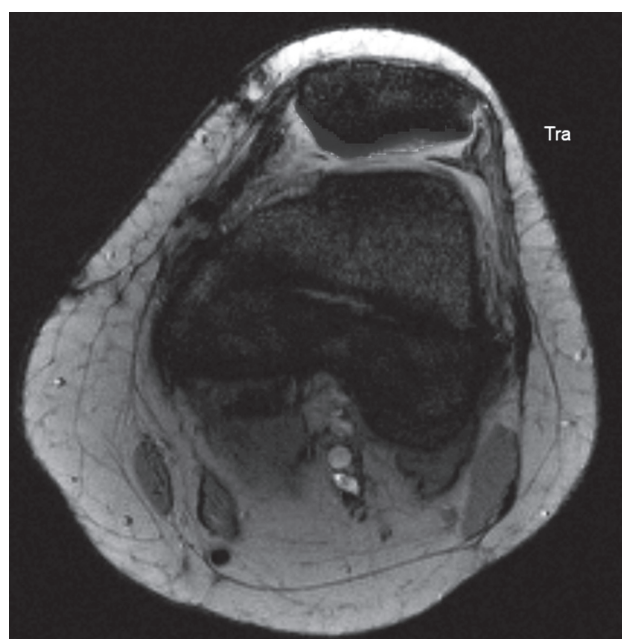


Рис. 2. Цветовое T2-картирование хряща надколенника через 6 мес после оперативного вмешательства. Время T2-релаксации аналогичной зоны хряща составляет 27 мс

Fig. 2. Color T2 mapping of patellar cartilage 6 months after surgery. The T2 relaxation time for the zone of local cartilage changes is 27 ms

позволяет эффективно отслеживать прогрессирование заболевания и дает возможность оценить результативность лечения остеоартритов [9, 11, 15].

К сожалению, этот метод применяется в клинической практике не так часто, и работ по этой теме в научной литературе не так много. K. Małecki et al. (2023 г.) в исследовании толщины суставного хряща надколенника с помощью МР-картирования у 33 пациентов (20 девочек, 13 мальчиков, 39 коленных суставов) в сравнении с 20 здоровыми лицами в возрасте 20–30 лет получили данные, позволившие точно оценить тяжесть дегенеративных изменений через 10 лет после реконструкции большой приводящей мышцы MPFL [12]. В нашем случае использование данного метода позволило выявить степень дегенерации суставного хряща надколенника у пациентов с рецидивирующим вывихом надколенника до операции и оценить динамику его состояния на этапе наблюдения неинвазивным, в отличие от артроскопии, путем.

Как известно, время T2-релаксации для неизмененного хряща составляет 27–30 мс, тогда как при нарушениях биохимического состава суставного хряща этот показатель увеличивается [9, 16]. Полученные нами данные на дооперационном этапе (время T2-релаксации 34–37 мс) демонстрируют наличие дегенеративно-дистрофических процессов в суставном хряще надколенника у всех исследуемых пациентов. Увеличение времени T2-релаксации до 35–41 мс на 3-и сутки после операции расценено нами как реактивные послеоперационные изменения хряща. Стабилизация показателя у 13,6% пациентов и его снижение у 86,4% через 6 мес после операции свидетель-

ствуют о преобладании регенеративных процессов над дегенеративными, то есть об успешном восстановлении биохимической структуры хрящевой ткани надколенника [17].

Необходимо отметить, что проведенное хирургическое лечение позволило устранить гиперпрессию и восстановить трекинг надколенника, а цветное T2-картирование при МРТ-исследовании дало возможность оценить восстановление хряща даже на малом сроке наблюдения – 6 мес. Улучшение биохимического состава хряща надколенника через полгода после операции у более чем 86% пациентов можно считать хорошим результатом.

Ограничениями исследования являлись небольшая выборка, отсутствие оценки хряща на обычных МРТ-изображениях, отсутствие хирургической и гистологической корреляции и малый срок наблюдения после хирургического лечения.

Заключение / Conclusion

МРТ с цветовым T2-картированием не только позволила нам оценить адекватность проведенного хирургического вмешательства, но и доказала, что данный метод исследования является рациональным высокочувствительным неинвазивным способом диагностики ранних дегенеративных процессов в гиалиновом хряще при привычном вывихе надколенника. С помощью этого метода можно провести оценку восстановления структуры хряща после артроскопической реконструкции медиального удерживателя надколенника. Замедление процессов хондродегенерации и регенеративный эффект отмечаются уже через 6 мес после операции.

Литература

1. Lee DY, Park YJ, Song SY, et al. Which technique is better for treating patellar dislocation? A systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2018; 34(11): 3082–93.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.06.052>.
2. Alsayyad MAI, Ali Shehata KA, Khattab RT. Role of adding T2 mapping sequence to the routine MR imaging protocol in the assessment of articular knee cartilage in osteoarthritis. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2021; 52: 78. <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00453-w>.
3. Саутенко А.А., Ельцин А.Г., Мининков Д.С. и др. Нестабильность надколенника у детей: результаты оперативного лечения. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2018; 3–4: 58–64. <https://doi.org/10.17116/vto201803-04158>.
4. Саутенко А.А., Огарёв Е.В., Меркулов В.Н. и др. Современные методы лучевой диагностики нестабильности надколенника у детей. Выбор способа лечения. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2018; 6(2): 29–36. <https://doi.org/10.17816/PTORS6229-36>.
5. Клименко И.Г. Диспластический рецидивирующий вывих надколенника (синдром нарушения равновесия). *Acta Biomedica Scientifica*. 2013; 5: 29–32.
6. Акильжанов К.Р., Жанаспаев М.А. Диагностика ортопедической патологии пателлофemorального сустава. *Обзор литературы. Наука и здравоохранение*. 2018; 20(5): 31–41.
7. Карасева Т.Ю., Карасев Е.А. Результат артроскопически асстилируемого лечения больной с наружным вывихом надколенника. *Гений ортопедии*. 2011; 4: 128–32.
8. Трофимова А.С., Трофимов Е.А., Кахели М.А. Лучевая диагностика остеоартроза. *Лучевая диагностика и терапия*. 2016; 3: 25–32. <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2016-3-25-32>.
9. Мазуров В.И., Трофимова А.С. Применение методики цветового картирования хрящевой ткани для оценки эффективности терапии остеоартрита. *Вестник Новгородского государственного университета*. 2016; 6: 44–8.
10. Беляева И.Б., Мазуров В.И., Трофимов Е.А., Трофимова А.С. Вопросы ранней диагностики и лечения остеоартрита, развившегося у больных ревматоидным артритом. *Эффективная фармакотерапия*. 2018; 33: 64–9.
11. Zhao H, Li H, Liang S, et al. T2 mapping for knee cartilage

- degeneration in young patients with mild symptoms. *BMC Med Imaging*. 2022; 22(1): 72. <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00799-1>.
12. Matecki K, Niedzielski K, Korczyk-Stepnicka A, et al. A clinical, radiological and isokinetic evaluation in patients with recurrent patellar dislocation undergoing MPFL reconstruction according to Avikainen: a prospective study evaluating early degenerative changes after a minimum 10-year follow-up period. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023; 24(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06249-5>.
 13. Вывих надколенника. Клинические рекомендации (утв. Минздравом России 25.08.2021). Ассоциация травматологов-ортопедов России, 2021. URL: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/657_1 (дата обращения 09.09.2024).
 14. Морозов С.П., Терновой С.К., Гордниченко А.И. и др. Магнитно-резонансная томография в диагностике повреждений и заболеваний коленного сустава. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2008; 2: 58–62.
 15. Mamisch TC, Trattng S, Quirbach S, et al. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading – initial results. *Radiology*. 2010; 254(3): 818–26. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090335>.
 16. Пирназаров М.М., Садиков А.А., Турсункулов И.А. и др. Результаты МРТ-исследования степени дистрофических повреждений хрящевой ткани коленного сустава у спортсменов. *Life Sciences and Agriculture*. 2021; 3: 1–6.
 17. Богомякова О.Б., Тавлуй М.А., Савелов А.А. МР-методика Т2-картирования в оценке степени активности процесса при воспалительных миопатиях. *Комплексные проблемы сердечно-сосудистых заболеваний*. 2020; 9(3): 21–9. <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-3-21-29>.

References

1. Lee DY, Park YJ, Song SY, et al. Which technique is better for treating patellar dislocation? A systematic review and meta-analysis. *Arthroscopy*. 2018; 34(11): 3082–93.e1. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2018.06.052>.
2. Alsayyad MAI, Ali Shehata KA, Khattab RT. Role of adding T2 mapping sequence to the routine MR imaging protocol in the assessment of articular knee cartilage in osteoarthritis. *Egypt J Radiol Nucl Med*. 2021; 52: 78. <https://doi.org/10.1186/s43055-021-00453-w>.
3. Sautenko AA, El'tsin AG, Mininkov DS, et al. Patella instability in children: surgical treatment results. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2018; 3–4: 58–64 (in Russ). <https://doi.org/10.17116/vto201803-04158>.
4. Sautenko AA, Ogarev EV, El'tsin AG, et al. Current methods of patellar instability imaging in children. Selection of the best treatment approach. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2018; 6(2): 29–36 (in Russ). <https://doi.org/10.17816/PTORS6229-36>.
5. Klimenko IG. Dysplastic consecutive patella dislocation (syndrome of patella disequilibrium). *Acta Biomedica Scientifica* 2013; 5: 29–32 (in Russ).
6. Akilzhanov KR, Zhanaspaev MA. Diagnostics of orthopedic pathology of patellofemoral joint. Literature review. *Science & Healthcare*. 2018; 20(5): 31–41 (in Russ).
7. Karaseva TYu, Karasev EA. A result of arthroscopically assisted treatment of a female patient with an outer dislocation of the patella. *Orthopaedic Genius*. 2011; 4: 128–32 (in Russ).
8. Trofimova AS, Trofimov EA, Kakheli MA. Radiologic diagnostics of osteoarthritis. *Diagnostic Radiology and Radiotherapy*. 2016; 3: 25–32 (in Russ). <https://doi.org/10.22328/2079-5343-2016-3-25-32>.
9. Mazurov VI, Trofimova AS. Using the color mapping of cartilage to assess the effectiveness of osteoarthritis treatment. *Vestnik NOVUSU*. 2016; 6: 44–8 (in Russ).
10. Belyayeva IB, Mazurov VI, Trofimov YeA, Trofimova AS. Problems of early diagnosis and treatment of osteoarthritis, developed in patients with rheumatoid arthritis. *Effective Pharmacotherapy*. 2018; 33: 64–9 (in Russ).
11. Zhao H, Li H, Liang S, et al. T2 mapping for knee cartilage degeneration in young patients with mild symptoms. *BMC Med Imaging*. 2022; 22(1): 72. <https://doi.org/10.1186/s12880-022-00799-1>.
12. Matecki K, Niedzielski K, Korczyk-Stepnicka A, et al. A clinical, radiological and isokinetic evaluation in patients with recurrent patellar dislocation undergoing MPFL reconstruction according to Avikainen: a prospective study evaluating early degenerative changes after a minimum 10-year follow-up period. *BMC Musculoskelet Disord*. 2023; 24(1): 147. <https://doi.org/10.1186/s12891-023-06249-5>.
13. Patellar dislocation. Clinical guidelines (approved by the Ministry of Health of Russia on August 25, 2021). Association of Orthopaedists and Traumatologists of Russia, 2021. Available at: https://cr.minzdrav.gov.ru/schema/657_1 (in Russ) (accessed 09.09.2024).
14. Morozov SP, Ternovoy SK, Gorodnichenko AI, et al. Magnitono-resonance tomography in the diagnostics of traumas and pathologies in the knee joint. *Kremlin Medicine Journal*. 2008; 2: 58–62 (in Russ).
15. Mamisch TC, Trattng S, Quirbach S, et al. Quantitative T2 mapping of knee cartilage: differentiation of healthy control cartilage and cartilage repair tissue in the knee with unloading – initial results. *Radiology*. 2010; 254(3): 818–26. <https://doi.org/10.1148/radiol.09090335>.
16. Pirnazarov MM, Sadikov AA, Tursunkulov IA, et al. The results of an MRI examination of the degree of dystrophic damage to the cartilaginous tissue of the knee joint in athletes. *Life Sciences and Agriculture*. 2021; 3: 1–6 (in Russ).
17. Bogomyakova OB, Tavlu MA, Savelov AA. Experience of application of T2-mapping MRI assessment of inflammatory myopathies. *Complex Issues of Cardiovascular Diseases*. 2020; 9(3): 21–9 (in Russ). <https://doi.org/10.17802/2306-1278-2020-9-3-21-29>.