



ОТЁК КОСТНОГО МОЗГА И СИНОВИТ ПРИ РАННИХ СТАДИЯХ ОСТЕОНЕКРОЗА ГОЛОВКИ БЕДРЕННОЙ КОСТИ КАК ПРЕДИКТОРЫ НЕЭФФЕКТИВНОСТИ ДЕКОМПРЕССИИ ОЧАГА НЕКРОЗА

М.А. Панин^{1, 2}, Д.А. Ананьин², А.А. Ахпашев², М.Д. Абакиров², А.В. Бойко¹, Б.И. Захарян¹

¹Городская клиническая больница им. В.П. Демикова, ул. Шулева, д. 4, г. Москва, 109263, Россия

²Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы, ул. Миклухо-Маклая, д. 6, г. Москва, 117198, Россия

Резюме. *Введение.* Декомпрессия очага некроза является стандартным суставосохраняющим вмешательством при ранних стадиях остеонекроза головки бедренной кости, однако у части пациентов она оказывается неэффективной и в дальнейшем требует тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Выявление дополнительных предикторов неэффективности операции на дооперационном этапе остаётся актуальной клинической задачей. Перспективными МРТ-маркерами в этом отношении являются отёк костного мозга и синовит, однако их прогностическая значимость систематически не изучалась. *Цель:* оценить возможность использования МРТ-признаков отёка костного мозга и синовита в качестве предикторов неэффективности декомпрессии очага некроза при ранних стадиях остеонекроза головки бедренной кости. *Материалы и методы.* В проспективное исследование включены 100 пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости II стадии по классификации ARCO, которым выполнено хирургическое суставосохраняющее лечение – декомпрессия очага некроза. До операции всем пациентам проводилась МРТ тазобедренного сустава с оценкой наличия синовита и отёка костного мозга проксимального отдела бедра. Эффективность декомпрессии оценивалась по необходимости последующего тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. *Результаты.* В отсутствие МРТ-признаков синовита и отёка костного мозга декомпрессия оказалась неэффективной лишь у 5,9% пациентов. При изолированном синовите необходимость в тотальной артропластике возникла у 21,1% больных, при изолированном отёке костного мозга – у 20,0%, при сочетании обоих признаков – у 54,5%. *Заключение.* МРТ-признаки синовита и отёка костного мозга, особенно при их сочетании, являются значимыми предикторами неэффективности декомпрессии очага некроза при остеонекрозе головки бедренной кости II стадии по ARCO. Их выявление на дооперационном этапе должно учитываться при планировании объёма хирургического лечения и информировании пациента о вероятности последующего тотального эндопротезирования. МРТ с контрастным усилением представляется предпочтительным методом для оценки выраженности синовиального воспаления.

Ключевые слова / Keywords [MeSH]: остеонекроз головки бедренной кости / femur head necrosis [D005271]; декомпрессия очага некроза / decompression, surgical [D003653]; тотальное эндопротезирование тазобедренного сустава / arthroplasty, replacement, hip [D019644]; синовит / synovitis [D013585]; отёк костного мозга / bone marrow edema [-]; магнитно-резонансная томография / magnetic resonance imaging [D008279]; классификация ARCO / osteonecrosis [D010020]; предикторы неэффективности лечения / treatment failure [D016896].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена без спонсорской поддержки.

Соответствие нормам этики. Авторы подтверждают, что соблюдены права людей, принимавших участие в исследовании, включая получение информированного согласия в тех случаях, когда оно требовалось.

Для цитирования: Панин М.А., Ананьин Д.А., Ахпашев А.А., Абакиров М.Д., Бойко А.В., Захарян Б.И. Отёк костного мозга и синовит при ранних стадиях остеонекроза головки бедренной кости как предикторы неэффективности декомпрессии очага некроза. *Вестник медицинского института «РЕАВИЗ»: Реабилитация, Врач и Здоровье.* 2026;16(1):23-29. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2026.1.CLIN.2>



BONE MARROW EDEMA AND SYNOVITIS AS A PREDICTORS OF INEFFECTIVE CORE DECOMPRESSION IN THE EARLY STAGES OF FEMORAL HEAD OSTEONECROSIS

Mikhail A. Panin^{1,2}, Danila A. Anan'in², Aleksandr A. Akhpashev², Medetbek D. Abakirov²,
Andrey V. Boyko¹, Boris I. Zakharyan¹

¹City Clinical Hospital named after. V.P. Demikhova, st. Shkuleva, 4, Moscow, 109263, Russia

²Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia, st. Miklouho-Maklaya, 6, Moscow, 117198, Russia

Abstract. *Background.* Core decompression is the standard joint-preserving procedure for early-stage osteonecrosis of the femoral head; however, a proportion of patients experience treatment failure and subsequently require total hip arthroplasty. Identifying preoperative predictors of decompression failure remains an important clinical challenge. Bone marrow edema and synovitis, detectable on MRI, are potentially informative markers, but their prognostic value has not been systematically evaluated. *Objective.* To assess the value of MRI-detected bone marrow edema and synovitis as predictors of core decompression failure in early-stage osteonecrosis of the femoral head. *Materials and Methods.* One hundred patients with ARCO stage II osteonecrosis of the femoral head who underwent joint-preserving surgical treatment (core decompression) were enrolled in a prospective study. Preoperative MRI of the hip joint was performed in all patients, with assessment of synovitis and bone marrow edema of the proximal femur. Treatment efficacy was defined by the need for subsequent total hip arthroplasty. *Results.* In the absence of MRI signs of synovitis and bone marrow edema, core decompression failed in only 5.9% of patients. The rate of subsequent total hip arthroplasty was 21.1% in patients with isolated synovitis, 20.0% in those with isolated bone marrow edema, and 54.5% in patients presenting with both findings simultaneously. *Conclusion.* MRI signs of synovitis and bone marrow edema – particularly in combination – are significant predictors of core decompression failure in ARCO stage II osteonecrosis of the femoral head. Their preoperative identification should be incorporated into surgical planning and patient counseling regarding the likelihood of future total hip arthroplasty. Contrast-enhanced MRI is recommended to accurately assess the extent of synovial inflammation.

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

Funding. This research received no external funding.

Compliance with ethical standards. The authors confirm that the rights of the subjects participating in the study were respected, including obtaining informed consent where required.

Cite as: Panin M.A., Anan'in D.A., Akhpashev A.A., Abakirov M.D., Boyko A.V., Zakharyan B.I. Bone marrow edema and synovitis as a predictors of ineffective core decompression in the early stages of femoral head osteonecrosis. *Bulletin of the Medical Institute "REAVIZ": Rehabilitation, Doctor and Health.* 2026;16(1):23-29. <https://doi.org/10.20340/vmi-rvz.2026.1.CLIN.2>

ВВЕДЕНИЕ

Современные классификации остеонекроза головки бедренной кости позволяют дифференцировать ранние (преколлаптоидные) и поздние стадии заболевания. Общепринятым является мнение о необходимости тотального эндопротезирования тазобедренного сустава (ТЭТС) при III-IV стадиях остеонекроза, тогда как при I-II стадиях достаточно успешно применяется декомпрессия очага некроза в различных модификациях. Эффективность декомпрессии очага некроза не является стопроцентной, в связи с чем целесообразен поиск факторов, снижающих успех суставосохраняющих операций.

Известно, что объём и локализация очага некроза, наличие субхондрального перелома влияют на эффективность оперативного лечения. В частности, большой объём очага некроза снижает эффективность декомпрессии [1, 2]. Одним из предикторов коллапса головки бедренной кости считают также определенные численные значения, характеризующие дугу суставной поверхности [3, 4]. Неблагоприятным фактором также считается расположение очага остеонекроза на передне-боковой поверхности головки бедренной кости [5-9]. Наличие субхондрального перелома, по мнению некоторых авторов, должно являться показанием к тотальной артропластике [10-12].

При анализе отдалённых результатов декомпрессии очага некроза у пациентов с ранними стадиями остеонекроза головки бедренной кости нами были обнаружены некоторые взаимосвязи с наличием синовита и отека костного мозга (МРТ-признаки).

Также группа авторов отметила связь синовита тазобедренного сустава и отёка костного мозга с неблагоприятным течением остеонекроза головки бедренной кости [13-17].

Помимо этого, в литературе встречаются немногочисленные исследования, указывающие на неблагоприятное влияние данных радиологических признаков отёка костного мозга на успешность суставосохраняющих операций [18-22].

В связи с вышеизложенным нами было проведено исследование, целью которого явилось определение возможности учёта отёка костного мозга и синовита в качестве предикторов эффективности декомпрессии очага некроза при ранних стадиях остеонекроза головки бедренной кости.

ЦЕЛЬ ИССЛЕДОВАНИЯ: определение возможности учёта отёка костного мозга и синовита в качестве предикторов неэффективности декомпрессии очага некроза при ранних стадиях остеонекроза головки бедренной кости.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования включал анализ зависимости эффективности декомпрессии очага некроза от наличия МРТ-признаков синовита, отёка костного мозга и их сочетания.

Проведение данного исследования было одобрено Этическими комитетами ГБУЗ «ГКБ им. В.П. Демидова ДЗ г. Москвы и Российского университета дружбы народов. Всеми пациентами было подписано информированное согласие на участие в исследовании и на деперсонализированное использование данных их медицинской документации.

В исследование были включены больные с остеонекрозом головки бедренной кости (n=100). Критериями включения явились II стадия остеонекроза по классификации ARCO, оперативное лечение в объёме декомпрессии очага некроза, возможность наблюдения за пациентами на протяжении 24 месяцев.

Возраст пациентов варьировал от 26 до 56 лет, женщин было 22, мужчин – 78. Анализ факторов риска остеонекроза головки бедренной кости показал, что из 100 человек 22 длительно принимали кортикостероиды (стероидиндуцированный некроз), 19 злоупотребляли алкоголем (алкогольиндуцированный некроз), 11 отмечали травму тазо-

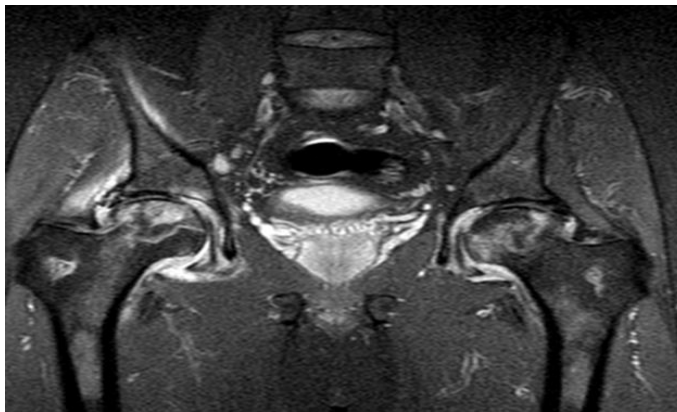
бедренного сустава в прошлом. У остальных 48 пациентов известных факторов риска не выявлено (идиопатический некроз).

Из 100 обследованных пациентов остеонекроз головки бедренной кости сопровождался изолированным синовитом у 19, изолированным отёком костного мозга – у 25, сочетанием синовита и отёка – у 22 (рис. 1). У 34 пациентов МРТ-признаков синовита и отёка костного мозга не выявлено.

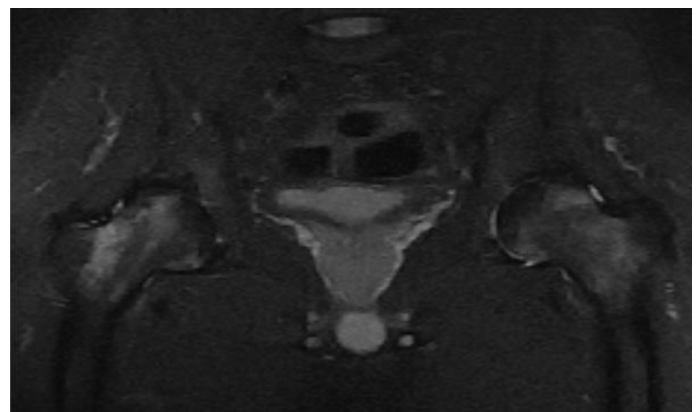
Обследованные пациенты были разделены на подгруппы с учётом наличия или отсутствия МРТ-признаков синовита, отёка костного мозга и их сочетания (рис. 2).

Выделенные подгруппы были сопоставимы по возрасту, патогенетической структуре остеонекроза и отягощённости соматического анамнеза.

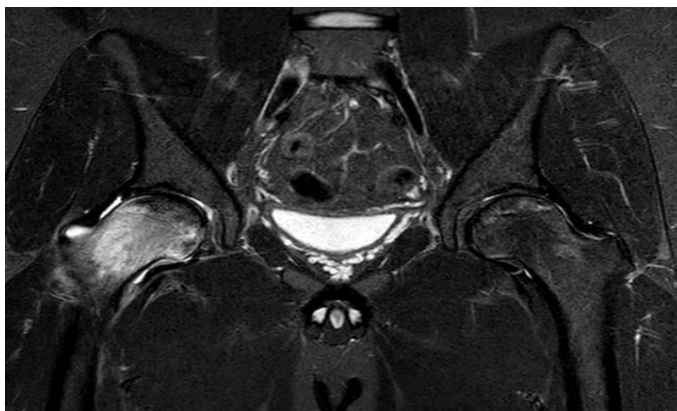
С целью лечения остеонекроза головки бедренной кости I-II стадий у 24 больных произведена классическая декомпрессия очага некроза (туннелизация), у 26 – декомпрессия очага некроза с костной аутопластикой, у 31 – декомпрессия очага некроза с костной аутопластикой и введением плазмы, обогащенной факторами роста (PRGF), у 19 – декомпрессия очага некроза с костной аутопластикой и введением концентрата костного мозга (BMAC).



А



Б



В

Рисунок 1. МР-томограммы синовита, отёка костного мозга и их сочетания при остеонекрозе головки бедренной кости. А. Асептический некроз головок бедренных костей II ст. Синовит тазобедренных суставов. Б. Асептический некроз головок бедренных костей II ст. Отёк костного мозга проксимального отдела бедренных костей. В. Асептический некроз головок бедренных костей II ст. справа – выраженные явления синовита и отёка костного мозга проксимального отдела бедренной кости

Figure 1. MRI scans showing synovitis, bone marrow edema, and their combination in osteonecrosis of the femoral head. A. Stage II avascular necrosis of the femoral heads. Synovitis of the hip joints. B. Stage II avascular necrosis of the femoral heads. Bone marrow edema of the proximal femur. C. Stage II avascular necrosis of the femoral heads. Right side – pronounced synovitis and bone marrow edema of the proximal femur

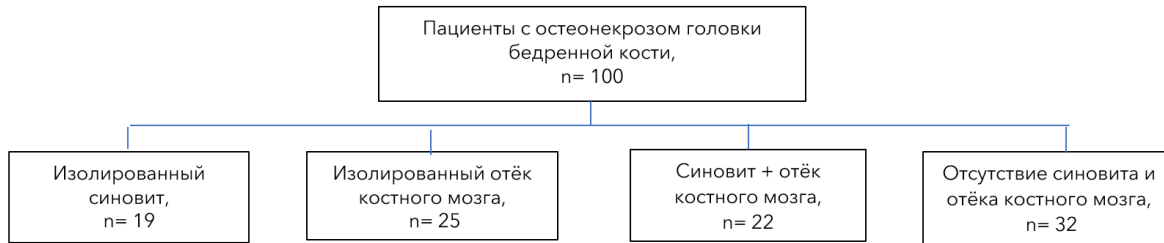


Рисунок 2. Распределение пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости по подгруппам в зависимости от наличия или отсутствия МРТ-признаков синовита и отёка костного мозга

Figure 2. Distribution of patients with osteonecrosis of the femoral head into subgroups according to the presence or absence of MRI signs of synovitis and bone marrow edema

Результаты оперативного лечения оценивались через 3, 6, 12, 24 месяца после декомпрессии очага некроза.

В целом в когорте пациентов ($n=100$) эффективность декомпрессии очага некроза составила 77,0%. У 23 пациентов потребовалось ТЭТС. Достоверность различий между группами определялась в программе MEDSTATISTIC (medstatistic.ru) при подсчете значения p по критерию χ^2 Пирсона и по точному двустороннему тесту Фишера. Различия считались достоверными при $p < 0,05$. Для количественного определения силы связи между событиями рассчитывалось отношение шансов.

РЕЗУЛЬТАТЫ

При наличии изолированного синовита на фоне остеонекроза головки бедренной кости декомпрессия очага некроза оказалась эффективной у 15 из 19 пациентов, ТЭТС потребовалось у 4 (21,1%). Из 25 пациентов с сопутствующим изолированным отёком костного мозга, декомпрессия очага некроза была эффективной у 20, у 5 человек потребовалось ТЭТС (20,0%) в связи с неэффективной суставосохраняющей операцией. У 22 пациентов остеонекроз головки бедренной кости сочетался и с синовитом, и с отёком костного мозга. При сочетании синовита и отёка костного мозга декомпрессия очага некроза была эффективной у 10 больных, о чем свидетельствовали снижение/устранение болевого синдрома и восстановление полноценности функции тазобедренного сустава. У 12 пациентов суставосохраняющая операция оказалась неэффективной, потребовалось ТЭТС (54,5%). Из 34 пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости и отсутствием синовита и отёка костного мозга декомпрессия очага некроза была эффективной у 32 человек и лишь у 2 потребовалось ТЭТС (5,9%).

Сравнительная диаграмма, на которой представлена частота необходимости ТЭТС после декомпрессии очага некроза при остеонекрозе головки бедренной кости с учётом наличия или отсутствия признаков синовита и отёка костного мозга по данным МРТ, приведена ниже (рис. 3).

При статистическом анализе наличие высоко достоверных различий установлено между группой с отсутствием отёка костного мозга и синовита и группой с наличием сочетания данных признаков: критерий $\chi^2 < 0,001$ (16,870), критерий Фишера $p < 0,05$ (0,00007).

Для количественного определения силы связи между наличием МРТ-признаков синовита и отёка костного мозга и необходимостью ТЭТС при неэффективности декомпрессии очага некроза было рассчитано отношение шансов.

Установлено, что наличие синовита (изолированного и в сочетании с отёком костного мозга) в 4,754 раза повышает риск неэффективности суставосохраняющей операции при остеонекрозе головки бедренной кости и, соответственно, риск ТЭТС. Наличие отёка костного мозга (изолированного и в сочетании с синовитом) в 4,439 раза повышает риск необходимости ТЭТС. Наиболее значимым фактором прогноза неэффективности декомпрессии очага некроза явилось сочетание синовита и отёка костного мозга, при котором риск ТЭТС в 7,309 выше, чем в отсутствие синовита и отёка костного мозга (рис. 4).

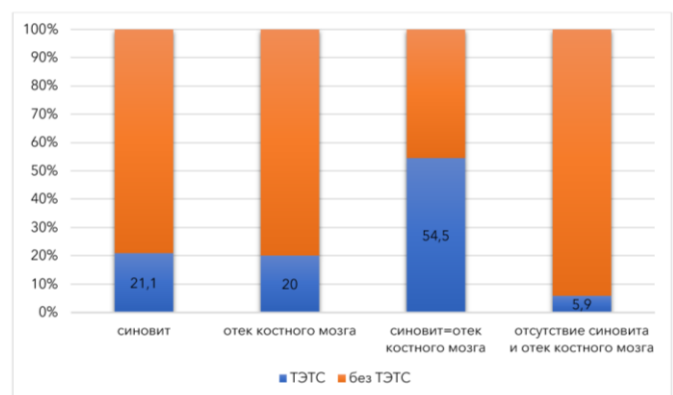


Рисунок 3. Необходимость ТЭТС после декомпрессии очага некроза при наличии и отсутствии синовита и отёка костного мозга по данным МРТ

Figure 3. Rate of total hip arthroplasty following core decompression in patients with and without MRI signs of synovitis and bone marrow edema

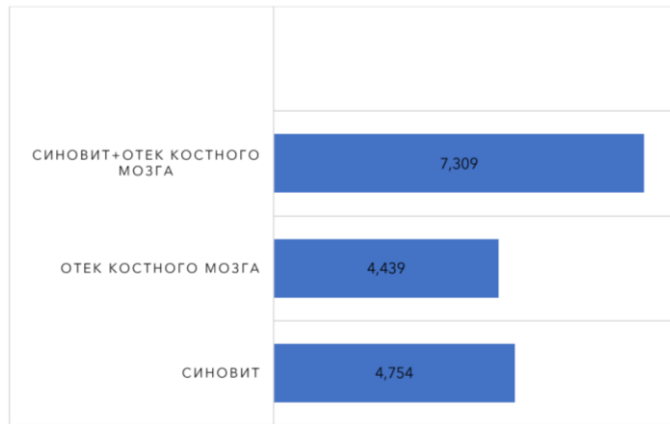


Рисунок 4. Риск неэффективности декомпрессии очага некроза при наличии МРТ-признаков синовита и отёка костного мозга (отношение шансов)

Figure 4. Risk of core decompression failure in the presence of MRI signs of synovitis and bone marrow edema (odds ratio)

Наиболее неблагоприятным прогностическим признаком является сочетание синовита и отёка костного мозга, которое более чем семикратно повышает шанс неэффективности декомпрессии очага некроза.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящем исследовании частота выявления синовита (изолированно и в сочетании с отёком костного мозга) составила 41,0%. В работе В.Ж. Rabqueг и соавт. отмечена более высокая частота синовита – 65% [19].

Следует, впрочем, отметить, что авторами рассматривались не только ранние стадии остеонекроза головки бедренной кости. Н. Hatanaka и соавт. показано, что объём синовиального воспаления возрастает при прогрессировании остеонекроза от 680 ± 690 мм³ при I стадии до $13,850 \pm 7,110$ мм³ при III стадии [23].

Отек костного мозга (изолированного и сочетанного с синовитом) отмечен нами у 47% больных с остеонекрозом головки бедренной кости. Сходную частоту встречаемости отёка костного мозга (48%) отмечают и другие авторы [18].

По данным Y.M. Kim и соавт. частота выявления отека костного мозга нарастает по мере нарастания

тяжести остеонекроза, составляя при III стадии заболевания 88% [24].

В рамках данного исследования было установлено, что на риск необходимости ТЭТС после декомпрессии очага некроза значимое влияние оказывает сочетание синовита и отёка костного мозга по данным МРТ. Затруднительно сопоставить полученные нами данные с данными литературы, так как аналогичных исследований не обнаружено. Одним из немногих является исследование S. lida и соавт., которое посвящено отёку костного мозга и его влиянию на течение остеонекроза головки бедренной кости. Авторами при исследовании 48 головок бедренной кости с остеонекрозом и сопутствующим отёком костного мозга, не пролеченных хирургическим путём, через 14 недель было выявлено прогрессирование заболевания у 85,4% больных [25].

Weі Q. и др. пролечили 372 пациента и отметили, что отёк костного мозга и синовит тазобедренного сустава являются предшественниками коллапса головки бедренной кости и стойкого болевого синдрома у пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости ($p < 0,05$) [26].

Логично предположить, что отёк костного мозга указывает на высокий риск прогрессирования остеонекроза до коллапса головки бедренной кости.

Как установлено, наличие синовита (изолированного и в сочетании с отёком костного мозга) в 4,754 раза повышает риск неэффективности суставосохраняющей операции при остеонекрозе головки бедренной кости и, соответственно, риск ТЭТС. Отмечая значимую роль синовита при остеонекрозе головки бедренной кости, Н. Hatanaka и соавт. указывают на целесообразность определения объёма синовиального воспаления при МРТ с контрастированием [23].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Результаты проведённого исследования позволяют заключить, что МРТ-признаки синовита и отёка костного мозга (особенно в сочетании), сопутствующие остеонекрозу головки бедренной кости преколлаптоидных стадий, должны расцениваться в качестве предикторов неэффективности декомпрессии очага некроза и необходимости тотального эндопротезирования тазобедренного сустава.

Литература [References]

- Steinberg ME, Bands RE, Parry S, Hoffman E, Chan T, Hartman KM. Does lesion size affect the outcome in avascular necrosis? *Clin Orthop Relat Res.* 1999 Oct;(367):262-71. PMID: 10546624.
- Nam KW, Kim YL, Yoo JJ, Koo KH, Yoon KS, Kim HJ. Fate of untreated asymptomatic osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am.* 2008 Mar;90(3):477-84. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.01582>. PMID: 18310696.
- Kerboul M, Thomine J, Postel M, Merle d'Aubigné R. The conservative surgical treatment of idiopathic aseptic necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Br.* 1974 May;56(2):291-6. PMID: 4854691.
- Koo KH, Kim R. Quantifying the extent of osteonecrosis of the femoral head. A new method using MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 1995 Nov;77(6):875-80. PMID: 7593098.

- 5 Takashima K, Sakai T, Hamada H, Takao M, Sugano N. Which Classification System Is Most Useful for Classifying Osteonecrosis of the Femoral Head? *Clin Orthop Relat Res*. 2018 Jun;476(6):1240-1249. <https://doi.org/10.1007/s11999-0000000000000245>. PMID: 29547501; PMCID: PMC6125745.
- 6 Väänänen M, Tervonen O, Nevalainen MT. Magnetic resonance imaging of avascular necrosis of the femoral head: predictive findings of total hip arthroplasty. *Acta Radiol Open*. 2021 Apr 27;10(4):20584601211008379. <https://doi.org/10.1177/20584601211008379>. PMID: 35140984; PMCID: PMC8819766.
- 7 Di Martino A, Brunello M, Villari E, Cataldi P, D'Agostino C, Faldini C. Bone marrow edema of the hip: a narrative review. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023 Nov;143(11):6901-6917. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-04961-4>. Epub 2023 Jun 28. PMID: 37378892.
- 8 Kindt M, Jönsson ML, Torfing T, Strøm Rönquist S, Viberg B, Overgaard S, Rogmark C. Assessing osteonecrosis of the femoral head after internal fixation of femoral neck fractures in young patients with fixation implants in situ: the value of MARS MRI in relation to conventional radiography and patient-reported outcomes. *Acta Orthop*. 2023 Mar 31;94:135-140. <https://doi.org/10.2340/17453674.2023.11658>. PMID: 36999919; PMCID: PMC10065120.
- 9 Kim J, Lee SK, Kim JY, Kim JH. CT and MRI findings beyond the subchondral bone in osteonecrosis of the femoral head to distinguish between ARCO stages 2 and 3A. *Eur Radiol*. 2023 Jul;33(7):4789-4800. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-09403-8>. Epub 2023 Jan 14. PMID: 36640174.
- 10 Choi HR, Steinberg ME, Y Cheng E. Osteonecrosis of the femoral head: diagnosis and classification systems. *Curr Rev Musculoskelet Med*. 2015 Sep;8(3):210-20. <https://doi.org/10.1007/s12178-015-9278-7>. PMID: 26088795; PMCID: PMC4596207.
- 11 Hevesi M, Chahla J. Editorial Commentary: Hip Chondral Defect Treatment Requires Cells, Signal, and Scaffold: The Chef Is In the Kitchen. *Arthroscopy*. 2022 Oct;38(10):2827-2828. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2022.06.007>. PMID: 36192044.
- 12 Westermann RW, Nepple JJ, Pascual-Garrido C, Larson CM, Zaltz I, Beaulé PE; ANCHOR Study Group; Kim YJ, Millis M, Sucato DJ, Sink EL, Sierra RJ, Podeszwa DA, Sankar WN, Bedi A, Matheney TH, Novais EN, Belzile EL, Clohisey JC. The Impact of Age on Clinical Outcomes of Acetabular Microfracture During FAI Surgery. *Am J Sports Med*. 2023 Aug;51(10):2559-2566. <https://doi.org/10.1177/03635465231184398>. Epub 2023 Jul 20. PMID: 37470491.
- 13 Yokota S, Shimizu T, Matsumae G, Ebata T, Alhasan H, Takahashi D, Terkawi MA, Iwasaki N. Inflammation Activation in the Hip Synovium of Rapidly Destructive Coxopathy Patients and Its Relationship with the Development of Synovitis and Bone Loss. *Am J Pathol*. 2022 May;192(5):794-804. <https://doi.org/10.1016/j.ajpath.2022.02.003>. Epub 2022 Mar 12. PMID: 35292262.
- 14 Han J, Gao F, Li Y, Ma J, Sun W, Shi L, Wu X, Li T. The Use of Platelet-Rich Plasma for the Treatment of Osteonecrosis of the Femoral Head: A Systematic Review. *Biomed Res Int*. 2020 Mar 7;2020:2642439. <https://doi.org/10.1155/2020/2642439>. PMID: 32219128; PMCID: PMC7081027.
- 15 Li M, Shao Z, Zhu H, Zhang Y. The diagnosis and treatment of septic hip with osteonecrosis of the femoral head. *J Orthop Surg Res*. 2024 Jan 9;19(1):46. <https://doi.org/10.1186/s13018-023-04518-6>. PMID: 38195515; PMCID: PMC10775663.
- 16 Geith T, Stellwag AC, E Müller P, Reiser M, Baur-Melnyk A. Is bone marrow edema syndrome a precursor of hip or knee osteonecrosis? Results of 49 patients and review of the literature. *Diagn Interv Radiol*. 2020 Jul;26(4):355-362. <https://doi.org/10.5152/dir.2020.19188>. PMID: 32558648; PMCID: PMC7360071.
- 17 Hernigou J, Verdonk P, Homma Y, Verdonk R, Goodman SB, Hernigou P. Nonoperative and Operative Bone and Cartilage Regeneration and Orthopaedic Biologics of the Hip: An Orthoregeneration Network (ON) Foundation Hip Review. *Arthroscopy*. 2022 Feb;38(2):643-656. <https://doi.org/10.1016/j.arthro.2021.08.032>. Epub 2021 Sep 8. PMID: 34506886.
- 18 Huang GS, Chan WP, Chang YC, Chang CY, Chen CY, Yu JS. MR imaging of bone marrow edema and joint effusion in patients with osteonecrosis of the femoral head: relationship to pain. *AJR Am J Roentgenol*. 2003 Aug;181(2):545-9. <https://doi.org/10.2214/ajr.181.2.1810545>. PMID: 12876044.
- 19 Rabquer BJ, Tan GJ, Shaheen PJ, Haines GK 3rd, Urquhart AG, Koch AE. Synovial inflammation in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Clin Transl Sci*. 2009 Aug;2(4):273-8. <https://doi.org/10.1111/j.1752-8062.2009.00133.x>. PMID: 20443906; PMCID: PMC2925228.
- 20 Klontzas ME, Vassalou EE, Spanakis K, Meurer F, Woertler K, Zibis A, Marias K, Karantanis AH. Deep learning enables the differentiation between early and late stages of hip avascular necrosis. *Eur Radiol*. 2024 Feb;34(2):1179-1186. <https://doi.org/10.1007/s00330-023-10104-5>. Epub 2023 Aug 15. PMID: 37581656; PMCID: PMC10853078.
- 21 Конеv В.А., Тихилов Р.М., Шубняков И.И., Мясоедов А.А., Денисов А.О. Эффективность использования биорезорбируемых материалов для заполнения костных полостей при остеонекрозе головки бедренной кости. *Травматология и ортопедия России*. 2014;20(3): 28-38. Konev V.A., Tikhilov R.M., Shubnyakov I.I., Myasoedov A.A., Denisov A.O. Bioresorbable materials for bone defects substitution in patients with osteonecrosis of the femoral head. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2014;20(3): 28-38. (In Russ.). <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2014-0-3-28-38>
- 22 Wang P, Wang C, Meng H, Liu G, Li H, Gao J, Tian H, Peng J. The Role of Structural Deterioration and Biomechanical Changes of the Necrotic Lesion in Collapse Mechanism of Osteonecrosis of the Femoral Head. *Orthop Surg*. 2022 May;14(5):831-839. <https://doi.org/10.1111/os.13277>. Epub 2022 Apr 21. PMID: 35445585; PMCID: PMC9087473.
- 23 Hatanaka H, Motomura G, Ikemura S, Kubo Y, Utsunomiya T, Baba S, Nakashima Y. Volume of hip synovitis detected on contrast-enhanced magnetic resonance imaging is associated with disease severity after collapse in osteonecrosis of the femoral head. *Skeletal Radiol*. 2019 Aug;48(8):1193-1200. <https://doi.org/10.1007/s00256-019-3158-y>. Epub 2019 Jan 29. PMID: 30697641.
- 24 Kim YM, Oh HC, Kim HJ. The pattern of bone marrow oedema on MRI in osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Br*. 2000 Aug;82(6):837-41. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.82b6.10740>. PMID: 10990307.
- 25 Iida S, Harada Y, Shimizu K, Sakamoto M, Ikenoue S, Akita T, Kitahara H, Moriya H. Correlation between bone marrow edema and collapse of the femoral head in steroid-induced osteonecrosis. *AJR Am J Roentgenol*. 2000 Mar;174(3):735-43. <https://doi.org/10.2214/ajr.174.3.1740735>. PMID: 10701618.
- 26 Wei Q, He W, Zhang Q, Chen Z, Zheng Y, Lin T. [Clinical significance of different imaging manifestations of osteonecrosis of femoral head in the peri-collapse stage]. *Zhongguo Xiu Fu Chong Jian Wai Ke Za Zhi*. 2021 Sep 15;35(9):1105-1110. Chinese. <https://doi.org/10.7507/1002-1892.202103221>. PMID: 34523274; PMCID: PMC8444142.

Авторская справка**Панин Михаил Александрович**

Канд. мед. наук, врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №3, Городская клиническая больница им. В.П. Демикова; доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы. SPIN-код: 5834-3500; panin-mihail@yandex.ru
Вклад автора: координация участников исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Ананьин Данила Алексеевич

Канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы. ORCID 0000-0003-0032-4710; SPIN-код: 1446-8368; Ananuins@list.ru +79168218388
Вклад автора: разработка концепции и дизайна исследования, интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Ахпашев Александр Анатольевич

Канд. мед. наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы. SPIN-код: 9965-1828; akhpashev@yandex.ru
Вклад автора: интерпретация и анализ полученных данных, редактирование.

Абакиров Медетбек Джумабекович

Доктор медицинских наук, доцент кафедры травматологии и ортопедии, Российский университет дружбы народов имени Патриса Лумумбы. SPIN-код: 5099-0493; medetbek@mail.ru +79261880303
Вклад автора: поиск литературы, редактирование.

Бойко Андрей Викторович

Врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии №3, Городская клиническая больница им. В.П. Демикова. boiko120393@gmail.com +79299103699- автор ответственный за переписку
ORCID 0000-0002-7829-2045; SPIN-код: 4543-7879
Вклад автора: сбор и обработка материала, проведение исследований, подготовка текста.

Захарян Борис Игоревич

Врач травматолог-ортопед отделения травматологии и ортопедии № 1, Городская клиническая больница им. В.П. Демикова. Boriszaxaryan@gmail.com
Вклад автора: анализ полученных данных, поиск литературы, редактирование.

Author's reference**Mikhail A. Panin**

Cand. Sci. (Med.), traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics No. 3, V.P. Demikhov City Clinical Hospital; Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia. SPIN: 5834-3500; panin-mihail@yandex.ru
Author's contribution: coordination of study participants, interpretation and analysis of data, editing.

Danila A. Anan'in

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia. ORCID 0000-0003-0032-4710; SPIN: 1446-8368; Ananuins@list.ru +79168218388
Author contributions: study concept and design development, data interpretation and analysis, editing.

Aleksandr A. Akhpashev

Cand. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia. SPIN: 9965-1828; akhpashev@yandex.ru
Author contributions: data interpretation and analysis, editing.

Medetbek D. Abakirov

Dr. Sci. (Med.), Associate Professor, Department of Traumatology and Orthopedics, Patrice Lumumba Peoples' Friendship University of Russia. SPIN: 5099-0493; medetbek@mail.ru +79261880303
Author contributions: literature search, editing.

Andrey V. Boyko

Traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics No. 3, V.P. Demikhov City Clinical Hospital. boiko120393@gmail.com +79299103699 - corresponding author
ORCID 0000-0002-7829-2045; SPIN code: 4543-7879
Author's contribution: data collection and processing, research, text preparation.

Boris I. Zakharyan

Traumatologist-orthopedist, Department of Traumatology and Orthopedics No. 1, V.P. Demikhov City Clinical Hospital. Boriszaxaryan@gmail.com
Author's contribution: data analysis, literature search, editing.