

DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.67

УДК: 616.728.3-002.2

Взгляд на остеоартрит коленных суставов и бег через призму МРТ-исследований

А.В. Снигирева, С.М. Носков, А.А. Лаврухина

*ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет,
Министерство здравоохранения РФ, Ярославль, Россия*

РЕЗЮМЕ

В настоящее время среди марафонцев увеличилось число женщин и лиц пожилого возраста. У этой когорты населения высок риск развития остеоартрита. В общественном мнении распространена малообоснованная научными данными гипотеза, что дополнительная нагрузка на коленные суставы, возникающая при длительном беге, потенциально может приводить к повреждению суставных структур и развитию остеоартрита. В обзоре представлены современные обобщенные данные магнитно-резонансной томографии (МРТ) коленных суставов у лиц, практикующих бег на длинные дистанции. Особое внимание уделено синдрому увеличения содержания жидкости в субхондральной кости, определяемой по повышению интенсивности сигнала на T2-взвешенных изображениях (снижению на T1-взвешенных изображениях), получившему название отек костного мозга (ОКМ). Представлена классификация и патогенетические варианты развития ОКМ (теория интрузии и контузии). Рассмотрены частные случаи возникновения ОКМ у марафонцев. Описана динамика ОКМ в разные временные промежутки после забегов у начинающих и профессиональных марафонцев. Продемонстрированы изменения МРТ-изображений хряща коленного сустава после бега по тредмилу у здоровых женщин и у женщин, страдающих остеоартритом. Проведено сравнение частоты развития остеоартрита коленных суставов у бегунов по сравнению с футболистами и тяжелоатлетами. Сделано заключение о профилактическом действии длительной ходьбы и бега (не менее 12,5 км/неделю), включая марафонские дистанции, в отношении развития и прогрессирования остеоартрита коленных суставов.

Ключевые слова: остеоартрит, бег, отек костного мозга, магнитно-резонансная томография

Для цитирования: Снигирева А.В., Носков С.М., Лаврухина А.А. Взгляд на остеоартрит коленных суставов и бег через призму МРТ-исследований // Спортивная медицина: наука и практика. 2019. Т.9, №4. С. 67-73. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.67.

The problem of osteoarthritis of the knee joint and running through the prism of magnetic resonance tomography

Anna V. Snigireva, Sergei M. Noskov, Alina A. Lavruchina

Yaroslavl State Medical University, Yaroslavl, Russia

ABSTRACT

The number of women and the elderly has now increased among marathon runners. This cohort has a high risk of osteoarthritis development. The hypothesis, based on little scientific evidence, is that the additional stress on knee joints that occurs during long running can potentially lead to damage to joint structures and osteoarthritis development. The review presents modern generalized data on magnetic resonance imaging (MRI) of knee joints in long-distance runners. Special attention is paid to the syndrome of fluid increase in subchondral bone, which is determined by increasing the signal intensity in T2-weighted images (decrease in T1-weighted images), called bone marrow oedema (BMO). Classification and pathogenetic variants of BMO development (theory of intrusion and contusion) are presented. Particular cases of BMO development in marathon runners are considered. The dynamics of BMO in different time intervals after the races in beginners and professional marathon runners is described. Changes in MRI images of knee cartilage after running on the treadmill in healthy women and in women suffering from osteoarthritis are shown. A comparison of the frequency of osteoarthritis of knee joints in runners compared to footballers and weightlifters was made. The conclusion was made on the preventive effect of long walking and running (at least 12.5 km/week), including marathon distances, on the development and progression of osteoarthritis of knee joints.

Key words: osteoarthritis, running, bone marrow oedema, magnetic resonance imaging

For citation: Snigireva AV, Noskov SM, Lavruchina AA. The problem of osteoarthritis of the knee joint and running through the prism of magnetic resonance tomography. Sportivnaya meditsina: nauka i praktika (Sports medicine: research and practice). 2019;9(4):67-73. Russian. DOI: 10.17238/ISSN2223-2524.2019.4.67.

1. Введение

Бег на длинные дистанции становится все более популярным во всем мире. При этом пятнадцать лет назад в марафонских забегах ежегодно уже участвовало более 30 миллионов человек [1]. За десять последних лет интерес к массовым забегам возрос на 57%, а число финишеров в 2016 году достигло 9,1 миллиона человек. Дву-

мя существенными тенденциями последних лет являются увеличение среди участников женщин (больше 50%) и повзросление когорты бегунов от 35,2 лет в 1986 году до 39,3 лет в 2018 году. Подчеркивается, что среди марафонцев достаточно много лиц пожилого возраста [2]. Учитывая, что возрастной и гендерный фактор часто являются определяющими в скорости прогрессиру-

ния остеоартрита коленных суставов, изучение влияния бега на длинные дистанции приобретает особую клиническую и социальную значимость.

Магнитно-резонансная томография открыла новые возможности для спортивной медицины в области исследования состояния коленных суставов. В данном обзоре литературы будут обобщены результаты исследований по данной проблеме с акцентом на мало изученную проблему отека костного мозга (ОКМ).

Отек костного мозга (ОКМ) является общим термином, классически используемым для описания изменений высокой интенсивности сигнала, обнаруженных при магнитно-резонансной томографии (МРТ), чувствительной к содержанию жидкости [3, 4].

2. Современное состояние вопроса

Термин ОКМ впервые был использован в 1988 году при оценке МР-изображений 10 пациентов с остеопорозом бедра или колена, где костный мозг показал снижение интенсивности сигнала на T1-взвешенных изображениях и повышение интенсивности сигнала на T2-взвешенных изображениях [5].

Предложена [6] классификация ОКМ коленного сустава с выделением трех нозологических категорий:

- 1) Ишемический ОКМ (остеонекроз спонтанный и сосудистый, синдром преходящего отека костного мозга, рассекающих остеохондрит);
- 2) Механический ОКМ (костный ушиб (контузия), микропереломы, стресс-зависимый ОКМ, стресс-переломы;
- 3) Реактивный ОКМ (артрит коленных суставов, остеоартрит, послеоперационный ОКМ, опухоль-зависимый ОКМ).

Теория интрузии связана с проникновением синовиальной жидкости в субхондральную кость через трещины или изъязвления хряща с последующим растворением субхондральной и губчатой кости содержащейся в синовиальной жидкости молочной кислотой [7].

Спортивная травма коленного сустава – это и есть состояние, наиболее часто проявляющееся ОКМ вследствие контузии кости, выявляемое на МРТ высокой интенсивностью сигнала на T2-взвешенных изображениях. Гистологические особенности – участки поражения костей и кровотечения, вызванные травмой. Эти поражения обратимы и проходят примерно через 2-4 месяца [3]. Другие из наиболее распространенных состояний, сопровождаемых ОКМ, включают контузию кости с разрывом передней крестообразной связки и вдавливание латерального мыщелка бедра в заднелатеральное плато большеберцовой кости и латеральный ушиб латерального мыщелка бедра коленной чашечкой при вывихе надколенника.

Стресс-переломы часто маскируются отеком костного мозга и остаются не диагностируемыми. Примером может служить следующее описание спортивной травмы, приведшей к субхондральному перелому лате-

рального мыщелка большеберцовой кости у 64-летней бегуньи, занимающейся супермарафонами. Болевой синдром появился на 50 неделе из 52 недель еженедельных марафонов, но причина боли долго не могла быть установлена. На МРТ был выявлен субхондральный перелом сопровождающийся выраженным ОКМ, но больная отказалась от оперативного лечения и прошла терапию тремя с интервалом в 3 месяца инъекциями бисфосфонатапамидроната. Лечение бисфосфонатами продолжалось 15 месяцев и привело к выраженному уменьшению ОКМ. Через 30 месяцев ввиду отсутствия болевого синдрома пациентка вернулась к ультрамарафонам [8]. Учитывая возраст бегуньи вероятно имел место постменопаузальный остеопороз (остеопения), явившийся важным звеном в патогенезе данного стресс-перелома.

Предложена гипотеза функционирования в колени структурного комплекса мениск-хрящ-субхондральная кость, где повреждение одного компонента неизбежно влияет на два других. Таким образом, любая аномалия в этом функциональном блоке, вызванная травмой мениска и/или хряща, увеличивает нагрузку, передаваемую на субхондральную кость, для которой она не рассчитана, что приводит к субхондральной недостаточности и последующему перелому [9].

ОКМ также встречается при так называемом синдроме преходящего ОКМ, который является общим термином, используемым для состояний, характеризующихся диффузным высокой интенсивностью сигналом на МРТ периартикулярной области и благоприятным клиническим течением с полным разрешением симптомов. Этот синдром встречается при преходящем остеопорозе, региональном мигрирующем остеопорозе и комплексном регионарном болевом синдроме. Все эти нарушения проявляются диффузным и плохо отграниченным периартикулярным отеком с сохранением суставной поверхности.

Спонтанный остеонекроз не является редким синдромом. В частности, показано, что заболеваемость составляет 3,4% среди людей старше 50 лет и 9,4% среди лиц старше 65 лет. Женщины, как правило, страдают чаще. Более высокая частота встречается также среди пациентов с избыточной массой тела и пациентов с плохим качеством кости [10]. Клинически, пациенты обычно испытывают локализованную острую боль, чаще на медиальной стороне колена, без предшествующей травмы, которая могла бы объяснить симптомы.

Сосудистый некроз вызван тромбозом сосудов, обычно из-за определенных факторов риска, таких как алкоголизм, стероидная терапия, нарушения свертываемости крови и химиотерапия. У пациентов обычно проявляются множественные очаги некроза в метафизарной и/или диафизарной кости. Характеристики сигнала полностью отличается от характеристик спонтанного остеонекроза [11].

В большом исследовании на 1283 коленных суставах пытались решить вопрос о роли полнослойной по-

тери хряща или ОКМ в происхождении кистовидной перестройкой субхондральной кости. Теория интрузии связана с проникновением синовиальной жидкости в субхондральную кость через трещины или изъязвления хряща с последующим развитием кистозных полостей. Теория костной контузии предполагает, что кистовидная перестройка является следствием травматического некроза кости при стрессовом воздействии двух противоположных суставных поверхностей. Была обнаружена сильная и значимая ассоциация кистовидной перестройки с ОКМ в том же субрегионе со значительно меньшей ролью полнослойной потери хряща [12].

Сформулирована гипотеза негативного воздействия спонтанных остеонекрозов и переломов в области субхондральной кости на хрящ коленного сустава. Полагают, что основной МРТ-аномалией является отек костного мозга. Он визуализируется первым, тогда как линия перелома может не обнаруживаться, возможно, в связи с микроразрушениями губчатой кости, не выявленными при МРТ. По мере прогрессирования травмы, эти микротрещины сливаются. Далее может произойти коллапс субхондральной кортикальной кости и/или разрыв кортикальной кости. При этом линия перелома может проходить в полость сустава, позволяя внутрисуставной жидкости проходить в перелом. Это явление препятствует консолидации и способствует развитию псевдоартрозов с развитием и/или ухудшением хондральных поражений. Хотя наиболее часто поражается медиальный мыщелок бедра, поражения также могут появляться на латеральном мыщелке бедра и большеберцовом плато.

Традиционно считается, что бег сопровождается повторяющейся ударной нагрузкой на нижние конечности и, особенно, на коленный сустав, и потенциально может приводить к травмам внутренних структур сустава (особенно менисков) [13] и развитию остеоартрита [14, 15]. Было обнаружено, что проблемы с состоянием опорно-двигательного аппарата возникают у 90% бегунов уже в ходе подготовки к марафону [16].

Десяти марафонцам и 10 здоровым добровольцам без патологии коленных суставов проводили МРТ коленного сустава с применением нового метода количественной оценки МРТ, используемые при 3,0 Тл, включая время релаксации T1rho (T1ρ) и T2 за 2 недели до забега, в течение 48 часов после и через 10-12 недель после марафона. У бегунов не выявлено каких-либо грубых морфологических изменений на МРТ сразу после марафона. Однако, постмарафонские исследования выявили достоверно более высокие значения T2 и T1ρ (обнаруживают раннее расщепление протеогликанов хряща и коллагена) во всех зонах суставного хряща коленного сустава (P<0,1) кроме бокового отсека. Средние значения T1ρ увеличились после марафона с 37,0 до 38,9 (P<0,01) и оставались увеличенными в течение 3 месяцев. По мнению авторов, результаты свидетельствуют о неблагоприятных биохимических изменениях в суставном хряще, сохраняемых и после 3 месяцев обычной

физической активности после марафона. В пателлофemorальном сочленении и медиальном отделе коленного сустава наблюдаются наиболее высокие сигнальные изменения, свидетельствующие о том, что они подвержены более высокому риску дегенерации хряща [17]. Эти же авторы выявили похожие изменения и со стороны менисков, что позволило им сделать вывод о неблагоприятном влиянии марафона на состав матрикса менисков [18]. Результаты предыдущего исследования [17] послужили основанием для проверки гипотезы о возможном благоприятном действии предварительного (за неделю) введения гиалуроновой кислоты как средства профилактики деградации протеогликанов суставного хряща при марафонском забеге. Результаты обследования 15 бегунов в возрасте от 23 до 50 лет подтвердили увеличение T2 и T1ρ в трехмесячный срок после марафона, но не обнаружили никакого влияния на этот процесс ни гиалуроновой кислоты, ни физиологического раствора [19]. У 10 непрофессиональных марафонцев (средний возраст: 28,7±3,97 года) без морфологически выраженных повреждений хряща МРТ-картирование (T2 (*)) проводилось за двое суток до и после марафонов и через 4 недели. Наблюдалось небольшое увеличение T2 (*) через 48 часов после марафона (30,47±5,16 мс против 29,84±4,97 мс, P<0,05). Через 4 недели значения T2 (*) не отличались от исходных. Региональный анализ выявил более низкие значения T2(*) в медиальном большеберцовом плато. По-видимому, повторяющееся межкостная нагрузка оказывает преходящее влияние на значения T2 (*). Однако этот эффект незначителен и, вероятно, не имеет клинического значения. Низкие значения T2 (*) могут быть связаны не только с ранней дегенерацией хряща, но и с повышенной функциональной потребностью [20].

Время релаксации T2 и T1ρ хряща большеберцовой кости при МРТ оценивали у 10 женщин бегуний с наличием ОА коленных суставов в сравнении с 10 здоровыми спортсменками после тридцатиминутного бега по тредмилу [21]. Если в здоровой группе никаких изменений не отмечалось, то у женщин с ОА было выявлено повышение T2 и T1ρ, наиболее наглядно выраженное в хряще медиального мениска бедренной кости. Эти данные можно трактовать как необходимость более длительного периода восстановления после бега больными ОА.

Изучение влияния шестимесячной тренировочной программы с последующим марафонским бегом на объем и толщину хряща коленного сустава у 10 начинающих марафонцев выявило незначительное уменьшение на боковой поверхности бедренной кости. Сделано заключение, что высокие ударные нагрузки при беге на длинные дистанции хорошо переносятся даже начинающими марафонцами и не приводят к клинически значимой потере хряща [22].

Оценка поражений коленного сустава с помощью МРТ у 22 непрофессиональных марафонцев показал, что марафон не вызывает тяжелых, острых поражений

хряща, связок или костного мозга коленного сустава у хорошо подготовленных бегунов. Отмеченные увеличение синовиального выпота в 5 случаях из 22 (22,7%) и повышенные МРТ-сигналы от менисков признано несущественными [23].

Результаты по изучению влияния марафона на ОКМ противоречивы. Сообщается о высокой выявляемости ОКМ (50%) в группе из 10 марафонцев, правда не отличающейся достоверно от таковой среди 12 атлетов, не бегающих на длинные дистанции. После марафона отмечено увеличение объема отека в 20% коленей, что также не является достоверным [24]. Отсутствие значимых изменений ОКМ после марафона показано и в других исследованиях [19, 17, 23].

У 16 профессиональных спортсменов бегунов в начале и в конце спортивного сезона проводили МРТ-обследование обеих лобных костей, тазобедренных, коленных и голеностопных суставов. У четырнадцати из них были выявлены очаги ОКМ до начала сезона (в общей сложности 45 очагов ОКМ). Большинство очагов (69%) располагались в голеностопном суставе и стопе. Более половины очагов (58%) разнонаправленно изменялись в течение сезона, причем новые локализации возникали в 20%, а старые исчезали в 22%. Отмечено, что немногочисленные клинические жалобы, возникавшие в течение всего периода наблюдения, не были связаны с наличием ОКМ. Таким образом, почти у всех спортсменов без жалоб на состояние опорно-двигательного аппарата наблюдается ОКМ, изменяющийся у половины атлетов в течение сезона. Это указывает на то, что случайное обнаружение ОКМ на МРТ у профессиональных бегунов не должно однозначно ассоциироваться с клиническими жалобами или приводить к изменению программы тренировок [25].

Наиболее детально влияние марафона на состояние коленных суставов изучено группой Великобританских исследователей под руководством Norga LM [26]. Подобрали добровольцев ведущих малоподвижный образ жизни без травм коленного сустава и сердечной патологии. Основную группу составили 71 человек, которые завершили 4-месячную стандартизированную поэтапную программу подготовки к марафону и пробежали марафон. Контрольная группа включала 11 лиц, которые не смогли завершить программу подготовки и, соответственно, не бежали марафон. Средний возраст был 44 года (от 25 до 73 лет). Всем участникам исследования за 6 месяцев до Лондонского марафона 2017 года и через 2 недели после проводилось детальное клиническое обследование, включающее МРТ обоих коленных суставов с жироподавлением. Клиническая оценка по опроснику KOOS (шкала оценки исходов травмы коленного сустава) не выявила различий между группами как в начале исследования, так и по его завершении. До марафона повреждение хряща уже присутствовало у 65% бегунов и 68% лиц контрольной группы. В 2/3 случаев это было бессимптомное поражение хряща пателло-фemorально-

го сочленения. Уменьшение толщины хряща в сравниваемых группах при завершении срока наблюдения было сравнимо (14,7% и 18,1% суставов, соответственно).

Исходно ОКМ присутствовал в 41% в обеих группах. После марафона у бегунов обнаружилось статистически незначимые 19 нарастаний (13,3%) объема отека в области надколенника, в группе контроля – 3 (13,6%). В то же время в медиальном компартменте коленного сустава обнаружили уменьшение 10 очагов ОКМ в большеберцовой кости ($P=0,011$) и 9 – в бедренной кости ($P=0,082$). В итоге снижение КМО было в 13,6% у бегунов и 13,4% в контроле. Объем суставного выпота и количество лиц с кистой Бейкера составило в группах до марафона 52% – 34% и 50% – 41%. При завершении исследования различия между группами также отсутствовали.

Авторы делают заключение об улучшении состояния поврежденной субхондральной кости мышечков большеберцовой и бедренной костей после марафона у начинающих бегунов, а также бессимптомное ухудшение состояния хряща надколенника. Выводы авторов, правда, базируются на наличии статистически значимой динамики среди 71 марафонца и ее отсутствии у 11 не бегунов. При такой маленькой группе сравнения это кажется вполне возможным. Т.е. правильная трактовка результатов данного исследования затрудняется несравнимо малой группой сравнения. Тем не менее, самое главное, что отрицательные результаты клинического обследования со стороны коленных суставов после марафонского бега явно отсутствуют. Эта работа предоставляет важную информацию для понимания связи между бегом на длинные дистанции и остеоартритом коленного сустава.

Наибольший массив данных использован при опросе 74752 бегунов и 14625 ходоков. Среди них было 863 бегуна, которые сообщили о беге ≥ 60 миль/неделю. За 7,1 год наблюдения у бегунов частота развития ОА составила 2,68% и замены тазобедренного сустава – 0,34%. У ходоков эти цифры составили 4,76% и 0,78%, соответственно, за 5,7 лет [27]. Виден несомненный защитный эффект бега на развитие и прогрессирование ОА, причем наибольшее явно он проявлялся при нагрузке, превышающей 12,9 км/неделю (это же касалось и ходоков).

В отличие от бегунов остеоартрит коленных суставов у профессиональных футболистов очень частое явление. Отмечена более чем двукратная большая распространенность тибioфemorального или пателлофemorального ОА у футболистов (29%) и тяжелоатлетов (31%), по сравнению с бегунами (14%) [28]. Выявлено, что каждая вторая вышедшая на пенсию элитная футболистка в возрасте до 50 лет уже имеет МРТ-признаки остеоартрита коленного сустава [13]. В другом исследовании в Великобритании с помощью почтовой анкеты были оценены 1207 мужчин-экс-футболистов и 4085 мужчин в общей популяции. Текущая боль в колене определялась как боль в коленях или вокруг них в большинстве дней предыдущего месяца. Распространенность всех исходов остеоартрита коленного сустава (боль в колене, RKOА и

TKR) была в два-три раза выше у мужчин, бывших футболистов, по сравнению с мужчинами в общей группе населения. Травма колена является главным атрибутивным фактором риска ОА у футболистов [29]. Исследование профессиональной деятельности показали, что ОА чаще встречается на работах, требующих сгибаний колена, коленопреклонений или приседаний [30]. Особенно вредны в этом плане профессии с длительным сгибанием колена, при которых шансы развития ОА коленного сустава увеличиваются в шесть раз [31]. В спорте данные позы и движения более характерны для упражнений, выполняемых в тренажерных залах, силовых тренировках и аэробных классах, чем для бега или ходьбы.

3. Заключение

Таким образом, несмотря на продолжающуюся научную дискуссию, более убедительными данными пред-

ставляются результаты не о повреждающем, а о защитном действии бега, включая марафонские дистанции, в отношении остеоартрита коленных суставов. Ориентиром для проявления хондропротективного действия для людей, регулярно занимающихся бегом или ходьбой, служит нагрузка, превышающая 12,9 км/неделю. Способствуют появлению и ускоренному развитию остеоартрита коленных суставов травмы коленных суставов (чаще при повреждении менисков), стрессовые нагрузки при ожирении и статических силовых физических нагрузках, особенно при сгибании коленных суставов. Отек костного мозга, выявляемый при МРТ исследовании, у бегунов чаще связан с костной контузией и микропереломами губчатой кости и носит преходящий характер. При остеоартрите отек костного мозга в разной степени может быть визуальным проявлением интрузии синовиальной жидкости.

Список литературы

1. **Krampla W, Mayrhofer R, Malcher J, Kristen KH, Urban M, Hruby W.** MR imaging of the knee in marathon runners before and after competition // *Skeletal Radiol.* 2001. Vol.30 (2). P. 72-76.
2. **Lepers R, Cattagni T.** Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? // *Age (Dordr).* 2012. Vol.34 (3). P. 773-781.
3. **Kon E, Ronga M, Filardo G, Farr J, Madry H, Milano G, Andriolo L, Shabshin N.** Bone marrow lesions and subchondral bone pathology of the knee // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016. Vol.24 (6). P. 1797-1814.
4. **Manara M, Varenna M.** A clinical overview of bone marrow edema // *Reumatismo.* 2014. Vol.66 (2). P. 184-196.
5. **Wilson AJ, Murphy WA, Hardy DC, Totty WG.** Transient osteoporosis: transient bone marrow edema? // *Radiology.* 1988. Vol.167 (3). P. 757-760.
6. **Hofmann S, Kramer J, Vakil-Adli A, Aigner N, Breitensteher M.** Painful bone marrow edema of the knee: differential diagnosis and therapeutic concepts // *Orthop Clin N Am.* 2004. Vol.35 (3). P. 321-333.
7. **Bulysheva AA, Sori N, Francis MP.** Direct crystal formation from micronized bone and lactic acid: The writing on the wall for calcium-containing crystal pathogenesis in osteoarthritis? // *PLoS One.* 2018 Nov 2. Vol.13 (11). P.e0202373.
8. **An VV, Broek MVD, Oussedik S.** Subchondral Insufficiency Fracture in the Lateral Compartment of the Knee in a 64-Year-Old Marathon Runner // *Knee Surg Relat Res.* 2017. Vol.29 (4). P. 325-328.
9. **Bonadio MB, Filho AG, Helito CP, Stump XM, Demange MK.** Bone Marrow Lesion: Image, Clinical Presentation, and Treatment // *Magn Reson Insights.* 2017. Vol.10. DOI: 10.1177/1178623X17703382
10. **Davies-Tuck ML, Wluka AE, Wang Y, English DR, Giles GG, Cicuttini F.** The natural history of bone marrow lesions in community-based adults with no clinical knee osteoarthritis // *Ann Rheum Dis.* 2009. Vol.68 (6). P. 904-908.
11. **Roemer FW, Frobell R, Hunter DJ, Crema MD, Fischer W, Bohndorf K, Guermazi A.** MRI-detected subchondral bone marrow signal alterations of the knee joint: terminology, imaging appearance, relevance and radiological differential diagnosis // *Osteoarthritis Cartilage.* 2009. Vol.17 (9). P. 1115-1131.

References

1. **Krampla W, Mayrhofer R, Malcher J, Kristen KH, Urban M, Hruby W.** MR imaging of the knee in marathon runners before and after competition. *Skeletal Radiol.* 2001;30(2):72-76.
2. **Lepers R, Cattagni T.** Do older athletes reach limits in their performance during marathon running? *Age (Dordr).* 2012;34(3):773-781.
3. **Kon E, Ronga M, Filardo G, Farr J, Madry H, Milano G, Andriolo L, Shabshin N.** Bone marrow lesions and subchondral bone pathology of the knee. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2016;24(6):1797-1814.
4. **Manara M, Varenna M.** A clinical overview of bone marrow edema. *Reumatismo.* 2014;66(2):184-196.
5. **Wilson AJ, Murphy WA, Hardy DC, Totty WG.** Transient osteoporosis: transient bone marrow edema? *Radiology.* 1988;167(3):757-760.
6. **Hofmann S, Kramer J, Vakil-Adli A, Aigner N, Breitensteher M.** Painful bone marrow edema of the knee: differential diagnosis and therapeutic concepts. *Orthop Clin N Am.* 2004;35(3):321-333.
7. **Bulysheva AA, Sori N, Francis MP.** Direct crystal formation from micronized bone and lactic acid: The writing on the wall for calcium-containing crystal pathogenesis in osteoarthritis? *PLoS One.* 2018 Nov 2;13(11):e0202373.
8. **An VV, Broek MVD, 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):325-328.
9. **Bonadio MB, Filho AG, Helito CP, Stump XM, Demange MK.** Bone Marrow Lesion: Image, Clinical Presentation, and Treatment. *Magn Reson Insights.* 2017;10. DOI: 10.1177/1178623X17703382
10. **Davies-Tuck ML, Wluka AE, Wang Y, English DR, Giles GG, Cicuttini F.** The natural history of bone marrow lesions in community-based adults with no clinical knee osteoarthritis. *Ann Rheum Dis.* 2009;68(6):904-908.
11. **Roemer FW, Frobell R, Hunter DJ, Crema MD, Fischer W, Bohndorf K, Guermazi A.** MRI-detected subchondral bone marrow signal alterations of the knee joint: terminology, imaging appearance, relevance and radiological differential diagnosis. *Osteoarthritis Cartilage.* 2009;17(9):1115-1131.

12. **Crema MD, Roemer FW, Zhu Y, Marra MD, Niu J, Zhang J, Lynch JA, Javaid MK, Lewis CE, El-Khoury GY, Felson DT, Guermazi A.** Subchondral cystlike lesions develop longitudinally in areas of bone marrow edema-like lesions in patients with or at risk for knee osteoarthritis: detection with MR imaging – the MOST study // *Radiology*. 2010. Vol.256 (3). P. 855-862.
13. **Prien A, Boudabous S, Junge A, Verhagen E, Delatre BMA, Tscholl PM.** Every second retired elite female football player has MRI evidence of knee osteoarthritis before age 50 years: a cross-sectional study of clinical and MRI outcomes // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020; 28, 353-362. DOI: 10.1007/s00167-019-05560-w
14. **Cymet TC, Sinkov V.** Does long-distance running cause osteoarthritis? // *J Am Osteopath Assoc*. 2006. Vol.106 (6). P. 342-355.
15. **Foreman SC, Neumann J, Joseph GB, Nevitt MC, McCulloch CE, Lane NE, Link TM.** Longitudinal MRI structural findings observed in accelerated knee osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative // *Skeletal Radiol*. 2019. Vol.48 (12). P. 1949-1959.
16. **Fredericson M, Misra AK.** Epidemiology and aetiology of marathon running injuries // *Sports Medicine*. 2007. Vol.37 (4-5). P. 437-439.
17. **Luke AC, Stehling C, Stahl R, Li X, Kay T, Takamoto S, Ma B, Majumdar S, Link T.** High-Field magnetic resonance imaging assessment of articular cartilage before and after marathon running: does long-distance running lead to cartilage damage? // *Am J Sports Med*. 2010. Vol.38 (11). P. 2273-2280.
18. **Stehling C, Luke A, Stahl R, Baum T, Joseph G, Pan J, Link TM.** Meniscal T1rho and T2 measured with 3.0T MRI increases directly after running a marathon // *Skeletal Radiol*. 2011. Vol.40 (6). P. 725-735.
19. **Hohmann E, Wörtler K, Imhoff AB.** Mr imaging of the hip and knee before and after marathon running // *Am J Sports Med*. 2004. Vol.32 (1). P. 55-59.
20. **Hesper T, Miese FR, Hosalkar HS, Behringer M, Zilkens C, Antoch G, Krauspe R, Bittersohl B.** Quantitative T2(*) assessment of knee joint cartilage after running a marathon // *Eur J Radiol*. 2015. Vol.84 (2). P. 284-289.
21. **Esculier JF, Jarrett M, Krowchuk NM.** Cartilage recovery in runners with and without knee osteoarthritis: A pilot study // *Knee*. 2019. Vol.26 (5). P. 1049-1057.
22. **Hinterwimmer S, Feucht MJ, Steinbrech C, Graichen H, Eisenhart-Rothe R.** The effect of a six-month training program followed by a marathon run on knee joint cartilage volume and thickness in marathon beginners // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014. Vol.22 (6). P. 1353-1359.
23. **Schueler-Weidekamm C, Schueler G, Uffmann M, Bader TR.** Does marathon running cause acute lesions of the knee? Evaluation with magnetic resonance imaging // *Eur Radiol*. 2006. Vol.16 (10). P. 2179-2185.
24. **Stahl R, Luke A, Ma CB, Krug R, Steinbach L, Majumdar S, Link TM.** Prevalence of pathologic findings in asymptomatic knees of marathon runners before and after a competition in comparison with physically active subjects – a 3.0 T magnetic resonance imaging study // *Skeletal Radiol*. 2008. Vol.37 (7). P. 627-638.
25. **Kornaat PR1, van de Velde SK.** Bone marrow edema lesions in the professional runner // *Am J Sports Med*. 2014. Vol.42 (5). P. 1242-1246.
26. **Horga LM, Henckel J, Fotiadou A, Hirschmann A, Torlasco C, Di Laura A, D'Silva A, Sharma S, Moon J, Hart A.** Can marathon running improve knee damage of middle-aged adults? A prospective cohort study // *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2019. Vol.5 (1). P. e000586.
12. **Crema MD, Roemer FW, Zhu Y, Marra MD, Niu J, Zhang J, Lynch JA, Javaid MK, Lewis CE, El-Khoury GY, Felson DT, Guermazi A.** Subchondral cystlike lesions develop longitudinally in areas of bone marrow edema-like lesions in patients with or at risk for knee osteoarthritis: detection with MR imaging – the MOST study. *Radiology*. 2010;256(3):855-862.
13. **Prien A, Boudabous S, Junge A, Verhagen E, Delatre BMA, Tscholl PM.** Every second retired elite female football player has MRI evidence of knee osteoarthritis before age 50 years: a cross-sectional study of clinical and MRI outcomes. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2020;28:353-362. DOI: 10.1007/s00167-019-05560-w
14. **Cymet TC, Sinkov V.** Does long-distance running cause osteoarthritis? *J Am Osteopath Assoc*. 2006;106(6):342-345.
15. **Foreman SC, Neumann J, Joseph GB, Nevitt MC, McCulloch CE, Lane NE, LinkTM.** Longitudinal MRI structural findings observed in accelerated knee osteoarthritis: data from the Osteoarthritis Initiative. *Skeletal Radiol*. 2019;48(12):1949-1959.
16. **Fredericson M, Misra AK.** Epidemiology and aetiology of marathon running injuries. *Sports Medicine*. 2007;37(4-5):437-439.
17. **Luke AC, Stehling C, Stahl R, Li X, Kay T, Takamoto S, Ma B, Majumdar S, Link T.** High-Field magnetic resonance imaging assessment of articular cartilage before and after marathon running: does long-distance running lead to cartilage damage? *Am J Sports Med*. 2010;38(11):2273-2280.
18. **Stehling C, Luke A, Stahl R, Baum T, Joseph G, Pan J, Link TM.** Meniscal T1rho and T2 measured with 3.0T MRI increases directly after running a marathon. *Skeletal Radiol*. 2011; 40(6):725-735.
19. **Hohmann E, Wörtler K, Imhoff AB.** Mr imaging of the hip and knee before and after marathon running. *Am J Sports Med*. 2004;32(1):55-59.
20. **Hesper T, Miese FR, Hosalkar HS, Behringer M, Zilkens C, Antoch G, Krauspe R, Bittersohl B.** Quantitative T2(*) assessment of knee joint cartilage after running a marathon. *Eur J Radiol*. 2015;84(2):284-289.
21. **Esculier JF, Jarrett M, Krowchuk NM.** Cartilage recovery in runners with and without knee osteoarthritis: A pilot study. *Knee*. 2019;26(5):1049-1057.
22. **Hinterwimmer S, Feucht MJ, Steinbrech C, Graichen H, Eisenhart-Rothe R.** The effect of a six-month training program followed by a marathon run on knee joint cartilage volume and thickness in marathon beginners. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc*. 2014;22(6):1353-1359.
23. **Schueler-Weidekamm C, Schueler G, Uffmann M, Bader TR.** Does marathon running cause acute lesions of the knee? Evaluation with magnetic resonance imaging. *Eur Radiol*. 2006;16(10):2179-2185.
24. **Stahl R, Luke A, Ma CB, Krug R, Steinbach L, Majumdar S, Link TM.** Prevalence of pathologic findings in asymptomatic knees of marathon runners before and after a competition in comparison with physically active subjects – a 3.0 T magnetic resonance imaging study. *Skeletal Radiol*. 2008;37(7):627-638.
25. **Kornaat PR1, Van de Velde SK.** Bone marrow edema lesions in the professional runner. *Am J Sports Med*. 2014;42(5): 1242-1246.
26. **Horga LM, Henckel J, Fotiadou A, Hirschmann A, Torlasco C, Di Laura A, D'Silva A, Sharma S, Moon J, Hart A.** Can marathon running improve knee damage of middle-aged adults? A prospective cohort study. *BMJ Open Sport & Exercise Medicine*. 2019;5(1):e000586.

27. Williams PT. Effects of Running and Walking on Osteoarthritis and Hip Replacement Risk // Med Sci Sport Exerc. 2013. Vol.45 (7). P. 1292-1297.

28. Kujala UM, Kettunen J, Paananen H, Aalto T, Battie MC, Impivaara O, Videman T, Sarna S. Knee osteoarthritis in former runners, soccer players, weight lifters, and shooters // Arthritis Rheum. 1995. Vol.38 (4). P. 539-546.

29. Fernandes GS, Parekh SM, Moses J, Fuller C, Scammell B, Batt M, Zhang W, Doherty M. Prevalence of knee pain, radiographic osteoarthritis and arthroplasty in retired professional footballers compared with men in the general population: a cross-sectional study // Br J Sports Med. 2018. Vol.52 (10). P. 678-683.

30. McMillan G, Nichols L, McMillan G, Nichols L. Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners // Occupat Environ Med. 2005. Vol.62 (8). P. 567-575.

31. Lieveuse AM, Bierma-Zeinstra SMA, Verhagen AP, Verhaar J, Koes B. Influence of work on the development of osteoarthritis of the hip: a systematic review // J Rheumatol. 2001. Vol.28 (11). P. 2520-2528.

27. Williams PT. Effects of Running and Walking on Osteoarthritis and Hip Replacement Risk. Med Sci Sport Exerc. 2013;45(7):1292-1297.

28. Kujala UM, Kettunen J, Paananen H, Aalto T, Battie MC, Impivaara O, Videman T, Sarna S. Knee osteoarthritis in former runners, soccer players, weight lifters, and shooters. Arthritis Rheum. 1995;38(4):539-546.

29. Fernandes GS, Parekh SM, Moses J, Fuller C, Scammell B, Batt M, Zhang W, Doherty M. Prevalence of knee pain, radiographic osteoarthritis and arthroplasty in retired professional footballers compared with men in the general population: a cross-sectional study. Br J Sports Med. 2018;52(10):678-683.

30. McMillan G, Nichols L, McMillan G, Nichols L. Osteoarthritis and meniscus disorders of the knee as occupational diseases of miners. Occupat Environ Med. 2005;62(8):567-575.

31. Lieveuse AM, Bierma-Zeinstra SMA, Verhagen AP, Verhaar J, Koes B. Influence of work on the development of osteoarthritis of the hip: a systematic review. J Rheumatol. 2001;28(11):2520-2528.

Информация об авторах:

Снигирева Анна Владимировна, доцент кафедры госпитальной терапии с профпатологией ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет Минздрава России, доцент, к.м.н. ORCID ID: 0000-0002-3163-102X (+7 (964) 167-39-06, n0613@yandex.ru)

Носков Сергей Михайлович, заведующий кафедрой госпитальной терапии с профпатологией ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет Минздрава России, проф., д.м.н. ORCID ID: 0000-0003-3456-9409

Лаврухина Алина Александровна, доцент кафедры госпитальной терапии с профпатологией ФГБОУ ВО Ярославский государственный медицинский университет Минздрава России, доцент, к.м.н. ORCID ID: 0000-0002-1184-5426

Information about the authors:

Anna V. Snigireva, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Hospital therapy with profpatology of the Yaroslavl State Medical University, ORCID ID: 0000-0002-3163-102X (+7 (964) 167-39-06, n0613@yandex.ru)

Sergey M. Noskov, M.D., D.Sc. (Medicine), Prof., Head of the Department of Hospital therapy with profpatology of the Yaroslavl State Medical University, ORCID ID: 0000-0003-3456-9409.

Alina A. Lavruchina, M.D., Ph.D. (Medicine), Associate Professor of the Department of Hospital therapy with profpatology of the Yaroslavl State Medical University, ORCID ID: 0000-0002-1184-5426

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Поступила в редакцию: 20.10.2019

Принята к публикации: 03.12.2019

Received: 20 October 2019

Accepted: 03 December 2019