



Современные аспекты лучевой диагностики субхондрального перелома недостаточности коленного сустава

Иванков А. П.^{1, 2}, Селиверстов П. В.²

¹ ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 1»,
ул. Байкальская, 118, Иркутск, 664046, Российская Федерация

² ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»,
ул. Борцов Революции, 1, Иркутск, 664003, Российская Федерация

Иванков Александр Петрович, врач-рентгенолог ОГБУЗ «Иркутская городская клиническая больница № 1»,
мл. науч. сотр. ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»;
<https://orcid.org/0000-0002-2383-6359>

Селиверстов Павел Владимирович, д. м. н., вед. науч. сотр., заведующий лабораторией лучевой диагностики научно-клинического
отдела нейрохирургии ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии»;
<https://orcid.org/0000-0002-4050-9157>

Резюме

Субхондральный стресс-перелом недостаточности коленного сустава – это новый вид перелома, возникающий у лиц старшей возрастной категории (от 50–55 лет) при воздействии обычной нагрузки на ослабленные костные трабекулы. В отечественных источниках крайне мало информации о таком стрессовом переломе. Это связано, прежде всего, с тем, что первоначально мировое и отечественное медицинские сообщества обозначали данный тип патологии как «спонтанный остеонекроз коленного сустава» (spontaneous osteonecrosis of the knee). В последние годы за рубежом этот термин был пересмотрен и заменен на более подходящий – «субхондральный перелом недостаточности» (subchondral insufficiency fracture). В основе этиологии перелома недостаточности лежат многие заболевания и состояния, приводящие к ослаблению костной ткани (остеопороз, коллагенозы, ревматоидный артрит, постлучевые изменения костей и др.). Основным методом диагностики данного типа перелома является магнитно-резонансная томография, так как только она способна выявлять перелом на любой его стадии (особенно на ранней). Согласно современным представлениям понятия «остеонекроз» и «субхондральный перелом недостаточности» требуют совершенно разных подходов к лечению. При наличии осложнений перелом недостаточности мыщелков коленного сустава грозит субхондральным коллапсом и вторичным остеоартрозом, что приводит к инвалидизации больного. Учитывая актуальность медицинской проблемы, цель настоящего обзора – показать современное состояние литературных данных по этому вопросу.

Ключевые слова: субхондральный перелом недостаточности; остеонекроз; коленный сустав; стрессовые переломы; магнитно-резонансная томография; обзор.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Для цитирования: Иванков А. П., Селиверстов П. В. Современные аспекты лучевой диагностики субхондрального перелома недостаточности коленного сустава. *Вестник рентгенологии и радиологии*. 2022; 103(1–3): 83–91. <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-83-91>

Для корреспонденции: Иванков Александр Петрович, E-mail: ivankovap16@gmail.com

Статья поступила 20.01.2022

После доработки 30.05.2022

Принята к печати 31.05.2022

Current Radiological Aspects of Subchondral Insufficiency Fracture of the Knee

Aleksandr P. Ivankov^{1, 2}, Pavel V. Seliverstov²

¹ Irkutsk City Clinical Hospital No. 1,
ul. Baykal'skaya, 118, Irkutsk, 664046, Russian Federation

² Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology,
ul. Bortsov Revolyutsii, 1, Irkutsk, 664003, Russian Federation

Aleksandr P. Ivankov, Radiologist, Irkutsk City Clinical Hospital No. 1; Junior Researcher, Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology;
<https://orcid.org/0000-0002-2383-6359>

Pavel V. Seliverstov, Dr. Med. Sc., Leading Researcher, Head of Laboratory of Radiation Diagnostics, Scientific and Clinical Department of Neurosurgery, Irkutsk Scientific Center of Surgery and Traumatology;
<https://orcid.org/0000-0002-4050-9157>

Abstract

Subchondral stress insufficiency fracture of the knee is a new type of fracture that occurs in people of the older age group (from 50–55 years old) when exposed to a normal load on weakened bone trabeculae. In Russian sources, there is few information about this type of fracture. This is primarily due to the fact that initially the world and domestic medical communities designated this type of pathology as “spontaneous osteonecrosis of the knee”. In recent years, this term has been revised abroad and replaced by a more suitable one – “subchondral insufficiency fracture”. The etiology of insufficiency fracture is based on many diseases and conditions that lead to bone tissue weakening (osteoporosis, collagenosis, rheumatoid arthritis, post-radiation changes in bones, etc.). The main method for diagnosing this type of fracture is magnetic resonance imaging, since it is able to detect a fracture at any stage (especially at an early one). According to modern concepts, the terms “osteonecrosis” and “subchondral insufficiency fracture” require completely different approaches to the treatment. In the presence of complications, a fracture of insufficiency of the knee joint condyles threatens with subchondral collapse and secondary osteoarthritis, which leads to disability of a patient. Given the relevance of this medical problem, the aim of the review is to show the current state of literature data on the issue.

Keywords: subchondral insufficiency fracture; osteonecrosis; knee joint; stress fractures; magnetic resonance imaging; review.

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

For citation: Ivankov AP, Seliverstov PV. Current radiological aspects of subchondral insufficiency fracture of the knee. *Journal of Radiology and Nuclear Medicine*. 2022; 103(1–3): 83–91 (in Russian). <https://doi.org/10.20862/0042-4676-2022-103-1-3-83-91>

For corresponding: Aleksandr P. Ivankov, E-mail: ivankovap16@gmail.com

Received January 20, 2022

Revised May 30, 2022

Accepted May 31, 2022

Введение

Субхондральный стресс-перелом недостаточности коленного сустава (subchondral insufficiency fracture of the knee) – это новый тип стрессового перелома, связанный с обычной нагрузкой на сустав, но в изначально ослабленных в силу разных причин трабекулах в субхондральном отделе мыщелков [1–4]. Ранее это заболевание ошибочно называли «спонтанным остеонекрозом» (spontaneous osteonecrosis of the knee), оно ассоциировалось в основном с пожилыми женщинами, имеющими остеопороз в анамнезе [2, 3].

Впервые остеонекроз описал норвежский врач С. Альбек в 1968 г. Однако он сводил данную болезнь только к женщинам старшей возрастной группы (старше 60 лет). В 1976 г. G. d'Angelijan et al. сообщали о более редком виде остеонекроза медиального мыщелка большеберцовой кости. Впервые классифицировать спонтанный остеонекроз на основании рентгенограмм и клинических данных удалось Т. Koshino в 1979 г. В 1980-х гг. последующие классификации Ficat, Arlet оказались более удобными, но они касались только головки бедренной кости. В 2000-х гг. мировое радиологическое сообщество заговорило о субхондральных

переломах недостаточности и стало совершенно ясно, что перелом недостаточности и спонтанный остеонекроз – это фактически одно и то же, но термин «спонтанный остеонекроз» ошибочен [2].

С момента признания того, что субхондральный перелом недостаточности в тазобедренном суставе не связан с некрозом заболевания, проводились дальнейшие исследования для оценки истинной природы остеонекроза в связи с переломом недостаточности. Хотя мелкие фокусы некроза наблюдались между зоной перелома и хрящом, это не было проявлением истинного остеонекроза как самостоятельного заболевания в тазобедренном и коленном суставах. Исследования группы ученых во главе с Т. Yamamoto в 2000-е гг. уточнили и доказали первопричину остеонекроза, которой явился перелом недостаточности [5, 6].

На современном этапе, учитывая накопленную доказательную базу, Общество скелетной радиологии и Комитет по номенклатуре неопухолевых поражений субхондральной кости приняли решение, что при данной патологии правильнее использовать термин «субхондральный перелом недостаточности коленного сустава» [7]. Важно отметить, что все же основная часть литературы посвящена

«спонтанному остеонекрозу», однако не следует воспринимать этот термин как полностью соответствующий современному понятию «субхондральный перелом недостаточности», так как данный диагноз требует дальнейших исследований.

Анатомо-гистологические особенности субхондрального отдела кости

Согласно S. Lee et al. [3] для более углубленного понимания патогенеза и лучевой картины заболевания следует рассмотреть анатомию и функцию нагружаемых субхондральных отделов эпифизов и суставного хряща коленного сустава. Анатомия субхондрального отдела кости – это комплекс различных слоев, выполняющих функцию прочности и удерживания хрящевого покрытия. Данный комплекс состоит из двух минерализованных слоев, которые отделяют хрящ от подлежащего костного мозга. Первый слой – кальцифицированный хрящ, он более плотный и образует кортикальный слой кости, видимый на рентгенограммах, компьютерных и магнитно-резонансных томограммах (МРТ). Между кальцифицированным и гиалиновым хрящами также имеется тонкий гладкий слой, называемый «меткой отлива» (tidemark) и образующий вместе с двумя вышеуказанными слоями трехпластинчатый объемный комплекс [3].

Считается, что именно tidemark-слой хряща является очень важной биомеханической структурой и вместе с гиалиновым хрящом играет основную роль в прочности субхондральной кости в целом. Между tidemark-слоем и субхондральным костным мозгом, в кальцифицированном хрящевом слое, находятся хрящевые пластинчатые структуры, ориентированные под прямым углом к хрящу опорных отделов кости. Данные пластинчатые кальцифицированные структуры, чередуясь с костными трабекулами, образуют прочную и устойчивую систему (рис. 1).

Важно, что нет продолжающихся коллагеновых волокон вглубь данного трехпластинчатого трехмерного комплекса субхондральной кости, которые бы ослабляли субхондральный костный комплекс [3].

Хрящ также играет существенную роль в равномерном плоскостном распределении нагрузки на субхондральную кость, поэтому считается, что сохраненный хрящ и другие амортизирующие структуры (в коленном суставе – мениски) имеют большое значение в нормальном функционировании субхондральной кости. В свою очередь, и субхондральная кость очень важна для обеспечения поддержки покрывающего эпифиз хряща. В целом обе опорные хрящевые поверхности и субхондральная кость эпифизов сустава участвуют в акте динамического рассеивания нагрузки. Таким образом, можно считать, что, например, остеоартроз является не только лишь заболеванием «хрящевого покрытия», но также заболеванием субхондральной кости, а правильнее сказать – заболеванием всего комплекса (хрящ + субхондральная кость) [3].

Было установлено, что суставная конгруэнтность определяет толщину хряща двух контактирующих суставных поверхностей. В суставах с высокой конгруэнтностью суставных поверхностей хрящ тонкий, с невысокой – более толстый. Для примера сравним толщину хряща голеностопного сустава с высокой конгруэнтностью суставных поверхностей и хряща коленного сустава с довольно низкой конгруэнтностью. Толщина хрящевого покрытия в голеностопном суставе – около 1,2 мм (от 1 до 1,6 мм). Хрящ суставных поверхностей в коленном суставе в два раза толще – в среднем 2,2 мм (от 1,7 до 2,6 мм). Суставы с высокой конгруэнтностью поверхностей имеют большую площадь контактируемых поверхностей для нормального рассеивания нагрузки – соответственно,

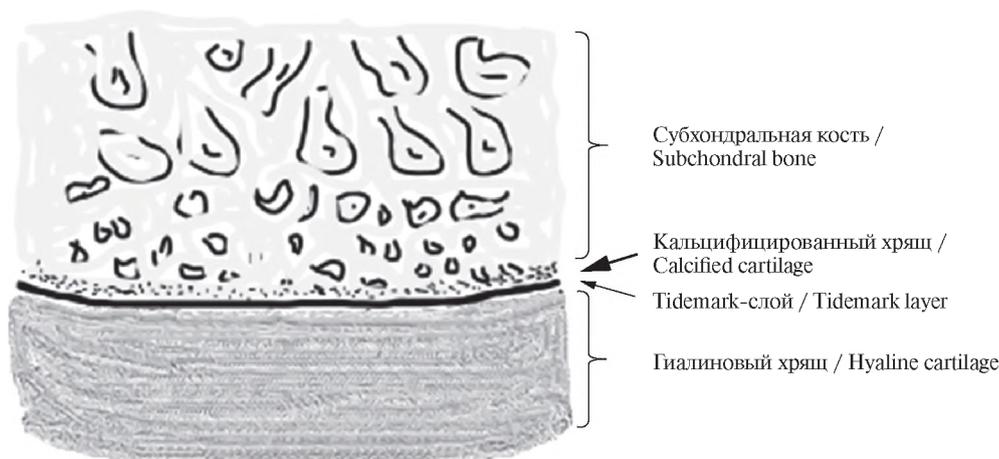


Рис. 1. Схематическое изображение строения слоев в зоне «хрящ – субхондральная кость»

Fig. 1. Schematic image of the layers in the cartilage-subchondral bone zone

у них нет необходимости в толстом хряще. Суставы с низкой конгруэнтностью нуждаются в более толстом хряще, который способен легко деформироваться для обеспечения большей площади контакта, что ведет к уменьшению и правильному распределению нагрузки на опорную зону сустава.

Данное научное обоснование подтверждает положение, что остеоартроз может играть важную роль в патофизиологии перелома недостаточности коленного сустава. Дегенерация и/или разрывы менисков, хондромалация опорных поверхностей сустава ведут к нарушению биомеханического распределения нагрузки на суставные поверхности, что неизбежно сказывается на повышении контактного давления на субхондральную кость суставной поверхности [3].

Лучевая семиотика субхондрального перелома недостаточности

В коленном суставе наиболее частая зона поражения при переломе недостаточности – медиальный мыщелок бедренной кости. Реже вовлечены латеральный мыщелок бедренной кости и плато большеберцовой кости [2, 3]. Z.V. Hussain et al. обнаружили корреляцию переломов недостаточности в коленном суставе с разрывами менисков, особенно в области корня заднего рога медиального мениска [8]. Также субхондральные переломы недостаточности были тесно связаны с предшествующими менискэктомией

и другими артроскопическими вмешательствами (радиочастотная терапия, реконструкция передней крестообразной связки) [2, 3]. Клинически пациенты обычно описывают внезапно возникшую непроходящую боль, которая постепенно уменьшается или может сохраняться [2, 3, 7]. У части больных по данным остеоденситометрии наблюдаются нарушения минеральной костной плотности – остеопороз/остеопения [1, 4, 5].

Первоначально выполненные рентгенограммы при переломах недостаточности коленного сустава обычно не демонстрируют характерных для перелома патологических изменений (рис. 2), но контрольные рентгенограммы иногда могут продемонстрировать зону субхондрального просветления (что соответствует линии перелома) или стадию осложнений в виде коллапса субхондральной кости с фокусами просветления (рис. 3) [4].

В отличие от рентгенографии, МРТ позволяет успешно диагностировать данный вид стресс-перелома на всех стадиях (в том числе на ранней), поэтому именно МРТ – метод выбора в визуализации субхондрального перелома недостаточности коленного сустава [2].

Субхондральный перелом недостаточности – одна из причин субхондрального отека (правильнее сказать, поражения) костного мозга пораженного мыщелка сустава, визуализируемого только при МРТ [2, 3].

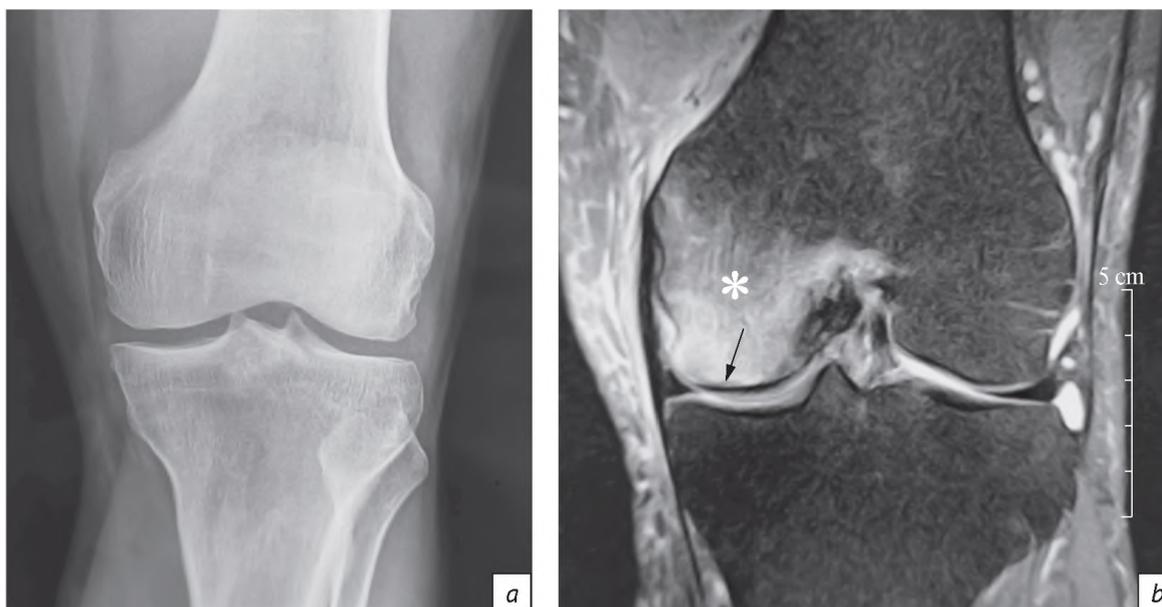


Рис. 2. Рентгенограмма (а) и магнитно-резонансная (МР) томограмма (b) коленного сустава (корональная проекция) одного и того же пациента. На рентгенограмме нет характерных признаков перелома, на МР-томограмме (PD-FS) звездочкой указан отек (поражение) костного мозга мыщелка, стрелкой – тонкая, едва заметная линия перелома

Fig. 2. Knee radiograph (a) and magnetic resonance image (MRI) scan (b) (coronal projection) of the same patient. On the radiograph there are no characteristic signs of a fracture; on MRI scan (PD-FS) the asterisk indicates the edema (lesion) of the condyle bone marrow, the arrow shows a thin, barely noticeable fracture line



Рис. 3. Рентгенограмма больного с субхондральным переломом недостаточности в стадии осложнений. Стрелкой указана зона деформации суставной поверхности в результате вторичного остеонекроза, который привел к субхондральному коллапсу

Fig. 3. Radiograph of a patient with subchondral insufficiency fracture in the stage of complications. The arrow indicates the zone of deformation of the articular surface as a result of secondary osteonecrosis, which led to subchondral collapse

МРТ-семиотика при переломе недостаточности кроме зоны отека (поражения) костного мозга мыщелка также включает и непосредственно линию низкого сигнала на T1- и T2-взвешенных изображениях (ВИ) или изображениях, полученных в режиме протонной плотности (proton density, PD) с жироподавлением (fat suppression, FS), в субхондральных отделах кости, что соответствует линии перелома (рис. 4). Линия перелома может быть непрерывной или прерывистой и обычно параллельна субхондральной пластинке, но может быть и полулунной формы. Также она может и не выходить на суставную поверхность (быть с «открытым» концом) [2, 9].

В последующие стадии помимо линии перелома довольно часто возникает зона гипоинтенсивной утолщенности, видимая на T1-ВИ и жидкость-чувствительных импульсных последовательностях (T2-FS или PD-FS) (рис. 5). Считается, что гистологически данная зона гипоинтенсивной утолщенности представляет собой сочетание костной мозоли, склероза и грануляционной ткани и служит определенным прогностическим фактором развития фокуса вторичного остеонекроза, вплоть до обширного разрушения трабекул и коллапса (уплощения) суставной поверхности мыщелка с последующим развитием вторичного остеоартроза [2].

В исследовании S. Lee et al. дополнительно были выявлены особенности локализации суб-

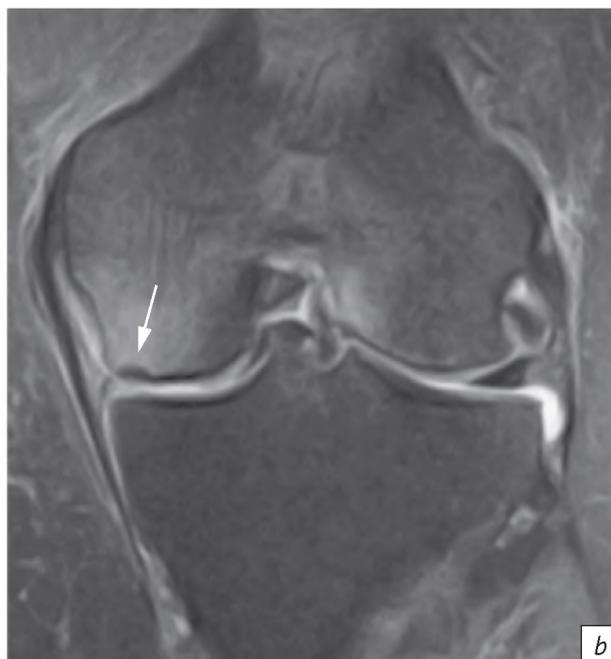
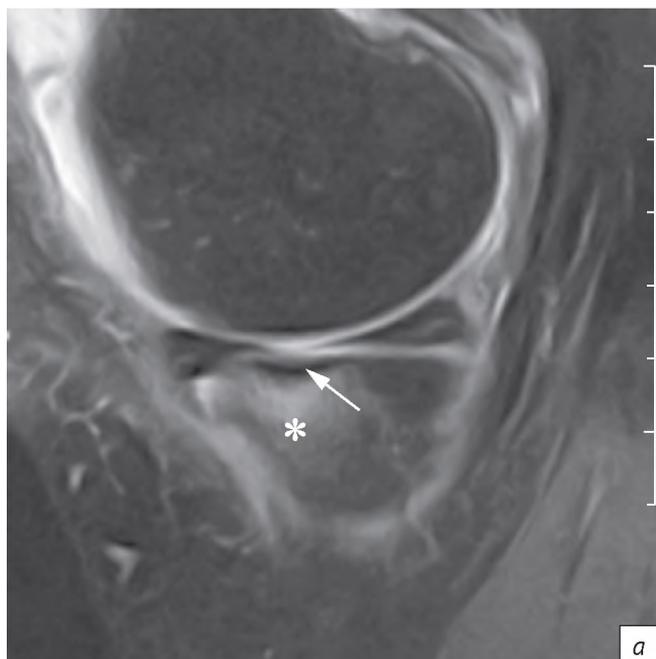


Рис. 4. МР-томограммы при субхондральном переломе недостаточности: сагиттальная (а) и корональная (b) PD-FS проекции, разные больные. Звездочкой указана зона поражения костного мозга (отек), стрелками – линия перелома

Fig. 4. MRI scans in subchondral insufficiency fracture: sagittal (a) and coronal (b) PD-FS projections, different patients. The asterisk indicates the area of bone marrow damage (edema), the arrows show the fracture line

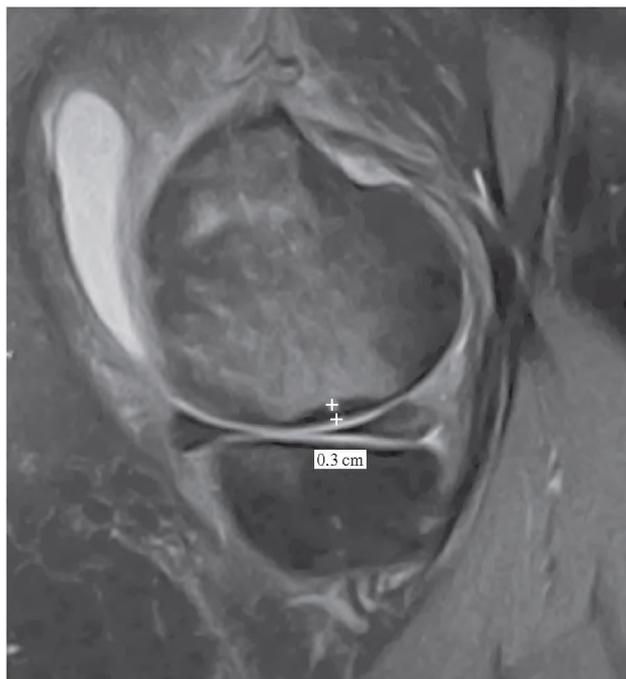


Рис. 5. МР-томограмма (PD-FS) в сагиттальной проекции. Отмечено гипоинтенсивное утолщение при субхондральном стресс-переломе недостаточности

Fig. 5. MRI scan (PD-FS), sagittal projection. The hypointense thickening in subchondral insufficiency stress fracture is marked

хондрального перелома недостаточности: на коронарных изображениях до 70% зон перелома недостаточности локализируются центрально, 27% – в периферических отделах мыщелка и лишь 3% – по его внутреннему краю. На сагиттальных изображениях 77% изменений были локализованы центрально (средние отделы), 19% – в задних отделах мыщелка и только 4% – в передних отделах мыщелка коленного сустава [3]. Таким образом, чаще всего субхондральный перелом недостаточности локализуется в центральных нагружаемых отделах мыщелков коленного сустава [2, 3].

Размеры зоны перелома варьируют от 4 до 31 мм. Ассоциированный с переломом отек прилежащих мягких тканей выявляется в 80–90% случаев, в 70–80% наблюдений – около медиальной коллатеральной связки, в 60–70% – в задних отделах мыщелка бедренной кости. Только 18–20% зон отека мягких тканей локализируются в области большеберцового плато. Воспалительные изменения в суставе обычно фиксируются в 50–60% случаев, часто с утолщением синовиальной оболочки.

Довольно часто при субхондральном стресс-переломе недостаточности выявляются разрывы медиального мениска (в 60–70% случаев), из них чаще в медиальных отделах сустава (около 70–80%) и реже в латеральных (около 20–30%). Разрывы менисков при переломе недостаточности чаще

имеют особый тип повреждения – отрыв корня заднего рога (до 40% наблюдений). Прогрессирование перелома недостаточности в субхондральный коллапс наблюдается в 60–70% случаев, и обычно это связано с женским полом, экстремизацией прилежащего к перелому мениска более 3 мм за пределы мыщелка, а также с крупным гипоинтенсивным утолщением (более 4 мм) [3].

Дифференциальный диагноз субхондрального перелома недостаточности

По данным Т. Gorbachova et al., субхондральный перелом недостаточности наиболее часто следует дифференцировать с остеоартрозом, аваскулярным некрозом, острым субхондральным переломом, рассекающим остеохондрозом. При изучении особенностей данных заболеваний в контексте дифференциального диагноза необходимо в первую очередь заострить внимание на анамнестических и клинических данных, которые уже на этапе знакомства с пациентом могут помочь в правильной диагностике [2].

Следует сразу обозначить, что вышеперечисленные субхондральные заболевания коленного сустава встречаются в разных возрастных группах. Рассекающий остеохондроз – это болезнь детей и подростков, а также молодых взрослых. Острый субхондральный перелом может встретиться в любом возрасте, но чаще возникает у молодых активных людей и спортсменов (20–50 лет). Остеоартроз – заболевание взрослых и пожилых (обычно 50–90 лет), при первичном (аваскулярном) остеонекрозе возраст больных обычно в пределах 20–40 лет. Наконец, при субхондральном переломе недостаточности возраст пациентов варьирует от 50–55 до 90–100 лет [2].

Клинические и анамнестические данные включают факторы риска, болевой синдром, роль травмы. Факторами риска при аваскулярном остеонекрозе являются терапия кортикостероидами и алкоголизм, при субхондральном переломе недостаточности – остеопороз, системные заболевания. При рассекающем остеохондрозе и остром субхондральном переломе специфических факторов риска не существует. При остром субхондральном переломе прямая причина – травма достаточно большой силы, а при переломе недостаточности обычно нет указаний на предшествующую травму. По современным воззрениям, аваскулярный (первичный) остеонекроз и остеоартроз напрямую не связаны с травмой. В патогенезе рассекающего остеохондроза большая роль уделяется повторяющейся и продолжительной микротравме, но острая травма не характерна. В болевом синдроме можно отметить следующие характерные черты при данных субхондральных заболеваниях: при остром субхондральном переломе боль острая, сильная,

при переломе недостаточности возникает внезапная разлитая непроходящая боль. При аваскулярном остеонекрозе появляется нечеткая боль, резко усиливающаяся при возникновении коллапса. Для рассекающего остеохондроза характерны локальные боли, часто усиливающиеся при нагрузке. При смещении костного фрагмента боли обычно резкие, механического типа. Для остеоартроза характерны хронические и, часто, ночные боли [2].

МРТ-семиотика при данных заболеваниях довольно сложна и требует специфических радиологических знаний, тем не менее практически каждое из вышеперечисленных заболеваний субхондральных отделов в коленном суставе имеет свои характерные диагностические симптомы.

Диагностическими МРТ-критериями дифференциальной диагностики будут являться локализация зоны поражения и МР-семиотика выявленных изменений в субхондральном отделе кости. Локализация патологии при остром субхондральном переломе неспецифична и зависит от механизма травмы. При аваскулярном (первичном) некрозе локализация может быть любой, но очень часто субхондральные фокусы имеют географическую форму и могут распространяться глубоко в метаэпифизарную зону. При рассекающем остеохондрозе зона поражения наиболее часто локализуется в медиальном мыщелке бедренной кости, особенно у межмышцелковой вырезки, но изредка встречается и в латеральном мыщелке бедренной кости. Остеоартроз чаще более выражен в опорных зонах мыщелков коленного сустава, особенно медиальных. При субхондральном переломе недостаточности наиболее часто изменения были локализованы в опорных отделах медиального мыщелка бедренной кости (90%), реже в латеральном мыщелке бедренной кости и нагружаемых отделах мыщелков тибияльного плато [2].

Специфичным по МР-семиотике симптомом при рассекающем остеохондрозе является зона «рассечения» в виде формирующегося фрагмента, имеющего форму полумесяца, с вовлечением хряща. При данной патологии первоначально возникает полукруглой формы линия повышенного сигнала в жидкостно-чувствительных режимах T2-ВИ и PD-FS, но со сниженным сигналом на T1-ВИ. Далее по краю линии «рассечения» могут возникать кистовидные фокусы. Затем при формировании (отделении) костно-хрящевого фрагмента вовлекается хрящ с его «отделением» сообразно краям костного фрагмента. И в завершающей стадии может произойти миграция костно-хрящевого фрагмента из материнского субхондрального ложа мыщелка сустава [2].

Остеоартроз также имеет характерные особенности МР-семиотики. Часто при постепенном истончении хрящевого покрытия мыщелков возникают субхондральные (субкортикальные) кисты на

фоне зон гипоинтенсивного склероза в режимах T2- и T1-ВИ, а также в жидкостно-чувствительных режимах жироподавления (T2-FS и PD-FS). Помимо кист, часто перифокально наблюдается хронический отек костного мозга в зоне данных дегенеративных изменений. При прогрессировании остеоартроза, как правило, суставные поверхности пораженных мыщелков уплощаются (ремоделирование) [2].

МР-семиотика первичного (аваскулярного) остеонекроза имеет характерную диагностическую картину в виде субхондральных и метаэпифизарных некротических фокусов с гипоинтенсивными краями, зачастую с признаком «двойной линии» и расположенным внутри гиперинтенсивным на T2-ВИ (T2-FS и PD-FS) участком васкуляризованной грануляционной ткани, на фоне субхондральной линии склероза. Данные изменения при истинном остеонекрозе крайне редко бывают одиночными, чаще всего таких зон несколько, с локализацией в опорных отделах мыщелков, и почти всегда с распространением вглубь на костную ткань метаэпифиза. В отличие от зоны субхондрального перелома фокус остеонекроза выглядит не как линия, а как географической (неправильной) формы зона инфаркта костной ткани с маргинальной линией границы. Хотя следует отметить, что форма маргинальной линии при остеонекрозе не является патогномоничной (может имитировать перелом) и зависит от размеров и локализации фокуса остеонекроза (костномозгового инфаркта) [2].

На МР-томограммах при остром субхондральном переломе на первое место выходит субхондральная зона перифокального отека (контузии) костного мозга с непосредственно переломом, четко определяемым на T1-ВИ (а также на T2-ВИ) в виде гипоинтенсивной линии. Она бывает очень похожа на линию стрессового субхондрального перелома недостаточности. Поэтому в данном случае для адекватной дифференциальной диагностики необходимо анализировать все вышеперечисленные критерии острого субхондрального перелома в соответствии с полными клинико-anamnestическими данными (возраст – как правило, активные взрослые, факт острой травмы большой силы на здоровую кость, отсутствие факторов риска, характерных для других состояний). Также немаловажную роль в дифференциальной диагностике острого субхондрального перелома играет наличие сочетания данной патологии с повреждением мягкотканых структур сустава (коллатеральных связок, передней крестообразной связки и т.д., в зависимости от механизма травмы) [2].

МР-семиотика субхондрального перелома недостаточности тесно связана с его патогенезом и, соответственно, стадией развития. Однако в настоящее время не существует официально принятой классификации стадирования субхон-

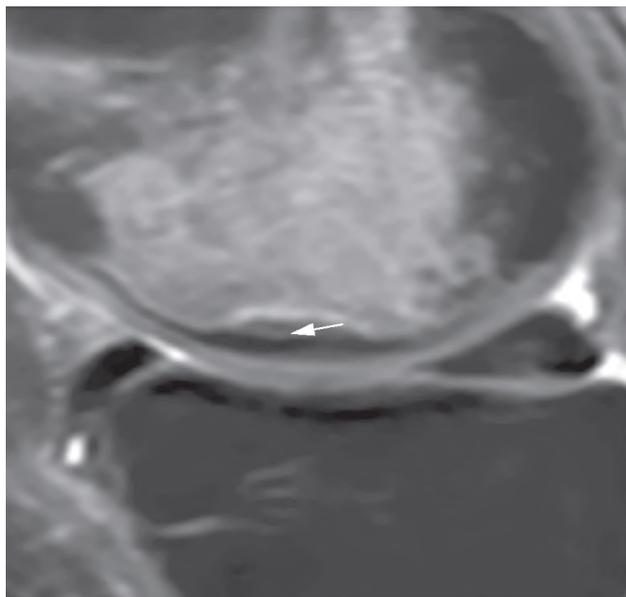


Рис. 6. МР-томограмма (PD-FS) в сагиттальной плоскости. Стрелкой указана гиперинтенсивная зона возникновения вторичного остеонекроза при переломе недостаточности

Fig. 6. MRI scan (PD-FS), sagittal projection. The arrow indicates the hyperintense zone of secondary osteonecrosis occurrence in case of insufficiency fracture

дрального перелома недостаточности [10]. Условно можно выделить начальную и развернутую стадии, стадии заживления (консолидации) и осложнений [2, 5, 7]. В данном случае очень подходящей является модифицированная классификация Ficat для остеонекроза или классификация Koshino [5]. На начальной (1-й) стадии перелома на МР-томограммах имеется только зона субхондрального отека костного мозга, линии перелома еще нет. Во 2-й стадии заболевания на фоне отека костного мозга уже становится видимой субхондральная линия перелома, имеющая гипоинтенсивный сигнал на T1-ВИ и T2-FS-ВИ (PD-FS-ВИ). Она может быть различной формы, но чаще встречаются два ее варианта – линия почти параллельную форму [2]. В 3-ю стадию помимо линии перелома уже можно наблюдать склеротическую линию или фокальные гипоинтенсивные на T1-ВИ и T2-FS-ВИ (PD-FS-ВИ) участки склероза в зоне кортикального слоя кости. Считается, что данные склеротические изменения гистологически представляют собой зону костной мозоли и грануляционной ткани [2, 3]. Такая линия склероза на МР-томограммах часто создает картину утолщенного кортикального слоя кости (гипоинтенсивное утолщение). Четвертая стадия уже подразумевает вторичные изменения субхондральной кости – со вторичным остеонекрозом и коллапсом (уплощением) суставной поверхности. Зона остеонекроза довольно часто

выглядит как участок повышения сигнала в жидкость-чувствительных режимах (T2-FS-ВИ, PD-FS-ВИ) (рис. 6). Иногда в данной стадии осложнений возникает фрагментация в виде отделившегося костно-хрящевого фрагмента [2].

От чего зависит возникновение зоны вторичного остеонекроза и дальнейшей деструкции костных трабекул матрикса кости (субхондральный коллапс), пока подробно не изучено. Считается, что за счет обширного трабекулярного отека увеличивается давление на микрососудистое русло кости, что приводит к сдавлению сосудов и, как следствие, к костной ишемии. Большой размер (площадь) зоны перелома способствует обширному отеку костного мозга. Поэтому дополнительно необходимо отметить, что на ранней и развернутой стадиях этого типа стресс-перелома мышечков коленного сустава по данным МРТ целесообразно измерять площадь зоны перелома, что является хорошим прогностическим фактором в отношении осложнений (субхондральный коллапс) [2, 3].

Основы лечения субхондрального перелома недостаточности

Ранняя диагностика и консервативная терапия обычно приводят к консолидации перелома без последствий и позволяют избежать прогрессирования во вторичный остеонекроз и субхондральный коллапс [2, 3, 11]. Однако часто из-за негативных результатов первичной рентгенографии и отсутствия назначения МРТ раннее лечение оказывается невозможным.

Консервативная терапия в основном включает прием нестероидных противовоспалительных препаратов, снятие нагрузки с опорных отделов сустава и избыточной мышечной активности. У небольшого количества больных с переломом недостаточности МРТ демонстрирует высокую степень заживления и уменьшения размеров перелома при применении ингибиторов простагландинов в сравнении с трамадолом [3].

При площади зоны перелома менее 3,5 см² (по данным МРТ), пациенты успешно выздоравливают при правильно подобранной ранней консервативной терапии. Однако если площадь перелома более 5 см² (или 40% от всей ширины мышечка), то по прогнозу, вероятнее всего, может потребоваться хирургическая коррекция. В данных случаях может быть применена высокая тиббиальная остеотомия или тотальное эндопротезирование коленного сустава [3].

Кроме того, при сопутствующем повреждении прилежащего к зоне перелома мениска, а также хондромалиции суставной поверхности пораженного мышечка зачастую требуется дополнительное хирургическое вмешательство с целью коррекции данных патологических состояний [2].

Заключение

Субхондральный перелом недостаточности коленного сустава ранее в мировом медицинском сообществе трактовался как «спонтанный остеонекроз». Данный вид стрессового перелома коленного сустава характерен для пациентов старше 50–55 лет и пожилых людей (60–90 лет) с остеопорозом в анамнезе.

Перелом недостаточности, в первую очередь, должен быть заподозрен при внезапном тяжелом непроходящем болевом синдроме, отсутствии указаний на травму и отрицательных данных первичных рентгенограмм. Методом выбора при таком типе перелома является МРТ. По МР-семиотике при переломе недостаточности в субхондральных отделах мыщелка сустава обычно выявляется довольно выраженный отек и гипоинтенсивная линия перелома в режимах T1- и T2-ВИ (PD-FS-ВИ).

Часто на МР-томограммах у данных пациентов обнаруживаются предшествующие перелому дегенеративные изменения хряща и повреждения мениска, которые, как считается, играют большую роль в возникновении данного типа субхондрального перелома.

Применение МРТ дает возможность прогнозировать осложнения перелома недостаточности: при площади зоны перелома более 40% от площади пораженного мыщелка имеются предпосылки для развития осложнений в виде вторичного остеонекроза и субхондрального коллапса. Ранняя консервативная терапия с обезболиванием и без нагрузки на сустав имеет решающее значение для предотвращения развития осложнений в виде субхондрального костного коллапса, который может привести к выраженному остеоартрозу, требующему тотальной замены сустава.

Литература [References]

1. An V, Broek M, Oussedik S. Subchondral insufficiency fracture in the lateral compartment of the knee in a 64-year-old marathon runner. *Knee Surg Relat Res.* 2017; 29(4): 325–8. <http://doi.org/10.5792/ksrr.17.049>.
2. Gorbachova T, Melenevsky Y, Cohen M, Cerniglia B. osteochondral lesions of the knee: differentiating the most common entities at MRI. *Radiographics.* 2018; 38(5): 1478–95 <https://doi.org/10.1148/rg.2018180044>.
3. Lee S, Saifuddin A. Magnetic resonance imaging of subchondral insufficiency fractures of the lower limb. *Skeletal Radiol.* 2019; 48(7): 1011–21. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-3160-4>.
4. Weerakkody Y, Deng F. Subchondral insufficiency fracture. Reference article, *Radiopaedia.org.* 2022; July 25–29. <https://doi.org/10.53347/rID-65145>.
5. Yamamoto T, Bullough PG. Spontaneous osteonecrosis of the knee: the result of subchondral insufficiency fracture. *J Bone Joint Surg Am.* 2000; 82(6): 858–66. <http://doi.org/10.2106/00004623-200006000-00013>.
6. Ohtsuru T, Yamamoto T, Murata Y, et al. Incidence of osteonecrosis and insufficiency fracture of the hip and knee joints based on MRI in 300 renal transplant patients. *HIP Int.* 2019; 29(3): 316–21. <https://doi.org/10.1177/1120700018808693>.
7. Nicoletti D. Subchondral insufficiency fracture – knee. Case study, *Radiopaedia.org.* 2022; July 25–29. <https://doi.org/10.53347/rID-67293>.
8. Hussain ZB, Chahla J, Mandelbaum BR, et al. The role of meniscal tears in spontaneous osteonecrosis of the knee: a systematic review of suspected etiology and a call to revisit nomenclature. *Am J Sports Med.* 2019; 47(2): 501–7. <https://doi.org/10.1177/0363546517743734>.
9. Vidoni A, Shah R, Mak D, et al. Metaphyseal burst sign: a secondary sign on MRI of subchondral insufficiency fracture of the knee. *J Med Imaging Radiat Oncol.* 2018; 62(6): 764–8. <http://doi.org/10.1111/1754-9485.12781>.
10. Bonadio M, Giglio P, Helito C, et al. Treatment of subchondral insufficiency fracture of the knee by subchondroplasty. *Ann Joint.* 2020; 5. <http://doi.org/10.21037/aoj.2019.10.02>.
11. Pareek A, Parkes S, Bernard C, et al. Spontaneous osteonecrosis/subchondral insufficiency fractures of the knee high rates of conversion to surgical treatment and arthroplasty. *J Bone Joint Surg.* 2020; 102(9): 821–9. <http://doi.org/10.2106/JBJS.19.00381>.