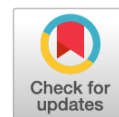


УДК 616.718.41-002.4-053.2-06:796.4/.41](048.8)

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS625549>

Научный обзор



Идиопатический асептический некроз головки бедренной кости у детей, профессионально занимающихся гимнастикой. Обзор литературы

И.Ю. Поздникин, П.И. Бортулёв, Д.Б. Барсуков

Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Асептический некроз головки бедренной кости у детей школьного возраста — тяжелое, быстро прогрессирующее дегенеративно-дистрофическое заболевание. Значимая часть девочек старше 10 лет с остеонекрозом головки бедренной кости профессионально занималась художественной гимнастикой. Не до конца выяснены зависимость между профессиональными занятиями спортом, в частности художественной гимнастикой, и развитием этой патологии, а также механизм нарушения кровотока в головке бедренной кости в таких случаях. Тяжесть течения и серьезные последствия этого заболевания в виде многоплоскостных деформаций головки бедренной кости, раннего артроза тазобедренного сустава и стойкой инвалидизации заставляют обращать пристальное внимание на данную проблему.

Цель — проанализировать данные современной мировой литературы об этиологии, патомеханике, особенностях течения и лечения идиопатического асептического некроза головки бедренной кости у детей, профессионально занимающихся художественной гимнастикой.

Материалы и методы. Проведен поиск литературы по проблеме идиопатического асептического некроза головки бедренной кости у детей, профессионально занимающихся художественной гимнастикой, в открытых информационных базах PubMed, Science Direct, eLibrary с глубиной анализа 20 лет.

Результаты. Анализ публикаций по проблеме остеонекроза головки бедренной кости позволяет говорить об этиологической связи данного состояния с профессиональными занятиями художественной гимнастикой, а именно с высокоинтенсивными повторяющимися нагрузками на тазобедренный сустав. Работы с применением лазерной доплеровской флоуметрии *in vivo* и компьютерного 3D-моделирования доказывают о возникновении окклюзии ветвей кровеносных сосудов, огибающих бедренную кость, при чрезмерной механической нагрузке на головку бедренной кости и потенциально неблагоприятных положениях в тазобедренном суставе — переразгибании (гиперэкстензии), наружной ротации и отведении.

Заключение. Профессиональные занятия гимнастикой могут быть признаны фактором риска развития остеонекроза головки бедренной кости. Частые случаи поздней диагностики заболевания с развитием выраженной деформации головки бедренной кости и явлениями коксартроза терминальных стадий, требующих проведения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава у подростков, определяют необходимость раннего выявления причин боли в тазобедренном суставе у детей, занимающихся гимнастикой. Это будет способствовать улучшению результатов лечения и сокращению числа органозамещающих вмешательств.

Ключевые слова: остеонекроз; гимнастики; асептический некроз головки бедренной кости; болезнь Легга – Кальве – Пертеса; спорт; травма; коксартроз.

Как цитировать

Поздникин И.Ю., Бортулёв П.И., Барсуков Д.Б. Идиопатический асептический некроз головки бедренной кости у детей, профессионально занимающихся гимнастикой. Обзор литературы // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2024. Т. 12. № 1. С. 127–137. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS625549>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS625549>

Review

Idiopathic aseptic necrosis of the femoral head in children who are professionally engaged in gymnastics: A literature review

Ivan Yu. Pozdnikin, Pavel I. Bortulev, Dmitrii B. Barsukov

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Aseptic necrosis of the femoral head in school-age children is a severe, rapidly progressive degenerative and dystrophic disease. A significant proportion of girls aged >10 years with osteonecrosis of the femoral head have been professionally engaged in rhythmic gymnastics. The relationship between professional sports, in particular rhythmic gymnastics, and the development of this pathology and the mechanism of impaired blood flow in the femoral head in such cases remains unclear. The severity of the course and serious consequences of this disease in the form of multidimensional deformities of the femoral head, early arthrosis of the hip joint, and persistent disability, require close attention.

AIM: To analyze modern world literature data on the etiology, pathomechanics, and features of the course and treatment of idiopathic aseptic necrosis of the femoral head in children professionally engaged in rhythmic gymnastics.

MATERIALS AND METHODS: A literature search on the problem of idiopathic aseptic necrosis of the femoral head in children professionally engaged in rhythmic gymnastics in the open information databases was conducted in PubMed, Science Direct, and Library with an analysis depth of 20 years.

RESULTS: The analysis of publications on the osteonecrosis of the femoral head allowed us to talk about the etiological connection of this condition with professional rhythmic gymnastics, namely, high-intensity repetitive loads on the hip joint of a child. Studies using in vivo laser Doppler flowmetry and 3D computer modeling prove the occlusion of blood vessel branches encircling the femur under excessive mechanical stress on the femoral head and potentially unfavorable positions in the hip joint – overextension (hyperextension), external rotation, and abduction.

CONCLUSIONS: Professional gymnastics can be a risk factor for the development of osteonecrosis of the femoral head. Frequent late disease diagnoses with the development of severe deformity of the femoral head and end-stage coxarthrosis requiring total hip replacement in adolescents determine the need for early identification of the causes of hip pain in children engaged in gymnastics. The findings will help improve treatment results and reduce the number of organ replacement interventions.

Keywords: osteonecrosis; gymnasts; aseptic necrosis of the femoral head; Legg–Calve–Perthes disease; sports, injury; coxarthrosis.

To cite this article

Pozdnikin IYu, Bortulev PI, Barsukov DB. Idiopathic aseptic necrosis of the femoral head in children who are professionally engaged in gymnastics: A literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2024;12(1):127–137. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS625549>

Received: 11.01.2024

Accepted: 13.03.2024

Published: 29.03.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Регулярная физическая активность полезна людям всех возрастных групп, она определяет правильный энергетический баланс и контроль веса; положительно влияет на психическое здоровье, а также является средством социализации [1, 2].

Все большее число молодых людей специализируются на каком-то одном конкретном виде спорта, что характеризуется понятием «спортивная специализация» и подразумевает углубление навыков, способностей и выбор определенной области спорта с интенсивной круглогодичной подготовкой при исключении других видов дисциплин. Спортивная специализация позволяет спортсмену достичь высокого уровня профессионализма и совершенствовать спортивные достижения. Однако она связана с повышением общего и локального уровня нагрузок, увеличением интенсивности и объема тренировок, риском дезадаптации при отсутствии достаточного отдыха для восстановления, а следовательно, и с травмами [3–5].

С точки зрения ортопеда, период активного роста — критический момент для юных спортсменов, когда высока предрасположенность к повреждениям на уровне апофизов и эпифизов костей, особенно при ранней спортивной специализации, для которой характерна хроническая локальная микротравматизация [6, 7].

За последние два десятилетия отмечена тенденция к росту частоты детского спортивного травматизма. По данным литературы, частота травматизма в спортивной гимнастике колеблется от 1,08 до 50,3 на 1000 ч тренировок. В частности, в художественной гимнастике на нижние конечности приходится больше всего травм (60,5 %), а на область бедра и таза — 15 % случаев [8–11].

Остеонекроз головки бедренной кости у подростков, профессионально занимающихся спортом, относительно редкое, но тяжелое и быстро прогрессирующее дегенеративно-дистрофическое заболевание. Как синонимы сходных патологических состояний в мировой научной литературе встречаются термины «ишемический», «бессосудистый», «аваскулярный» некроз, а также «костный инфаркт», но в последние годы чаще применяют общий термин «остеонекроз головки бедренной кости» [12–14].

Часто встречаемые тотальные и субтотальные варианты поражения головки бедренной кости характеризуются неудовлетворительными результатами лечения, особенно на заключительных стадиях болезни [12, 13]. Тяжесть течения и серьезные последствия этого заболевания в виде многоплоскостных деформаций головки бедренной кости, раннего артроза тазобедренного сустава и стойкой инвалидизации заставляют обращать пристальное внимание на данную проблему.

Цель — проанализировать данные современной мировой литературы об этиологии, патомеханике, особенностях течения и лечения идиопатического асептического некроза головки бедренной кости у детей, профессионально занимающихся художественной гимнастикой.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Проведен поиск и анализ данных современной научной мировой литературы в базах данных PubMed, Science Direct, eLibrary за период с 2000 по 2023 г. по ключевым словам: «болезнь Легга – Кальве – Пертеса», «асептический (аваскулярный) некроз головки бедренной кости»; Legg–Calvé–Perthes, Perthes-like necrosis, osteonecrosis femoral head, femoral head avascular necrosis late presentation, gymnastics, females, adolescents.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Остеонекроз головки бедренной кости — тяжелое прогрессирующее дегенеративно-дистрофическое заболевание тазобедренного сустава, поражающее в основном лиц молодого, работоспособного возраста [13–19].

При отсутствии лечения на ранних стадиях у 80 % пациентов коллапс головки бедренной кости развивается в течение 3–4 лет, в связи с чем необходимо эндопротезирование тазобедренного сустава. По статистике, от 5 до 17 % операций эндопротезирования выполняют именно по поводу асептического некроза костей [14–19].

В то же время асептический некроз головки бедренной кости является и фактором риска ранней нестабильности имплантата. Результаты первичного эндопротезирования при остеонекрозе головки бедренной кости хуже, чем при вмешательствах, выполненных по поводу идиопатического коксартроза: ревизии в течение 10–15 лет достигают 40 %. Утяжеляет ситуацию и молодой возраст пациентов из-за ограниченного срока функционирования искусственного сустава у данной категории больных, ведущих активный образ жизни [20–22].

По данным литературы, существует прямая корреляция между объемом и интенсивностью тренировок и риском травм. При конкретной спортивной специализации базовый риск травм у молодого спортсмена увеличивается при выполнении повторяющихся интенсивных упражнений, приводящих к хроническим микротравмам костей, мышц или сухожилий [23, 24].

Поражение тазобедренного сустава, в частности деформации проксимального отдела бедра по типу CAM FAI, служат частой причиной болевого синдрома у спортсменов, особенно занимающихся атлетикой. Потенциальную связь между занятиями «агрессивными» видами спорта в подростковом возрасте и развитием деформации проксимального отдела бедренной кости в дальнейшем впервые описали R.O. Murray и C. Duncan в 1971 г. [25]. Было установлено, что у спортсменов, занимающихся хоккеем, баскетболом, футболом, прыжками в длину, высоту, прыжками с шестом и другими видами, вероятность возникновения такой деформации головки была до 8 раз выше, чем у обследуемых из контрольной группы [26].

По данным литературы и собственным наблюдениям, результаты лечения детей с типичной картиной болезни

Пертеса до 8 лет в целом можно признать хорошими, а прогноз благоприятным. Напротив, «болезнь Пертеса с поздним началом» в возрасте старше 9 лет, особенно у лиц женского пола, для которых характерны тотальное и субтотальное поражение головки бедренной кости (Catterall III и IV), ассоциирована с худшими исходами (Stulberg III и IV) и плохим прогнозом, что обуславливает большую социальную и экономическую значимость проблемы [27–29].

Основное кровоснабжение головки и шейки бедренной кости осуществляют восходящие ветви медиальной и латеральной огибающих бедро артерий. Ишемия головки бедренной кости и последующее развитие остеонекроза вследствие механического нарушения целостности сосудов при травме были доказаны на «лигатурной модели» в экспериментах [30]. Среди других факторов, способствующих нарушению кровоснабжения по данным сосудам у детей, наиболее часто в литературе упоминаются коагулопатия вследствие тромбофилии, хроническая терапия глюкокортикоидами, серповидноклеточная анемия, системная красная волчанка, гиперлипидемии, хроническая почечная недостаточность, сахарный диабет и др. [31–33].

Исключая эти наиболее вероятные причины остеонекроза головки бедренной кости, можно предположить этиологическую связь данного состояния с профессиональными занятиями спортом, а именно с высокоинтенсивными повторяющимися нагрузками на тазобедренный сустав. В частности, гимнастика «высокого уровня» требует значительной гибкости в тазобедренных суставах и длительных тренировок, а при выполнении упражнений часто применяют положения крайней амплитуды движений, нехарактерные для других видов спорта или повседневной деятельности. Кроме того, существует высокая нагрузка на тазобедренный сустав, связанная с кувытками, приземлениями и сильными ударами [4–11, 13, 34, 35]. Найдено несколько статей по данной проблеме, в которых рассматривается взаимосвязь между профессиональными занятиями спортом, в частности художественной гимнастикой, и развитием остеонекроза головки бедренной кости [36, 37].

Y. Assouline-Dayan и соавт. (2002) предположили, что передневерхние участки головки бедренной кости, несущие большую нагрузку веса тела, более чувствительны к воздействию механических перегрузок, вследствие которых может возникать окклюзия сосудов латерального сегмента головки бедренной кости [38].

Эту гипотезу подтвердили в экспериментах K. Mihara и T. Hirano (1998). Авторы установили, что у части крыс, которых заставляли стоять на задних конечностях при кормлении в высоких клетках, развился остеонекроз, в то время как у крыс контрольной группы, которых кормили в низких клетках, подобного не наблюдалось. Авторы допускают, что чрезмерная механическая нагрузка на головку бедренной кости является по крайней мере одной из причин остеонекроза [39].

В другом исследовании на крысах G. Yoshida и соавт. (2000) обнаружили, что при воздействии на бедро

чрезмерной нагрузки с помощью специального устройства наблюдалась достоверная деформация головки бедра, особенно в латеральных отделах, тяжесть которой коррелировала с величиной веса. Эта компрессия, по данным авторов, также вызвала окклюзию латеральных огибающих эпифизарных артерий в месте проникновения их в покровный хрящ [40].

Подобные данные, позволяющие предположить механическую природу остеонекроза в ряде случаев, получили также и A.N. Larson и соавт. при обследовании 13 гимнастов с «поздним началом» болезни Легга – Кальве – Пертеса. Они отметили, что в возрастной группе старше 10 лет более 75 % таких больных составляют девочки, профессионально занимавшиеся художественной гимнастикой. Авторы пришли к заключению, что повторяющиеся микротравмы структур тазобедренного сустава на тренировках могут рассматриваться как основная причина остеонекроза [37] (Level of Evidence: IV, case series). В ряде других исследований, проведенных на животных, были получены сходные данные [41, 42].

Исходя из вышесказанного, повторяющиеся нагрузки в крайних положениях бедра, связанные с профессиональной художественной гимнастикой, могут выступать возможным этиологическим фактором в развитии остеонекроза головки бедренной кости [36, 37].

Несомненно, у большинства подростков данной возрастной группы, занимающихся спортом, в частности гимнастикой, этого не происходит, но мы считаем, что, как и при других ортопедических заболеваниях, остеонекроз головки бедренной кости — результат комбинированного воздействия генетической вариативности в анатомическом строении кости, анатомии сосудов, а также хрящевой ткани, что может повышать риск возникновения заболевания в условиях хронической травматизации структур тазобедренного сустава [38–40, 43] (Level of evidence: Case series, Level IV).

Таким образом, травматическое повреждение являлось наиболее вероятным этиологическим фактором развития остеонекроза у гимнасток, однако его патомеханические причины не были до конца определены [36, 37].

Наибольший интерес, по нашему мнению, представляют две следующие работы. В первой из них H.P. Nötzli и соавт. (2002) при помощи лазерной доплеровской флоуметрии *in vivo* установили снижение перфузии головки бедренной кости при контакте заднебоковой поверхности шейки бедра с краем задней стенки вертлужной впадины, что обычно происходит при полном разгибании и/или наружной ротации бедра [44]. Эти изменения были обратимы и объяснялись сдавлением ретикулярных ветвей медиальной огибающей артерии бедра на заднебоковой поверхности шейки бедренной кости [45].

На основании этих исследований S. Blümel и соавт. (2022) выдвинули гипотезу, что остеонекроз вызывают повторяющееся воздействие на ретикулярные сосуды и их окклюзия или в результате самой травмы,

или в результате воспаления и репаративных процессов в сосудистой стенке. При сборе анамнеза были исключены травмы, перенесенный аваскулярный некроз головки бедренной кости или применение гормонов; на основании лабораторных исследований исключены иммунологическая или гематологическая патология, а также другие известные факторы риска. Для изучения этой гипотезы было проведено 3D-моделирование потенциально неблагоприятных положений в тазобедренном суставе с помощью компьютерной томографии, что позволило продемонстрировать контакт между шейкой и задним краем вертлужной впадины при гиперэкстензии, наружной ротации и отведении [13]. Именно для гимнастов эти крайние положения в суставе являются стереотипными движениями при упражнениях «на растяжку», нередко с высокой интенсивностью или длительно.

Важный аспект проблемы — ранняя диагностика заболевания. Определение причины боли в области тазобедренного сустава может стать серьезной задачей для хирургов-ортопедов [46, 47]. Диагноз остеонекроза головки бедренной кости в большинстве случаев устанавливают поздно; пациенты обращаются к ортопеду и поступают в стационар лишь спустя недели и месяцы от начала заболевания. По данным литературы, продолжительность клинических проявлений у таких больных до направления к ортопеду, как правило, составляет от 4 до 7 мес. Трудности ранней диагностики асептического некроза головки бедренной кости у детей, занимающихся спортом, по нашему мнению, могут быть обусловлены следующими обстоятельствами.

1. При отсутствии явного факта травмы болевые ощущения умеренной интенсивности, как правило, после тренировки, в периоды отдыха и восстановления нередко купируются. В случае сохраняющегося болевого синдрома данная проблема может расцениваться как растяжение мышц с соответствующим применением обезболивающих и противовоспалительных препаратов местно и внутрь, что в некоторой мере «маскирует» клиническую картину начала заболевания.
2. При более выраженной клинической симптоматике, учитывая пластичность и мобильность мышечно-связочного аппарата у юных гимнасток, спортивный врач в результате клинического осмотра нередко не выявляет ограничения амплитуды движений в суставе, в частности отведения и внутренней ротации бедра, как правило, исключает отрывные переломы области таза и бедра — типичные травмы у спортсменов-подростков (передняя верхняя и нижняя подвздошные ости, седалищный бугор, малый вертел) [6, 7, 48].
3. На рентгенограммах тазобедренных суставов на ранней стадии заболевания закономерно отсутствуют признаки асептического некроза головки бедренной кости.

Таким образом, интерпретация ситуации как последствие растяжения мышц и отсутствие исключения опоры

на пораженную конечность при некупированных явлениях синовита приводит к потере времени и развитию контрактур сустава (наружно-ротационной, сгибательной), экстружии и подвывиха головки бедренной кости с последующим возникновением ее грубой деформации.

Транзиторная воспалительная реакция сустава в начальной фазе развития некроза головки бедренной кости является типичной. Однако хроническое, длительно текущее воспаление, которое нередко наблюдается в подобных случаях, характеризует агрессивный вариант течения заболевания — с признаками остеоартрита и становится серьезной проблемой, поскольку напрямую отрицательно влияет на клиническую картину и исход болезни [49]. В последние годы в научной литературе появились сообщения о более тяжелых вариантах течения остеонекроза у пациентов, перенесших COVID-19, в частности из-за трудно купируемого воспалительного процесса в тазобедренном суставе [50–53]. Это обуславливает необходимость привлечения врача-ревматолога и решение вопроса об изменении характера консервативной медикаментозной терапии, в том числе с применением бисфосфонатов [49].

Неблагоприятным фактором, в частности способствующим раннему развитию подвывиха в тазобедренном суставе у гимнастов при тотальном или субтотальном поражении головки, также часто являются особенности анатомического развития вертлужной впадины и проксимального отдела бедра, без которых невозможно увеличить диапазон движений в тазобедренном суставе. Прежде всего это касается пограничных значений степени костного покрытия головки бедренной кости (СКП $2/3 > 3/4$ и угла Виберга $18–20^\circ$) [54, 55].

Учитывая возраст пациентов, ремоделирование головки бедренной кости, характерное для детей дошкольного возраста с асептическим некрозом, болезнью Пертеса, невозможно в силу ограниченного потенциала роста. Соответственно, и прогноз заболевания, нередко называемого в англоязычной литературе «болезнь Легга – Кальве – Пертеса с поздним началом» (возраст старше 9 лет), будет плохим [27, 28, 56].

Исходя из вышесказанного, лечение таких пациентов представляет серьезную проблему. В настоящее время нет единого взгляда по данному вопросу. Консервативное лечение в качестве монотерапии возможно лишь при небольших локальных, центрально расположенных в головке бедренной кости очагах поражения. Малоинвазивные вмешательства часто оказываются неэффективными при развернутой картине заболевания и тем более при его последствиях. В случае поздней диагностики и начале лечения при формировании выраженной деформации головки бедренной кости необходимо применение более объемных и травматичных вмешательств, включая элементы моделирующих резекций головки бедренной кости для восстановления стабильности и конгруэнтности в тазобедренном суставе [44, 45, 57, 58]. Подобные внутрисуставные вмешательства, в частности

хирургический вывих бедра по Ganz, в отечественной практике выполняют не часто, в том числе из-за их сложных технических особенностей. В запущенных случаях, в основном при некупируемых симптомах синовита в тазобедренном суставе и нарушении ортопедического режима, развиваются коллапс и хондролиз головки бедренной кости с явлениями коксартроза терминальных стадий, что обуславливает необходимость проведения тотального эндопротезирования тазобедренного сустава — крайнего и вынужденного метода лечения у подростков [14, 16, 21, 29]. Выжидательная тактика с последующим выполнением органозамещающих вмешательств идет вразрез с принятой в настоящее время концепцией органосохраняющих ортопедических операций у пациентов молодого возраста [59–63]. При ранней диагностике и начале лечения заболевания у подростков в ряде случаев возможно осуществление консервативных ортопедических мероприятий или проведение радикальных хирургических операций при сокращении числа органозамещающих вмешательств, что в целом может способствовать улучшению прогноза заболевания.

По нашему мнению, самое важное положение, которое должны учитывать родители, тренеры и врачи, заключается в том, что ребенок, жалующийся на боль, должен обратиться за медицинской помощью. Концепция «преодоления боли» не может главенствовать в гимнастике и юношеской атлетике. Тренеры юных гимнасток должны знать, что некроз головки бедренной кости — серьезное заболевание, развитие которого вполне вероятно в этом виде спорта и может быть спровоцировано агрессивными экстремальными движениями в тазобедренном суставе. Необходимо применение системного подхода к изучению этиологии боли в тазобедренном суставе у детей (сбор анамнеза, тщательное клиническое и рентгенографическое обследование).

Ранняя дифференциальная диагностика причин боли в тазобедренном суставе у гимнастов должна быть направлена на исключение развития остеонекроза головки бедренной кости. При наличии болевого синдрома и отсутствии значительных изменений на рентгенограммах тазобедренных суставов рекомендовано выполнение магнитно-резонансной томографии на аппарате с напряженностью магнитного поля не менее 1,5 Тесла. Следует отметить, что начальные стадии асептического некроза костей могут быть выявлены только при магнитно-резонансном томографическом исследовании — наиболее чувствительном (71–100 %) и специфичном (94–100 %) методе диагностики в таких случаях [12, 20, 64, 65].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Самусенков О.И., Самусенкова Е.И., Боброва Д.Д. Значение детского спорта, студенческого спорта и спорта высших достижений в России // *Флагман науки*. 2023. № 5(5). С. 501–503. EDN: EIAONC

Мерами профилактики развития остеонекроза у гимнастов могут служить ограничение нагрузок, сопровождающихся экстремальными положениями бедра, правильная техника выполнения упражнений; достаточное время для восстановления и профилактика перетренированности, а также комбинация специфических и общих физических нагрузок.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Профессиональные занятия художественной гимнастикой могут быть признаны фактором риска развития остеонекроза головки бедренной кости. У юных гимнасток это заболевание вызывают чрезмерные нагрузки и повторяющиеся экстремальные положения бедренной кости в крайних точках амплитуды движений в тазобедренном суставе, провоцирующие окклюзию основных питающих сосудов по заднебоковой поверхности шейки бедра. Типичными экстремальными положениями являются гиперэкстензия с наружной ротацией и разгибание с наружной ротацией при отведении бедра. Особенности течения остеонекроза головки бедренной кости у подростков-гимнастов заключаются в преобладании тотальных и субтотальных форм поражения, частом развитии экструзии головки с последующей грубой ее деформацией в силу специфики анатомического строения тазобедренного сустава.

Необходимо улучшить информированность тренеров и врачей о существующей проблеме. Дальнейшего изучения также требуют вопросы, связанные с оптимизацией тактики лечения таких пациентов.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Работа проведена в рамках Государственного задания Минздрава России.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явного и потенциального конфликта интересов, связанного с публикацией настоящей статьи.

Вклад авторов. И.Ю. Поздник — формулировка цели и разработка дизайна исследования, написание статьи, сбор и анализ данных, анализ литературы; П.И. Бортулев — этапное и заключительное редактирование текста статьи, сбор и анализ данных, анализ литературы; Д.Б. Барсуков — этапное редактирование текста статьи, сбор данных.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

2. Moreno-Agostino D., Daskalopoulou C., Wu Y.T., et al. The impact of physical activity on healthy ageing trajectories: evidence from eight cohort studies // *Int J Behav Nutr Phys Act*. 2020. Vol. 17, N. 1. P. 92. doi: 10.1186/s12966-020-00995-8

3. Кирилеева В.В., Пушкарёва И.Н. Синдром «детского раннего спорта», сопровождающийся форсированной подготовкой в легкой атлетике // Актуальные проблемы науки и образования: материалы Международного форума, посвященного 300-летию Российской академии наук, Екатеринбург, 12–13 декабря 2022 года. Ч. 2. Екатеринбург: Уральский государственный педагогический университет, 2023. С. 46–52. EDN: SCNEIE
4. Bell D.R., DiStefano L., Pandya N.K., et al. The public health consequences of sport specialization // *J Athl Train*. 2019. Vol. 54, N. 10. P. 1013–1020. doi: 10.4085/1062-6050-521-18
5. Smucny M., Parikh S.N., Pandya N.K. Consequences of single sport specialization in the pediatric and adolescent athlete // *Orthop Clin North Am*. 2015. Vol. 46, N. 2. P. 249–258. doi: 10.1016/j.ocl.2014.11.004
6. Caine D., Di Fiori J., Maffulli N. Physeal injuries in children's and youth sports: reasons for concern? // *Br J Sports Med*. 2006. Vol. 40, N. 9. P. 749–760. doi: 10.1136/bjsm.2005.017822
7. Hawkins D., Metheny J. Overuse injuries in youth sports: biomechanical considerations // *Med Sci Sports Exerc*. 2001. Vol. 33, N. 10. P. 1701–1707. doi: 10.1097/00005768-200110000-00014
8. Архипова Ю.А., Веселкина Т.Е., Радовицкая Е.В., и др. Некоторые провоцирующие факторы возникновения спортивных травм в художественной гимнастике // Ученые записки университета им. П.Ф. Лесгафта. 2023. № 8(222). С. 21–26. EDN: BDNOTG doi: 10.34835/issn.2308-1961.2023.08.p21-26
9. Di Maria F., Testa G., Sammartino F., et al. Treatment of avulsion fractures of the pelvis in adolescent athletes: a scoping literature review // *Front Pediatr*. 2022. Vol. 10. doi: 10.3389/fped.2022.947463
10. Williams E., Lloyd R., Moeskops S., et al. Injury pathology in young gymnasts: a retrospective analysis // *Children (Basel)*. 2023. Vol. 10, N. 2. P. 303. doi: 10.3390/children10020303
11. Hart E., Meehan W.P. 3rd, Bae D.S., et al. The young injured gymnast: a literature review and discussion // *Curr Sports Med Rep*. 2018. Vol. 17, N. 11. P. 366–375. doi: 10.1249/JSR.0000000000000536
12. Торгашин А.Н., Родионова С.С., Шумский А.А., и др. Лечение асептического некроза головки бедренной кости. Клинические рекомендации // Научно-практическая ревматология. 2020. Т. 58, № 6. С. 637–645. EDN: EWKH0Y doi: 10.47360/1995-4484-2020-637-645
13. Blümel S., Leunig M., Manner H., et al. Avascular femoral head necrosis in young gymnasts: a pursuit of aetiology and management // *Bone Jt Open*. 2022. Vol. 3, N. 9. P. 666–673. doi: 10.1302/2633-1462.39.BJO-2022-0100.R1
14. Тихилов П.М., Шубняков И.И., Мясоедов А.А., и др. Сравнительная характеристика результатов лечения ранних стадий остеонекроза головки бедренной кости различными методами декомпрессии // Травматология и ортопедия России. 2016. Т. 22, № 3. EDN: WYPMTH doi: 10.21823/2311-2905-2016-22-3-7-21
15. Одарченко Д.И., Дзюба Г.Г., Ерофеев С.А., и др. Проблемы диагностики и лечения асептического некроза головки бедренной кости в современной травматологии и ортопедии (обзор литературы) // Гений ортопедии. 2021. Т. 27, № 2. С. 270–276. EDN: VQSUJQ doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-270-276
16. Migliorini F., Maffulli N., Baroncini A., et al. Failure and progression to total hip arthroplasty among the treatments for femoral head osteonecrosis: a Bayesian network meta-analysis // *Br Med Bull*. 2021. Vol. 138, N. 1. P. 112–125. doi: 10.1093/bmb/ldab006
17. Hines J.T., Jo W.L., Cui Q., et al. Osteonecrosis of the femoral head: an updated review of arco on pathogenesis, staging and treatment // *J Korean Med Sci*. 2021. Vol. 36, N. 24. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e177
18. Min B.W., Song K.S., Cho C.H., et al. Untreated asymptomatic hips in patients with osteonecrosis of the femoral head // *Clin Orthop Relat Res*. 2008. Vol. 466. P. 1087–1092. doi: 10.1007/s11999-008-0191-x
19. Cooper C., Steinbuch M., Stevenson R., et al. The epidemiology of osteonecrosis: findings from the GPRD and THIN databases in the UK // *Osteoporos Int*. 2010. Vol. 21, N. 4. P. 569–577. doi: 10.1007/s00198-009-1003-1
20. Calder J.D., Hine A.L., Pearse M.F., et al. The relationship between osteonecrosis of the proximal femur identified by MRI and lesions proven by histological examination // *J Bone Joint Surg Br*. 2008. Vol. 90, N. 2. P. 154–158. doi: 10.1302/0301-620X.90B2.19593
21. Тихилов П.М., Шубняков И.И., Коваленко А.Н., и др. Руководство по хирургии тазобедренного сустава. Т. 1. Санкт-Петербург: РНИИТО им. П.П. Вредена, 2014. EDN: TMKDDR
22. Radl R., Hungerford M., Materna W., et al. Higher failure rate and stem migration of an uncemented femoral component in patients with femoral head osteonecrosis than in patients with osteoarthritis // *Acta Orthop*. 2005. Vol. 76, N. 1. P. 49–55. doi: 10.1080/00016470510030319
23. Luke A., Lazaro R.M., Bergeron M.F., et al. Sportsrelated injuries in youth athletes: is overscheduling a risk factor? // *Clin J Sport Med*. 2011. Vol. 21, N. 4. P. 307–314. doi: 10.1097/JSM.0b013e3182218f71
24. Rose M.S., Emery C.A., Meeuwisse W.H. Sociodemographic predictors of sport injury in adolescents // *Med Sci Sports Exerc*. 2008. Vol. 40, N. 3. P. 444–450. doi: 10.1249/MSS.0b013e31815ce61a
25. Murray R.O., Duncan C. Athletic activity in adolescence as an etiological factor in degenerative hip disease // *J Bone Joint Surg Br*. 1971. Vol. 53, N. 3. P. 406–419.
26. Nepple J.J., Vigdorichik J.M., Clohisy J.C. What is the association between sports participation and the development of proximal femoral cam deformity? A systematic review and meta-analysis // *Am J Sports Med*. 2015. Vol. 43, N. 11. P. 2833–2840. doi: 10.1177/0363546514563909
27. Rosenfeld S.B., Herring J.A., Chao J.C. Legg-Calve-Perthes disease: a review of cases with onset before six years of age // *J Bone Joint Surg Am*. 2007. Vol. 89, N. 12. P. 2712–2722. doi: 10.2106/JBJS.G.00191
28. Mazda K., Pennecot G.F., Zeller R., et al. Perthes' disease after the age of twelve years. Role of the remaining growth // *J Bone Joint Surg Br*. 1999. Vol. 81, P. 696–698.
29. Zhi X., Wu H., Xiang C., et al. Incidence of total hip arthroplasty in patients with Legg-Calve-Perthes disease after conservative or surgical treatment: a meta-analysis // *Int Orthop*. 2023. Vol. 47, N. 6. P. 1449–1464. doi: 10.1007/s00264-023-05770-5
30. Ежов И.Ю. Ежов Ю.И. Посттравматический асептический некроз головки бедренной кости // Травматология и ортопедия России. 1996. № 1. С. 22–25.
31. Singh M., Singh B., Sharma K., et al. A molecular trioka of angiogenesis, coagulopathy and endothelial dysfunction in the pathology of avascular necrosis of femoral head: a comprehensive review // *Cells*. 2023. Vol. 12, N. 18. P. 2278. doi: 10.3390/cells12182278
32. Шабалдин Н.А., Шабалдин А.В. Молекулярные основы этиологии и патогенеза болезни Легга – Кальве – Пертеса и перспективы таргетной терапии (обзор литературы) // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2022. Т. 10, № 3. С. 295–307. EDN: VFUCXQ doi: 10.17816/PTORS101679

33. Kealey W.D., Mayne E.E., McDonald W., et al. The role of coagulation abnormalities in the development of Perthes' disease // *J Bone Joint Surg Br*. 2000. Vol. 82, N. 5. P. 744–746. doi: 10.1302/0301-620x.82b5.10183
34. Murray R.O., Duncan C. Athletic activity in adolescence as an etiological factor in degenerative hip disease // *J Bone Joint Surg Br*. 1971. Vol. 53, N. 3. P. 406–419.
35. McNitt-Gray J.L., Hester D.M., Mathiyakom W., et al. Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force // *J Biomech*. 2001. Vol. 34, N. 11. P. 1471–1482. doi: 10.1016/s0021-9290(01)00110-5
36. Nduaguba A.M., Sankar W.N. Osteonecrosis in adolescent girls involved in high-impact activities: could repetitive microtrauma be the cause?: a report of three cases // *JBS Case Connect*. 2014. Vol. 4, N. 2. P. e35. doi: 10.2106/JBS.CC.M.00273
37. Larson A.N., Kim H.K., Herring J.A. Female patients with late-onset Legg-Calve-Perthes disease are frequently gymnasts: is there a mechanical etiology for this subset of patients? // *J Pediatr Orthop*. 2013. Vol. 33, N. 8. P. 811–815. doi: 10.1097/BPO.000000000000096
38. Assouline-Dayan Y., Chang C., Greenspan A., et al. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis // *Semin Arthritis Rheum*. 2002. Vol. 32, N. 2. P. 94–124.
39. Mihara K., Hirano T. Standing is a causative factor in osteonecrosis of the femoral head in growing rats // *J Pediatr Orthop*. 1998. Vol. 18, N. 5. P. 665–669. doi: 10.1097/00004694-199809000-00022
40. Yoshida G., Hirano T., Shindo H. Deformation and vascular occlusion of the growing rat femoral head induced by mechanical stress // *J Orthop Sci*. 2000. Vol. 5, N. 5. P. 495–502. doi: 10.1007/s007760070029
41. Zhang J.F., Yang C.J., Wu T., et al. A two-degree-of-freedom hip exoskeleton device for an immature animal model of exercise-induced Legg-Calve-Perthes disease // *Proc Inst Mech Eng H*. 2009. Vol. 223, N. 8. P. 1059–1068. doi: 10.1243/09544119JEM597
42. Salter R.B. The effects of continuous compression on living articular cartilage an experimental investigation // *J Bone Joint Surg Am*. 1960. Vol. 42, N. 1. P. 31–90.
43. Georgiadis A.G., Seeley M.A., Yellin J.L., et al. The presentation of Legg-Calvé-Perthes disease in females // *J Child Orthop*. 2015. Vol. 9, N. 4. P. 243–247. doi: 10.1007/s11832-015-0671-y
44. Nötzli H.P., Siebenrock K.A., Hempfing A., et al. Perfusion of the femoral head during surgical dislocation of the hip. Monitoring by laser Doppler flowmetry // *J Bone Joint Surg Br*. 2002. Vol. 84, N. 2. P. 300–304. doi: 10.1302/0301-620x.84b2.12146
45. Ganz R., Huff T.W., Leunig M. Extended retinacular soft-tissue flap for intra-articular hip surgery: surgical technique, indications, and results of application // *Instr Course Lect*. 2009. Vol. 58. P. 241–255.
46. Luthra J.S., Al-Habsi S., Al-Ghanami S., et al. Understanding painful hip in young adults: a review article // *Hip Pelvis*. 2019. Vol. 31, N. 3. P. 129–135. doi: 10.5371/hp.2019.31.3.129
47. Hölmich P. Long-standing groin pain in sportspeople falls into three primary patterns, a "clinical entity" approach: a prospective study of 207 patients // *Br J Sports Med*. 2007. Vol. 41, N. 4. P. 247–252. doi: 10.1136/bjsm.2006.033373
48. Rossi F., Dragoni S. Acute avulsion fractures of the pelvis in adolescent competitive athletes: prevalence, location and sports distribution of 203 cases collected // *Skeletal Radiol*. 2001. Vol. 30, N. 3. P. 127–131. doi: 10.1007/s002560000319
49. Кожевников А.Н., Барсуков Д.Б., Губаева А.Р. Болезнь Легга – Кальве – Пертеса, протекающая с признаками остеоартрита: механизмы возникновения и перспективы консервативной терапии с применением бисфосфонатов // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2023. Т. 11, № 3. С. 405–416. doi: 10.17816/PTORS456498
50. Giraudo C., Fichera G., Pilati L., et al. COVID-19 musculoskeletal involvement in children // *Front Pediatr*. 2023. Vol. 11. doi: 10.3389/fped.2023.1200877
51. Башкова И.Б., Мадянов И.В., Михайлов А.С. Остеонекроз головки бедренной кости, индуцированный новой коронавирусной инфекцией // *Русский медицинский журнал*. 2022. № 6. С. 71–74. EDN: OORKN1
52. Hassan A.A.A., Khalifa A.A. Femoral head avascular necrosis in COVID-19 survivors: a systematic review // *Rheumatol Int*. 2023. Vol. 43, N. 9. P. 1583–1595. doi: 10.1007/s00296-023-05373-8
53. Assad S.K., Sabah M., Kakamad F.H., et al. Avascular necrosis of femoral head following COVID-19 infection // *Ann Med Surg (Lond)*. 2023. Vol. 85, N. 9. P. 4206–4210. doi: 10.1097/MS9.0000000000001098
54. Weber A.E., Bedi A., Tibor L.M., et al. The hyperflexible hip: managing hip pain in the dancer and gymnast // *Sports Health*. 2015. Vol. 7, N. 4. P. 346–358. doi: 10.1177/1941738114532431
55. Papavasiliou A., Siatras T., Bintoudi A., et al. The gymnasts' hip and groin: a magnetic resonance imaging study in asymptomatic elite athletes // *Skeletal Radiol*. 2014. Vol. 43, N. 8. P. 1071–1077. doi: 10.1007/s00256-014-1885-7
56. Grieser T. Atraumatische und aseptische Osteonekrose großer Gelenke // *Der Radiologe*. 2019. Vol. 59, N. 7. P. 647–662. doi: 10.1007/s00117-019-0560-3
57. Ganz R., Gill T.J., Gautier E., et al. Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis // *J Bone Joint Surg Br*. 2001. Vol. 83, N. 8. P. 1119–1124. doi: 10.1302/0301-620x.83b8.11964
58. Paley D. The treatment of femoral head deformity and coxa magna by the Ganz femoral head reduction osteotomy // *Orthop Clin North Am*. 2011. Vol. 42, N. 3. P. 389–399. doi: 10.1016/j.jocl.2011.04.006
59. Shannon B.D., Trousdale R.T. Femoral osteotomies for avascular necrosis of the femoral head // *Clin Orthop Relat Res*. 2004. N. 418. P. 34–40. doi: 10.1097/00003086-200401000-00007
60. Sodhi N., Acuna A., Etcheson J. Management of osteonecrosis of the femoral head: an up-to-date analysis of operative trends // *Bone Joint Lett J*. 2020. Vol. 102-B, N. 7 (Suppl. B). P. 122–128. doi: 10.1302/0301-620X.102B7BJJ-2019-1611.R1
61. Xie H., Wang B., Tian S., et al. Retrospective long-term follow-up survival analysis of the management of osteonecrosis of the femoral head with pedicled vascularized iliac bone graft transfer // *J Arthroplasty*. 2019. Vol. 34, N. 8. P. 1585–1592. doi: 10.1016/j.arth.2019.03.069
62. Cheng Q., Zhao F.C., Xu S.Z., et al. Modified trapdoor procedures using autogenous tricortical iliac graft without preserving the broken cartilage for treatment of osteonecrosis of the femoral head: a prospective cohort study with historical controls // *J Orthop Surg Res*. 2020. Vol. 15, N. 1. P. 1–8. doi: 10.1186/s13018-020-01691-w
63. Calori G.M., Mazza E., Colombo A., et al. Core decompression and biotechnologies in the treatment of avascular necrosis of the femoral head // *EFORT Open Rev*. 2017. Vol. 2, N. 2. P. 41–50. doi: 10.1302/2058-5241.2.150006
64. Саутина О.П., Хазов П.Д. МРТ-диагностика ранних стадий асептического некроза бедренных костей // *Российский медико-биологический вестник имени академика И.П. Павлова*. 2008. № 1. С. 50–56.
65. Glickstein M.F., Burk D.L., Schiebler M.L., et al. Avascular necrosis versus other diseases of the hip: sensitivity of MR imaging // *Radiology*. 1988. Vol. 169, N. 1. P. 213–215. doi: 10.1148/radiology.169.1.3420260

REFERENCES

- Samusenkov OI, Samusenkova EI, Bobrova DD. The importance of children's sports, student sports and elite sports in Russia. *Flagman of Science* 2023;5(5):501–503. EDN: EIAOHC
- Moreno-Agostino D, Daskalopoulou C, Wu YT, et al. The impact of physical activity on healthy ageing trajectories: evidence from eight cohort studies. *Int J Behav Nutr Phys Act.* 2020;17(1):92. doi: 10.1186/s12966-020-00995-8
- Kirzileeva VV, Pushkareva IN. The syndrome of «children's early sports», accompanied by forced training in athletics. In: *Current problems of science and education: materials of the International Forum dedicated to the 300th anniversary of the Russian Academy of Sciences, Ekaterinburg, December 12–13, 2022. Part 2.* Ekaterinburg: Ural State Pedagogical University, 2023. EDN: SCNEIE
- Bell DR, DiStefano L, Pandya NK, et al. The public health consequences of sport specialization. *J Athl Train.* 2019;54(10):1013–1020. doi: 10.4085/1062-6050-521-18
- Smucny M, Parikh SN, Pandya NK. Consequences of single sport specialization in the pediatric and adolescent athlete. *Orthop Clin North Am.* 2015;46(2):249–258. doi: 10.1016/j.ocl.2014.11.004
- Caine D, DiFiori J, Maffulli N. Physeal injuries in children's and youth sports: reasons for concern? *Br J Sports Med.* 2006;40(9):749–760. doi: 10.1136/bjsm.2005.017822
- Hawkins D, Metheny J. Overuse injuries in youth sports: biomechanical considerations. *Med Sci Sports Exerc.* 2001;33(10):1701–1707. doi: 10.1097/00005768-200110000-00014
- Arhipova YuA, Veselkina TE, Radovickaya EV, et al. Some provoking factors for the occurrence of sports injuries in rhythmic gymnastics. *Scientific notes of the University. P.F. Lesgafta.* 2023;8(222):21–26. EDN: BDNOTG doi: 10.34835/issn.2308-1961.2023.08.p21-26
- Di Maria F, Testa G, Sammartino F, et al. Treatment of avulsion fractures of the pelvis in adolescent athletes: a scoping literature review. *Front Pediatr.* 2022;10. doi: 10.3389/fped.2022.947463
- Williams E, Lloyd R, Moeskops S, et al. Injury pathology in young gymnasts: a retrospective analysis. *Children (Basel).* 2023;10(2):303. doi: 10.3390/children10020303
- Hart E, Meehan WP 3rd, Bae DS, et al. The young injured gymnast: a literature review and discussion. *Curr Sports Med Rep.* 2018;17(11):366–375. doi: 10.1249/JSR.00000000000000536
- Torgashin AN, Rodionova SS, SHumskij AA, et al. Treatment of aseptic necrosis of the femoral head. Clinical guidelines. *Rheumatology Science and Practice.* 2020;58(6):637–645. EDN: EWKHOY doi: 10.47360/1995-4484-2020-637-645
- Blümel S, Leunig M, Manner H, et al. Avascular femoral head necrosis in young gymnasts: a pursuit of aetiology and management. *Bone Jt Open.* 2022;3(9):666–673. doi: 10.1302/2633-1462.39.BJO-2022-0100.R1
- Tihilov RM, Shubnyakov II, Myasoedov AA, et al. Comparison of different core decompression techniques for treatment of early stages of osteonecrosis of the femoral head. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2016;56(3):637–645. EDN: WYPMTH doi: 10.21823/2311-2905-2016-22-3-7-21
- Odarchenko DI, Dzyuba GG, Erofeev SA, et al. Problems of diagnosis and treatment of aseptic necrosis of the femoral head in contemporary traumatology and orthopedics (literature review). *Orthopaedic Genius.* 2021;27(2):270–276. EDN: VQSUJQ doi: 10.18019/1028-4427-2021-27-2-270-276
- Migliorini F, Maffulli N, Baroncini A, et al. Failure and progression to total hip arthroplasty among the treatments for femoral head osteonecrosis: a Bayesian network meta-analysis. *Br Med Bull.* 2021;138(1):112–125. doi: 10.1093/bmb/ldab006
- Hines JT, Jo WL, Cui Q, et al. Osteonecrosis of the femoral head: an updated review of ARCO on pathogenesis, staging and treatment. *J Korean Med Sci.* 2021;36(24):e177. doi: 10.3346/jkms.2021.36.e177
- Min BW, Song KS, Cho CH, et al. Untreated asymptomatic hips in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2008;466:1087–1092. doi: 10.1007/s11999-008-0191-x
- Cooper C, Steinbuch M, Stevenson R, et al. The epidemiology of osteonecrosis: findings from the GPRD and THIN databases in the UK. *Osteoporos Int.* 2010;21:569–577. doi: 10.1007/s00198-009-1003-1
- Calder JD, Hine AL, Pearse MF, et al. The relationship between osteonecrosis of the proximal femur identified by MRI and lesions proven by histological examination. *J Bone Joint Surg Br.* 2008;90(2):154–158. doi: 10.1302/0301-620X.90B2.19593
- Tikhilov RM, Shubnyakov II, Kovalenko AN, et al. *Guide to surgery of the hip joint. Vol. 1.* Saint Petersburg: RNIITO im. R.R. Vredena; 2014. (In Russ.) EDN: TMKDDR
- Radl R, Hungerford M, Materna W, Rehak P, et al. Higher failure rate and stem migration of an uncemented femoral component in patients with femoral head osteonecrosis than in patients with osteoarthritis. *Acta Orthop.* 2005;76(1):49–55. doi: 10.1080/00016470510030319
- Luke A, Lazaro RM, Bergeron MF, et al. Sportsrelated injuries in youth athletes: is overscheduling a risk factor? *Clin J Sport Med.* 2011;21(4):307–314. doi: 10.1097/JSM.0b013e3182218f71
- Rose MS, Emery CA, Meeuwisse WH. Sociodemographic predictors of sport injury in adolescents. *Med Sci Sports Exerc.* 2008;40(3):444–50. doi: 10.1249/MSS.0b013e31815ce61a
- Murray RO, Duncan C. Athletic activity in adolescence as an etiological factor in degenerative hip disease. *J Bone Joint Surg Br.* 1971;53(3):406–419.
- Nepple JJ, Vigdorchik JM, Clohisy JC. What Is the association between sports participation and the development of proximal femoral cam deformity? A systematic review and meta-analysis. *Am J Sports Med.* 2015;43(11):2833–2840. doi: 10.1177/0363546514563909
- Rosenfeld SB, Herring JA, Chao JC. Legg-Calve-Perthes disease: a review of cases with onset before six years of age. *J Bone Joint Surg Am.* 2007;89(12):2712–2722. doi: 10.2106/JBJS.G.00191
- Mazda K, Pennecot GF, Zeller R, et al. Perthes' disease after the age of twelve years. Role of the remaining growth. *J Bone Joint Surg Br.* 1999;81:696–698.
- Zhi X, Wu H, Xiang C, et al. Incidence of total hip arthroplasty in patients with Legg-Calve-Perthes disease after conservative or surgical treatment: a meta-analysis. *Int Orthop.* 2023;47(6):1449–1464. doi: 10.1007/s00264-023-05770-5
- Ezhov IYu, Ezhov Yul. Post-traumatic aseptic necrosis of the femoral head. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 1996;(1):22–25. (In Russ.)
- Singh M, Singh B, Sharma K, et al. A molecular troika of angiogenesis, coagulopathy and endothelial dysfunction in the pathology of avascular necrosis of femoral head: a comprehensive review. *Cells.* 2023;12(18):2278. doi: 10.3390/cells12182278
- Shabaldin NA, Shabaldin AV. Molecular foundations of the etiology and pathogenesis of Legg-Calve-Perthes disease and pros-

- pects for targeted therapy: a literature review. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2022;10(3):295–307. EDN: VFUCXQ doi: 10.17816/PTORS101679
33. Kealey WD, Mayne EE, McDonald W, et al. The role of coagulation abnormalities in the development of Perthes' disease. *J Bone Joint Surg Br*. 2000;82(5):744–746. doi: 10.1302/0301-620x.82b5.10183
34. Murray RO, Duncan C. Athletic activity in adolescence as an etiological factor in degenerative hip disease. *J Bone Joint Surg Br*. 1971;53(3):406–419.
35. McNitt-Gray JL, Hester DM, Mathiyakom W, et al. Mechanical demand and multijoint control during landing depend on orientation of the body segments relative to the reaction force. *J Biomech*. 2001;34:1471–1482. doi: 10.1016/s0021-9290(01)00110-5
36. Nduaguba AM, Sankar WN. Osteonecrosis in adolescent girls involved in high-impact activities: could repetitive microtrauma be the cause?: a report of three cases. *JBJS Case Connect*. 2014;4(2):e35. doi: 10.2106/JBJS.CC.M.00273
37. Larson AN, Kim HK, Herring JA. Female patients with late-onset Legg-Calvé-Perthes disease are frequently gymnasts: is there a mechanical etiology for this subset of patients? *J Pediatr Orthop*. 2013;33(8):811–815. doi: 10.1097/BPO.0000000000000096
38. Assouline-Dayana Y, Chang C, Greenspan A, et al. Pathogenesis and natural history of osteonecrosis. *Semin Arthritis Rheum*. 2002;32(2):94–124.
39. Mihara K, Hirano T. Standing is a causative factor in osteonecrosis of the femoral head in growing rats. *J Pediatr Orthop*. 1998;18(5):665–669. doi: 10.1097/00004694-199809000-00022
40. Yoshida G, Hirano T, Shindo H. Deformation and vascular occlusion of the growing rat femoral head induced by mechanical stress. *J Orthop Sci*. 2000;5(5):495–502. doi: 10.1007/s007760070029
41. Zhang JF, Yang CJ, Wu T, et al. A two-degree-of-freedom hip exoskeleton device for an immature animal model of exercise-induced Legg-Calvé-Perthes disease. *Proc Inst Mech Eng H*. 2009;223(8):1059–1068. doi: 10.1243/09544119JEIM597
42. Salter RB. The effects of continuous compression on living articular cartilage an experimental investigation. *J Bone Joint Surg Am*. 1960;42(1):31–90.
43. Georgiadis AG, Seeley MA, Yellin JL, et al. The presentation of Legg-Calvé-Perthes disease in females. *J Child Orthop*. 2015;9(4):243–247. doi: 10.1007/s11832-015-0671-y
44. Nötzli HP, Siebenrock KA, Hempfing A, et al. Perfusion of the femoral head during surgical dislocation of the hip. Monitoring by laser Doppler flowmetry. *J Bone Joint Surg Br*. 2002;84(2):300–304. doi: 10.1302/0301-620x.84b2.12146
45. Ganz R, Huff TW, Leunig M. Extended retinacular soft-tissue flap for intra-articular hip surgery: surgical technique, indications, and results of application. *Instr Course Lect*. 2009;58:241–255.
46. Luthra JS, Al-Habsi S, Al-Ghanami S, et al. Understanding painful hip in young adults: a review article. *Hip Pelvis*. 2019;31(3):129–135. doi: 10.5371/hp.2019.31.3.129
47. Hölmich P. Long-standing groin pain in sportspeople falls into three primary patterns, a "clinical entity" approach: a prospective study of 207 patients. *Br J Sports Med*. 2007;41(4):247–252. doi: 10.1136/bjsm.2006.033373
48. Rossi F, Dragoni S. Acute avulsion fractures of the pelvis in adolescent competitive athletes: prevalence, location and sports distribution of 203 cases collected. *Skeletal Radiol*. 2001;30(3):127–131. doi: 10.1007/s002560000319
49. Kozhevnikov AN, Barsukov DB, Gubaeva AR. Legg-Calvé-Perthes disease presenting with osteoarthritis: Mechanisms of the development and prospects of conservative therapy using bisphosphonates. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2023;11(3):405–416. doi: 10.17816/PTORS456498
50. Giraudo C, Fichera G, Pilati L, et al. COVID-19 musculoskeletal involvement in children. *Front Pediatr*. 2023;11. doi: 10.3389/fped.2023.1200877
51. Bashkova IB, Madyanov IV, Mihajlov AS. Osteonecrosis of the femoral head induced by a new coronavirus infection. *Russian Medical Journal*. 2022;(6):71–74. EDN: OORKNI
52. Hassan AAA, Khalifa AA. Femoral head avascular necrosis in COVID-19 survivors: a systematic review. *Rheumatol Int*. 2023;43(9):1583–1595. doi: 10.1007/s00296-023-05373-8
53. Assad SK, Sabah M, Kakamad FH, et al. Avascular necrosis of femoral head following COVID-19 infection. *Ann Med Surg (Lond)*. 2023;85(9):4206–4210. doi: 10.1097/MS9.0000000000001098
54. Weber AE, Bedi A, Tibor LM, et al. The hyperflexible hip: managing hip pain in the dancer and gymnast. *Sports Health*. 2015;7(4):346–358. doi: 10.1177/1941738114532431
55. Papavasiliou A, Siatras T, Bintoudi A, et al. The gymnasts' hip and groin: a magnetic resonance imaging study in asymptomatic elite athletes. *Skeletal Radiol*. 2014;43(8):1071–1077. doi: 10.1007/s00256-014-1885-7
56. Grieser T. Atraumatische und aseptische Osteonekrose großer Gelenke. *Der Radiologe*. 2019;59(7):647–662. (In Ger.) doi: 10.1007/s00117-019-0560-3
57. Ganz R, Gill TJ, Gautier E, et al. Surgical dislocation of the adult hip a technique with full access to the femoral head and acetabulum without the risk of avascular necrosis. *J Bone Joint Surg Br*. 2001;83(8):1119–1124. doi: 10.1302/0301-620x.83b8.11964
58. Paley D. The treatment of femoral head deformity and coxa magna by the Ganz femoral head reduction osteotomy. *Orthop Clin North Am*. 2011;42(3):389–399. doi: 10.1016/j.jocl.2011.04.006
59. Shannon BD, Trousdale RT. Femoral osteotomies for avascular necrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res*. 2004;(418):34–40. doi: 10.1097/00003086-200401000-00007
60. Sodhi N., Acuna A., Etcheson J. Management of osteonecrosis of the femoral head: an up-to-date analysis of operative trends. *Bone Joint Lett J*. 2020;102(7 Suppl B):122–128. doi: 10.1302/0301-620X.102B7.BJJ-2019-1611.R1
61. Xie H, Wang B, Tian S, et al. D. Retrospective long-term follow-up survival analysis of the management of osteonecrosis of the femoral head with pedicled vascularized iliac bone graft transfer. *J Arthroplasty*. 2019;34(8):1585–1592. doi: 10.1016/j.arth.2019.03.069
62. Cheng Q, Zhao FC, Xu SZ, et al. Modified trapdoor procedures using autogenous tricortical iliac graft without preserving the broken cartilage for treatment of osteonecrosis of the femoral head: a prospective cohort study with historical controls. *J Orthop Surg Res*. 2020;15(1):1–8. doi: 10.1186/s13018-020-01691-w
63. Calori GM, Mazza E, Colombo A, et al. Core decompression and biotechnologies in the treatment of avascular necrosis of the femoral head. *EFORT Open Rev*. 2017;2(2):41–50. doi: 10.1302/2058-5241.2.150006
64. Sautina OP, Hazov PD. MRI-diagnostics early stage aseptic necrosis of the heads of the thighbone. *I.P. Pavlov Russian Medical Biological Herald*. 2008;(1):50–56. (In Russ.)
65. Glickstein MF, Burk DL, Schiebler ML, et al. Avascular necrosis versus other diseases of the hip: sensitivity of MR imaging. *Radiology*. 1988;169(1):213–215. doi: 10.1148/radiology.169.1.3420260

ОБ АВТОРАХ

*** Иван Юрьевич Поздников**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург, Пушкин,
ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: 0000-0002-7026-1586;
eLibrary SPIN: 3744-8613;
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Павел Игоревич Бортюлев, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-4931-2817;
eLibrary SPIN: 9903-6861;
e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Дмитрий Борисович Барсуков, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9084-5634;
eLibrary SPIN: 2454-6548;
e-mail: dbbarsukov@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

AUTHOR INFORMATION

*** Ivan Yu. Pozdnikin**, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin, Saint Petersburg,
196603, Russia;
ORCID: 0000-0002-7026-1586;
eLibrary SPIN: 3744-8613;
e-mail: pozdnikin@gmail.com

Pavel I. Bortulev, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0003-4931-2817;
eLibrary SPIN: 9903-6861;
e-mail: pavel.bortulev@yandex.ru

Dmitrii B. Barsukov, MD, PhD, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: 0000-0002-9084-5634;
eLibrary SPIN: 2454-6548;
e-mail: dbbarsukov@gmail.com