

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto59746>

Декомпрессия очага некроза головки бедренной кости. Обзор литературы

© М.А. Панин¹, Н.В. Загородний^{1,2}, М.Д. Абакиров¹, А.В. Бойко^{*1}, Д.А. Ананьин¹

¹ Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Российский университет дружбы народов», Москва

² Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии имени Н.Н. Приорова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Москва

Остеонекроз головки бедренной кости (ОГБК) — рефрактерное заболевание, характеризующееся гибелью остеоцитов и костного мозга, приводящее к коллапсу головки бедренной кости и нарушению функции тазобедренного сустава. Существует множество известных факторов риска развития данного заболевания, среди которых травма тазобедренного сустава, гемоглобинопатии, алкоголизм, прием кортикостероидов, коллагенозы и др. Консервативное лечение (медикаментозная терапия с использованием сосудистых препаратов, бисфосфонатов, хондропротекторов, нестероидных противовоспалительных средств, физиотерапия, лечебная физкультура) показано на любой стадии заболевания, однако оперативное лечение обладает более высоким потенциалом. Залогом успешного лечения является выявление ОГБК на ранней (преколлапсной) стадии для предотвращения последующего коллапса, путем выполнения органосохраняющих оперативных вмешательств, которые снижают скорость прогрессирования заболевания и позволяют отсрочить замену тазобедренного сустава. В литературе описан целый ряд органосохраняющих операций, выполняемых на ранней стадии ОГБК. В настоящее время выделяют три основных направления хирургического лечения данного заболевания: классическая декомпрессия головки бедренной кости, декомпрессия с применением различного рода трансплантатов, а также комбинированное лечение с применением различных клеточных технологий. Данный обзор литературы посвящен рассмотрению показаний к выполнению, а также результатов лечения пациентов при помощи приведенных выше методик.

Ключевые слова: аваскулярный некроз; нетравматический асептический некроз головки бедренной кости; декомпрессия головки бедренной кости.

Как цитировать:

Панин М.А., Загородний Н.В., Абакиров М.Д., Бойко А.В., Ананьин Д.А. Декомпрессия очага некроза головки бедренной кости. Обзор литературы // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2021. Т. 28, № 1. С. 65–76. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto59746>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto59746>

Core decompression of the femoral head. Literature review

© Mikhail A. Panin ¹, Nikolay V. Zagorodniy ^{1,2}, Medetbek D. Abakirov ¹,
Andrei V. Boiko ^{*1}, Danila A. Ananin ¹

¹ Peoples Friendship University of Russia, Moscow, Russia;

² N.N. Priorov National Medical Research Center, Moscow, Russia

Avascular necrosis (AVN) of the femoral head is a disease, characterized by the death of osteocytes and bone marrow, leading to collapse of the femoral head and dysfunction of the hip joint. There are many known risk factors for the development of this disease including trauma of the hip joint, hemoglobinopathy, alcoholism, taking corticosteroids, collagenosis, etc. Conservative treatment (drug therapy using vascular drugs, bisphosphonates, chondroprotectors, NSAIDs, physiotherapy, exercise therapy) is shown for any stage of the hip AVN, however, surgical treatment has a higher potential. The key to successful treatment is the detection of AVN at an early (pre-collapse) stage to prevent subsequent collapse by performing organ-sparing surgical interventions that reduce the rate of disease progression and allow delaying of the hip replacement. The literature describes a number of organ-preserving operations performed at an early stage of AVN. Currently, there are three main areas of surgical treatment of this disease: classical decompression of the femoral head, decompression using various types of grafts and combined treatment using various cellular technologies. This literature review is devoted to the consideration of the indications for implementation, as well as the results of treatment of patients using the above techniques.

Keywords: avascular necrosis; non-traumatic aseptic necrosis of the femoral head; decompression of the femoral head.

To cite this article

Panin MA, Zagorodniy NV, Abakirov MD, Boiko AV, Ananin DA. Core decompression of the femoral head. Literature review. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2021;28(1):65–76. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto59746>

Аваскулярный некроз (АВН) головки бедренной кости, также известный как остеонекроз, асептический некроз, ишемический некроз, — заболевание, характеризующееся гибелью клеточных элементов кости и/или костного мозга. Существует множество известных факторов риска данного заболевания, среди которых травма тазобедренного сустава, гемоглобинопатии, алкоголизм, прием кортикостероидов, коллагенозы и др. [1]. Отдельно рассматривается так называемый идиопатический аваскулярный некроз, в основе которого лежат наследственные нарушения гемостаза и ангиогенеза [2, 3]. При АВН нетравматического генеза процесс часто бывает двусторонним, что усугубляет инвалидизацию больного [4].

Существующие подходы к лечению пациентов с АВН определяются степенью поражения головки бедренной кости. Ключевым фактором в определении тактики лечения является отсутствие или наличие коллапса — субхондрального перелома головки бедра, что соответствует III стадии и более по всем наиболее применяемым классификациям. Консервативное лечение [медикаментозная терапия с использованием сосудистых препаратов, бисфосфонатов, хондропротекторов, нестероидных противовоспалительных средств (НПВС), физиотерапия, лечебная физкультура] показано на любой стадии заболевания [5]. При начальных стадиях консервативное лечение применяется изолированно, при более поздних стадиях — в комплексе с хирургическими методиками. В отсутствие эффективного лечения на ранних (преколлаптоидных) стадиях АВН характеризуется прогрессированием, что приводит к выраженному вторичному остеоартриту, единственным адекватным методом лечения при котором становится эндопротезирование. В качестве методов хирургического лечения преколлаптоидных стадий АВН выделяют различные варианты остеотомий, артроскопию тазобедренного сустава и др. [6–9], однако наибольшее распространение имеет методика декомпрессии очага некроза.

Серьезный вклад в изучение этиологии, патогенеза и в разработку методов лечения АВН внесли французские ортопеды P. Ficat и J. Arlet. Они предположили и доказали, что в основе патогенеза АВН лежит внутрикостная гипертензия, которая вызывает интрамедуллярный венозный стаз вследствие одного или нескольких эпизодов ишемии. Прогрессирующий отек приводит к некрозу клеток костного мозга и остеоцитов, а впоследствии, к фиброзу тканей [10]. В процессе исследования P. Ficat и J. Arlet проводили биопсию некротизированных участков кости и отметили при этом снижение болевого синдрома и замедление прогрессирования некроза. Эти наблюдения легли в основу разработки метода декомпрессии очага некроза головки бедренной кости в качестве суставосохраняющей операции при ранних стадиях АВН [11, 12].

D. Hungerford был первым хирургом, который применил декомпрессию очага некроза головки бедра в США [13]. Под его руководством при университете Джона Хопкинса был создан центр по изучению остеонекроза [14]. В данном исследовательском центре была установлена бесспорная эффективность декомпрессии очага некроза в сравнении с консервативными методами лечения [15].

Декомпрессия очага некроза представляет собой рассверливание некротизированного участка кости, в результате чего образуются один или несколько открытых цилиндрических каналов. Открытый костный канал способствует снижению осевой нагрузки на головку бедра и, как следствие, купированию болевого синдрома.

Доказательством того, что декомпрессия очага некроза — это патогенетически обоснованный метод лечения, является работа W. Wang и соавт. [16]. Авторами была создана модель билатерального АВН головок бедренных костей у кроликов путем назначения кортикостероидов и лошадиной сыворотки. Формирование АВН подтверждалось при магнитно-резонансной томографии (МРТ). Одну из головок бедра животного лечили путем декомпрессии очага некроза, вторая — служила в качестве контроля. После оперативного вмешательства на одной головке проводили гистологическое исследование оперированной и неоперированной головок бедра. Гистологический анализ выявил большое число остеобластов и элементы «новой» губчатой кости после декомпрессии очага некроза через 8 нед. после декомпрессии очага некроза. Авторы заключили, что декомпрессия очага некроза стимулирует регенерацию костной ткани при остеонекрозе головки бедра.

Декомпрессия очага некроза может дополняться замещением костного дефекта при помощи различного рода трансплантатов. Несмотря на широкое применение декомпрессии очага некроза, результаты данного оперативного вмешательства неоднозначны, а порою противоречивы.

Данный аналитический обзор посвящен рассмотрению показаний к декомпрессии очага некроза головки бедренной кости, а также оценке ее отдаленных результатов с учетом различных модификаций данной хирургической методики.

На современном этапе декомпрессия очага некроза обычно применяется на ранних стадиях АВН (до разрушения головки бедренной кости), что позволяет отсрочить эндопротезирование пораженного сустава или избежать его. Это было доказано, в частности, F. Castro и R. Barrack, которыми в 2000 г. были опубликованы результаты метаанализа (материалы из Medline с 1966 по 1998 г.) относительно эффективности «чистой» (без использования костных трансплантатов) декомпрессии очага некроза и консервативной терапии АВН головки бедренной кости. В метаанализ были включены работы, в которых анализировались отдаленные результаты лечения (не менее чем через 12 мес.) как минимум

а также сроки реабилитации пациентов не различались в двух подгруппах. Очевидно, что единственная госпитализация, снижение сроков реконвалесценции и материальных затрат также свидетельствуют о целесообразности проведения двустороннего вмешательства при наличии показаний.

Таким образом, в начале 2000-х годов на основании многочисленных исследований сложилось общепринятое мнение о целесообразности выполнения декомпрессии очага некроза только при ранних (преколлаптоидных) стадиях АВН.

В дальнейшем по мере развития новых технологий в практику были внедрены усовершенствованные инструменты для проведения декомпрессии очага некроза головки бедренной кости, а также искусственные материалы (сульфат кальция, фосфат кальция, пористый металл и др.) для костной пластики.

Так, T. Classen и соавт. [23] была использована «улучшенная» методика декомпрессии, которая подразумевала использование минимально-инвазивного доступа с применением расширяющегося сверла в комбинации с костной пластикой (сульфат кальция). Отдаленные результаты прослежены через 29 мес. после операции в отношении 72 головок бедренных костей. Несмотря на оперативное вмешательство, в 33 % наблюдений произошел коллапс головки, что потребовало тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Авторы заключили, что использование данной «усовершенствованной» (advanced) методики не обладает значимыми преимуществами в сравнении со стандартной декомпрессией посредством туннелизации. По мнению авторов, успех лечения ранних стадий АВН в первую очередь определяется исходным размером очага некроза.

Подобное исследование провели S. Landgraeber и соавт. [24], которые, оценивая результаты лечения остеонекроза головки бедра методом «усовершенствованной» (advanced) декомпрессии (расширяющееся сверло + костная пластика), сделали вывод о преимуществах использования в качестве трансплантата собственной губчатой кости по сравнению с сульфатом кальция и фосфатом кальция. При этом, независимо от вида трансплантата, эффективность определялась, в первую очередь, объемом очага некроза.

Некоторые авторы для замещения костного дефекта предлагают использование пористого танталового стержня вместо традиционных трансплантатов. В частности, китайские исследователи показали, что данная методика ведет к хорошей остеоинтеграции в поры танталового стержня [25]. Эффективность применения аналогичных танталовых имплантов была оценена в исследовании Y. Liu и соавт. [26], выявивших достоверное различие в необходимости выполнения тотального эндопротезирования (через 62 мес.) в группе с танталовым имплантом (25,9 %) и композитным костным имплантом (50,1 %). На значимые преимущества применения

танталового пористого стержня указывали также C. Veillette и соавт. [27]. Из 58 головок бедра через 24 мес. лишь в 15,5 % случаев потребовалось эндопротезирование тазобедренного сустава. Авторы указывают на особую эффективность применяемой методики у пациентов в отсутствие хронических заболеваний, у которых эндопротезирование через 48 мес. потребовалось лишь 5 %.

B. Vi и соавт. [28] применили робот-ассистированную навигацию при декомпрессии очага некроза при ранних стадиях АВН головки бедра. Авторы считают, что данная методика позволяет уменьшить продолжительность операции и снизить интраоперационную лучевую нагрузку.

Помимо совершенствования технических аспектов декомпрессии значительно расширяется спектр средств, способствующих восстановлению васкуляризации и регенерации костной ткани. С этой целью используются аутологичные костномозговые клетки, факторы роста (в том числе костные морфогенетические белки), деминерализованный костный матрикс, плазма, обогащенная тромбоцитами, эритропоэтин, мезенхимальные стволовые клетки.

V. Gangji и J. Hauzeur [29] осуществляли введение аутологичных костномозговых клеток в зону некроза головки бедренной кости и оценивали эффективность методики с учетом динамики клинических проявлений, объема зоны некроза и стадии АВН. В исследовании приняли участие 13 больных (18 головок бедренных костей) с I–II стадиями заболевания согласно классификации ARCO. Контрольную группу составили пациенты, которым провели «чистую» декомпрессию — без введения клеточных препаратов. Исследование было двойным слепым рандомизированным. Через 24 мес. после хирургического вмешательства в основной группе (декомпрессия очага некроза + клеточные инфузии) частота и выраженность болевого синдрома значительно снизилась. В контрольной группе в 5 из 8 наблюдений АВН прогрессировал до стадии III; в основной — лишь в 1 из 10. Авторы заключили, что имплантация аутологичных костномозговых клеток в зону некроза после ее декомпрессии — безопасный и эффективный метод лечения при ранних стадиях АВН.

Z. Yan и соавт. [30] также оценили безопасность и эффективность лечения пациентов с остеонекрозом головки бедренной кости путем перкутанной декомпрессии очага некроза и введения в данную зону аутологичных костномозговых клеток. Было пролечено 44 головки бедренной кости у 28 пациентов с АВН I–II стадии. В пораженных головках бедренных костей высверливали множественные отверстия, в которые вводили суспензию аутологичных костномозговых мононуклеарных клеток, полученных из гребня подвздошной кости. Результаты лечения оценивались через 2 года с учетом изменений по шкале Харриса и по данным рентгенографии. Дооперационный индекс Харриса был в среднем 58 (от 46 до 89), а после операции

увеличился до 86 (от 70 до 94), что свидетельствует о значимом улучшении функционального состояния пациента. По мнению авторов, множественные отверстия в очагах некроза (с целью декомпрессии) в сочетании с введением костномозговых моноклеарных клеток — эффективный метод лечения при АВН головки бедренной кости, причем, чем ниже стадия заболевания, тем лучше результат [30]. На высокую эффективность введения аутологичных моноклеарных клеток указывают и другие авторы. По данным V. Gangji и соавт. [31], проводивших двойные слепые исследования (для пациентов и врачей, оценивающих результаты) у 19 пациентов (24 головки бедренной кости), при введении аутологичных костномозговых клеток интенсивность болевого синдрома, частота ограничений физической активности и прогрессирования АВН значительно снизились. На основании долгосрочного (5 лет после операции) наблюдения авторы заключили, что имплантация аутологичных костномозговых клеток в очаг некроза является эффективным методом лечения ранних стадий остеонекроза головки бедренной кости.

Предпринимаются попытки усовершенствования методики декомпрессии путем введения в головку бедра остеоиндуктивных веществ — костных морфогенетических белков (bone morphogenetic proteins — BMP). Данная методика представляется патогенетически оправданной, так как в экспериментальном исследовании было доказано, что в головках бедра со стероидиндуцированным остеонекрозом была значительно снижена экспрессия BMP-2 по сравнению со здоровыми животными [32].

H. Kim и соавт. [33], а также J. Vandermeer и соавт. [34] в доклинических (на свиньях) исследованиях показали, что локальное введение BMP-2 в комбинации с бисфосфонатом в некротизированную головку бедра снижает резорбцию костной ткани и усиливает ее формирование. Обнадеживающие результаты применения BMP были получены M. Mont и соавт. [35] в клиническом исследовании. Декомпрессия очага некроза у пациентов с АВН была дополнена имплантацией BMP + деминерализованный костный матрикс. Авторы отметили 90 % удовлетворительных результатов в течение 4 лет наблюдений. В аналитическом обзоре C.G. Zalavras и J.R. Lieberman [36] приходят к выводу, что методом выбора лечения при преколлаптоидных стадиях АВН является декомпрессия очага некроза с замещением дефекта различными костными трансплантатами с использованием BMP и др. В то же время W. Sun и соавт. [37] при оценке отдаленных результатов применения человеческого рекомбинантного BMP-2 не выявили достоверной разницы в исходах по сравнению с пациентами, у которых не применялись данные белки. A. Parsa и соавт. [38] также считают неочевидной эффективность применения BMP в лечении

пациентов с аваскулярным некрозом головки бедра. Более того, ряд авторов указывают на то, что среди пациентов, получивших большие дозы BMP-2, повышается риск развития рака [39].

L. Helbig и соавт. [40] оценили эффективность лечения АВН путем декомпрессии очага некроза с augmentацией деминерализованным костным матриксом (18 головок бедренных костей). Результаты операции оценивали через 12 и 24 мес., включая необходимость тотального эндопротезирования тазобедренного сустава. Хороший клинический эффект был получен в 77 % наблюдений через 2 года. Тем не менее по данным MPT у большинства больных объем очага некроза вырос с 3,16 до 3,88 см³. В пределах 9 лет в 13 из 18 случаев потребовалось тотальное эндопротезирование. Авторы заключили, что декомпрессия очага некроза с пластикой деминерализованным костным матриксом должна проводиться только на ранних стадиях АВН и приводит к временному снижению интенсивности болевого синдрома. Отдаленные результаты такого рода вмешательства являются не совсем обнадеживающими.

H. Bakhshi и соавт. [41] отметили, что в последние годы экспериментально (на животных) получены обнадеживающие результаты лечения при АВН с применением ангиогенных факторов роста, в частности, эритропоэтина — белка, успешно применяемого в лечении пациентов с хронической анемией с минимальными побочными эффектами. Принимая во внимание ангиогенные свойства эритропоэтина, авторы показали, что локальное введение рекомбинантного человеческого эритропоэтина в зону некроза головки бедра после ее декомпрессии способствует костной регенерации поврежденной головки при АВН.

В качестве одного из субстратов, вводимого в зону остеонекроза, применяется также плазма, обогащенная тромбоцитами (PRP — platelet-rich plasma). Применение PRP патогенетически обосновано, так как данный субстрат усиливает ангиогенез и остеогенез, подавляет воспалительные процессы в некротизированных тканях и снижает интенсивность апоптоза, вызванного глюкокортикоидами [42]. По данным B. Erppley и соавт. [43], эффективность применения PRP обусловлена тем, что в ней содержится ряд факторов роста: вазоэндотелиальный, эндотелиальный, тромбоцитарный, фибробластный и др. Эти факторы роста оказывают стимулирующее влияние на пролиферацию и дифференциацию мезенхимальных стволовых клеток, а следовательно, на репарацию некротизированной ткани [44, 45].

Обнадеживающие результаты получены рядом авторов в клинической практике при дополнении процедуры декомпрессии очага некроза головки бедра введением PRP, как изолированно, так и в комбинации с другими субстратами. A. Samy применил декомпрессию очага

некроза + губчатый ауто трансплантат + PRP в лечении 40 головок бедренных костей (II–III стадии) [46]. Значительное снижение болевого синдрома было отмечено в 85 % случаев, функция тазобедренного сустава улучшилась у всех пациентов на протяжении четырех лет наблюдения. Отдаленные результаты значительно лучше, чем в исследовании М. Mont и соавт. [47], при аналогичной хирургической технике, но без применения PRP. По мнению автора аналитического обзора на данную тему, применение PRP должно рассматриваться как эффективное дополнение к декомпрессии очага некроза, костной пластике и использованию стволовых клеток [42]. Так, М.Т. Houdek и соавт. [48] провели проспективное исследование хирургического лечения больных стероидиндуцированным АВН головки бедренной кости (35 головок бедра). После стандартной декомпрессии очага некроза в рассверленные каналы вводили комбинацию субстратов из костномозговых мезенхимальных стволовых клеток и плазмы, обогащенной тромбоцитами. Авторы отметили, что у 90 % пациентов на протяжении двух лет наблюдения значительно снизился болевой синдром и улучшилась функция сустава. На удовлетворительные результаты лечения АВН указывали также J. Guadilla и соавт. [49]. Пациентам с I стадией АВН проводили декомпрессию очага некроза путем сверления под флюороскопическим контролем. В просверленные каналы через троакары вводили жидкую плазму, обогащенную тромбоцитами. При II стадии АВН декомпрессия и удаления некротизированной кости проводили через окно, выполненное на границе шейки и головки бедра под артроскопическим контролем. При этом в полученную полость вводили смесь аутокости с PRP.

Наибольшее число статей за последнее десятилетие посвящено клеточной терапии АВН после декомпрессии очага некроза. Как известно, мезенхимальные стволовые клетки (МСК) — это мультипотентные клетки-предшественники, обладающие высоким потенциалом формирования различных типов тканей. МСК обладают мощным потенциалом в отношении регенерации, в частности костной ткани [50]. С целью стимуляции остеогенеза наиболее часто применяются МСК, выделенные из костного мозга [51, 52]. Применение МСК возможно после выполнения декомпрессии очага некроза в комбинации как с ауто трансплантами, так и с искусственными трансплантами [53].

Р. Hernigou и соавт. [54] провели хирургическое лечение 125 пациентов с двусторонним стероидиндуцированным остеонекрозом головок бедренных костей. У каждого больного лечение одной из головок проводили методом стандартной декомпрессии очага некроза, лечение контралатеральной головки — стандартная декомпрессией + введением мезенхимальных стволовых клеток костного мозга. У пациентов, у которых помимо декомпрессии выполнялось введение

мезенхимальных стволовых клеток, средний объем очага некроза уменьшился в 3,5 раза, что значительно выше, чем в контрольной группе. Авторы сделали вывод, что применение мезенхимальных стволовых клеток улучшает эффективность декомпрессии очага некроза при стероидиндуцированном остеонекрозе. Впечатляющие результаты получены N.S. Talathi и A.F. Kamath [55] при лечении 43 головок бедренной кости методом декомпрессии очага в сочетании с введением костномозговых МСК. Улучшение качества жизни и снижение болевого синдрома отмечены у 78 % больных, лишь в 3 наблюдениях через 17–20 мес. наступил коллапс головки бедра. Соответственно, авторы считают, что использованный ими способ лечения АВН является оптимальным, устраняет клинические симптомы и замедляет прогрессирование заболевания.

В качестве эффективного варианта клеточной терапии АВН головки бедра М. Emadedin и соавт. [56] рассматривают применение стромальных клеток из костного мозга CD133, отметив через 12 мес. после декомпрессии очага некроза + клетки CD133 улучшение функционального состояния и снижение болевого синдрома.

Заслуживает внимания метаанализ результатов лечения нетравматического остеонекроза головки бедренной кости (21 статья, 1415 головок бедра), выполненный X. Yu и соавт. в 2018 г. [57], оценившими эффективность лечения при АВН головки бедра с применением после декомпрессии различных трансплантатов для замещения костного дефекта, а также различных клеточных субстратов, вводимых в зону некроза. По данным этих авторов, наиболее эффективным методом лечения пациентов с ранними стадиями АВН можно считать декомпрессию очага некроза с применением клеточной терапии вне зависимости от вида трансплантата.

В то же время В.Н. Уооп и соавт. [58] (метаанализ — 453 пациента с АВН на ранних стадиях) подвергают сомнению эффективность клеточной терапии. В метаанализе проведено сравнение результатов лечения при АВН головки бедра с применением различных методик: консервативной терапии, стандартной декомпрессии очага некроза, декомпрессии в комбинации с костной пластикой, декомпрессии + костномозговые мезенхимальные клетки, декомпрессии + костная пластика + введение мезенхимальных клеток. Авторами не выявлено достоверных различий в эффективности любых модификаций декомпрессии очага некроза, так как эффективность последнего достоверно не отличалась от таковой при консервативной терапии и даже в отсутствие какого-либо лечения.

Таким образом, анализ современной литературы позволяет заключить, что декомпрессия очага некроза в сочетании с костной пластикой является золотым стандартом лечения пациентов с ранними

преколлатоидными стадиями АВН головки бедренной кости. В настоящее время в связи с развитием клеточных технологий применяются различные виды клеточной терапии с целью остеоиндукции, остеогенеза и ангиогенеза в зоне некроза. Однако единого алгоритма применения клеточной терапии до сегодняшнего дня не выработано, мнения различных исследователей нередко противоречивы. В связи с этим научные изыскания в данном направлении должны быть продолжены.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Матвеев Р.П., Брагина С.В. Аvascularный некроз головки бедренной кости (обзор литературы) // Экология человека. 2018. № 3. С. 58–64.
2. Панин М.А., Загородний Н.В., Карчевный Н.Н., и др. Современный взгляд на патогенез нетравматического остеонекроза // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2017. Т. 24, № 2. С. 69–75. DOI: 10.17816/vto201724269-75
3. Панин М.А., Загородний Н.В., Самоходская Л.М., Липов А.В. Значение полиморфизмов генов тромбоцитарных интегрин (itga2, itgb3) в патогенезе нетравматического асептического некроза головки бедренной кости // Медицинский вестник Северного Кавказа. 2020. Т. 15, № 1. С. 84–87. DOI: 10.14300/mnnc.2020.15019
4. Ремпель Д.П., Брюханов А.В., Батрак Ю.М. Возможности методов лучевой диагностики поражения симметричного сустава при диагностированном асептическом некрозе бедренной кости // Радиология — Практика. 2013. № 6, С. 24–32.
5. Martí-Carvajal A.J., Solà I., Agreda-Pérez L.H. Treatment for avascular necrosis of bone in people with sickle cell disease // Cochrane Database Syst Rev. 2009. No. 3. P. CD004344. DOI: 10.1002/14651858.CD004344.pub3
6. Качанов Д.А., Усов С.А., Вострилов И.М., и др. Возможности лечения асептического некроза головки бедренной кости // Международный научно-исследовательский журнал. 2019. № 12. С. 201–203. DOI: 10.23670/IRJ.2019.90.12.042
7. Зоря В.И., Гурьев В.В., Склянчук Е.Д. Реабилитация больных с начальной стадией коксартроза после выполнения реваскуляризирующей остеотомии бедра // Журнал Вестник травматологии и ортопедии им. Н.И. Приорова. 2010. Т. 17, № 2. С. 30–33. DOI: 10.17816/vto201017230-33
8. Shannon B.D., Trousdale R.T. Femoral osteotomies for avascular necrosis of the femoral head // Clin Orthop Relat Res. 2004. No. 418. P. 34–40. DOI: 10.1097/00003086-200401000-00007
9. De Smet A.A., Dalinka M.K., Alazraki N.P., et al. American College of Radiology ACR Appropriateness Criteria®. Avascular necrosis of the hip. Reston, VA: American College of Radiology (ACR), 2005.
10. Ficat R.P., Arlet J. Functional investigation of bone under normal conditions, ischemia and necrosis of bone. Hungerford D.C., ed. Baltimore: Williams & Wilkins, 1980.
11. Arlet J., Ficat P., Lartigue G. Mode of onset of primary osteonecrosis of the femoral head. (Stage I. Uncomplicated). Study of 20 cases histologically verified by punch biopsy // Rev Rhum Mal Osteoartic. 1968. Vol. 35, No. 5. P. 239–249. (In French)
12. Arlet J., Ficat P., Lartigue G., Tran M.A. Clinical research on intraosseous pressure in the upper femoral metaphysis and epiphy-

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ / DISCLAIMERS

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Источник финансирования. Не указан.

Funding source. Not specified

sis in humans. Application to the diagnosis of ischemia and necrosis // Rev Rhum Mal Osteoartic. 1972. Vol. 39, No. 11. P. 717–723. (In French)

13. Hungerford D.S. Core decompression of the femoral head for osteonecrosis // J Bone Joint Surg Am. 1988. Vol. 70, No. 3. P. 474–475.

14. Mont M.A., Hungerford D.S. Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head // J Bone Joint Surg Am. 1995. Vol. 77, No. 3. P. 459–474. DOI: 10.2106/00004623-199503000-00018

15. Mont M.A., Carbone J.J., Fairbank A.C. Core decompression versus nonoperative management for osteonecrosis of the hip // Clin Orthop Relat Res. 1996. No. 324. P. 169–178. DOI: 10.1097/00003086-199603000-00020

16. Wang W., Liu L., Dang X., et al. The effect of core decompression on local expression of BMP-2, PPAR- γ and bone regeneration in the steroid-induced femoral head osteonecrosis // BMC Musculoskelet Disord. 2012. Vol. 13. P. 142. DOI: 10.1186/1471-2474-13-142

17. Castro F.P., Barrack R.L. Core decompression and conservative treatment for avascular necrosis of the femoral head: a meta-analysis // Am J Orthoped. 2000. Vol. 29, No. 3. P. 187–194.

18. Simank H.G., Brocai D.R., Brill C., Lukoschek M. Comparison of results of core decompression and intertrochanteric osteotomy for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head using Cox regression and survivorship analysis // J Arthroplasty. 2001. Vol. 16, No. 6. P. 790–794.

19. Steinberg M.E. Core decompression of the femoral head for avascular necrosis: indications and results // Can J Surg. 1995. Vol. 38, Suppl 1. P. S18–S24.

20. Steinberg M.E., Larcum P.G., Strafford B., et al. Core decompression with bone grafting for osteonecrosis of the femoral head // Clin Orthop Relat Res. 2001. No. 386. P. 71–78.

21. Koo K., Kim R. Quantifying the extent of osteonecrosis of the femoral head. A new method using MRI // J Bone Joint Surg Br. 1995. Vol. 77, No. 6. P. 875–880.

22. Israelite C., Nelson C.L., Ziarani C.F., et al. Bilateral core decompression for osteonecrosis of the femoral head // Clin Orthop Relat Res. 2005. Vol. 441. P. 285–290.

23. Classen T., Warwas S., Jäger M., Landgraeber S. Two-year follow-up after advanced core decompression // J Tissue Eng Regen Med. 2017. Vol. 11, No. 4. P. 1308–1314. DOI: 10.1002/term.2056

24. Landgraeber S., Warwas S., Claßen T., Jäger M. Modifications to advanced core decompression for treatment of avascular necrosis of the femoral head // BMC Musculoskelet Disord. 2017. Vol. 18. P. 479. DOI: 10.1186/s12891-017-1811-y

25. Huang W., Gong X., Sandiford S., et al. Outcome after a new porous tantalum rod implantation for treatment of early-stage femoral head osteonecrosis // *Ann Transl Med.* 2019. Vol. 7, No. 18. P. 441. DOI: 10.21037/atm.2019.08.86
26. Liu Y., Zhou S., Su X., et al. Tantalum rod implantation for femoral head osteonecrosis: survivorship analysis and determination of prognostic factors for total hip arthroplasty // *Int Orthop.* 2016. Vol. 40, No. 7. P. 1397–1407. DOI: 10.1007/s00264-015-2897-1
27. Veillette C.J., Mehdi H., Schemitsch E.H., McKee M.D. Survivorship analysis and radiographic outcome following tantalum rod insertion for osteonecrosis of the femoral head // *J Bone Joint Surg Am.* 2006. Vol. 88 Suppl 3. P. 48–55. DOI: 10.2106/JBJS.F.00538
28. Bi B., Zhang S., Zhao Y. The effect of robot-navigation-assisted core decompression on early stage osteonecrosis of the femoral head // *J Orthop Surg Res.* 2019. Vol. 14, No. 1. P. 375. DOI: 10.1186/s13018-019-1437-x.
29. Gangji V., Hauzeur J.P. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with implantation of autologous bone-marrow cells. Surgical technique // *J Bone Joint Surg Am.* 2005. Vol. 87, Suppl 1, Pt 1. P. 106–112. DOI: 10.2106/JBJS.D.02662
30. Yan Z.Q., Chen Y.S., Li W.J., et al. Treatment of osteonecrosis of the femoral head by percutaneous decompression and autologous bone marrow mononuclear cell infusion // *Chin J Traumatol.* 2006. Vol. 9, No. 1. P. 3–7.
31. Gangji V., De Maertelaer V., Hauzeur J.P., et al. Autologous bone marrow cell implantation in the treatment of non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: five year follow-up of a prospective controlled study // *Bone.* 2011. Vol. 49, No. 5. P. 1005–1009. DOI: 10.1016/j.bone.2011.07.032
32. Mesfin A., Buchowski J.M., Zebala L.P., et al. High-dose rh-BMP-2 for adults: major and minor complications: a study of 502 spine cases // *J Bone Joint Surg Am.* 2013. Vol. 95, No. 17. P. 1546–1553. DOI: 10.2106/JBJS.L.01730
33. Kim H.K., Aruwajoye O., Du J., Kamiya N. Local administration of bone morphogenetic protein-2 and bisphosphonate during non-weight-bearing treatment of ischemic osteonecrosis of the femoral head: an experimental investigation in immature pigs // *J Bone Joint Surg Am.* 2014. Vol. 96, No. 18. P. 1515–1524. DOI: 10.2106/JBJS.M.01361
34. Vandermeer J.S., Kamiya N., Aya-ay J., et al. Local administration of ibandronate and bone morphogenetic protein-2 after ischemic osteonecrosis of the immature femoral head: a combined therapy that stimulates bone formation and decreases femoral head deformity // *J Bone Joint Surg Am.* 2011. Vol. 93, No. 10. P. 905–913. DOI: 10.2106/JBJS.J.00716
35. Mont M.A., Etienne G., Ragland P.S. Outcome of nonvascularized bone grafting for osteonecrosis of the femoral head // *Clin Orthop Relat Res.* 2003. No. 417. P. 84–92.
36. Zalavras C.G., Lieberman J.R. Osteonecrosis of the femoral head: evaluation and treatment // *J Am Acad Orthop Surg.* 2014. Vol. 22, No. 7. P. 455–464. DOI: 10.5435/JAAOS-22-07-455
37. Sun W., Li Z., Gao F., et al. Recombinant human bone morphogenetic protein-2 in debridement and impacted bone graft for the treatment of femoral head osteonecrosis // *PLoS One.* 2014. Vol. 9, No. 6. P. e100424. DOI: 10.1371/journal.pone.0100424
38. Parsa A., Vahedi H., Goswami K., Aalirezaie A. Available findings fail to provide strong evidence of the role of bone morphogenetic protein-2 in femoral head osteonecrosis // *Arch Bone Jt Surg.* 2020. Vol. 8, No. 1. P. 5–10. DOI: 10.22038/abjs.2019.30467.1785
39. Carragee E.J., Chu G., Rohatgi R., et al. Cancer risk after use of recombinant bone morphogenetic protein-2 for spinal arthrodesis // *J Bone Joint Surg Am.* 2013. Vol. 95, No. 17. P. 1537–1545. DOI: 10.2106/JBJS.L.01483
40. Helbig L., Simank H.G., Kroeber M., et al. Core decompression combined with implantation of a demineralised bone matrix for non-traumatic osteonecrosis of the femoral head // *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012. Vol. 132, No. 8. P. 1095–1103.
41. Bakhshi H., Rasouli M.R., Parvizi J. Can local erythropoietin administration enhance bone regeneration in osteonecrosis of femoral head? // *Med Hypotheses.* 2012. Vol. 79, No. 2. P. 154–156. DOI: 10.1016/j.mehy.2012.04.021
42. Han J., Gao F., Li Y., et al. The use of platelet-rich plasma for the treatment of osteonecrosis of the femoral head: a systematic review // *Biomed Res Int.* 2020. Vol. 3. P. 264–269; DOI: 10.1155/2020/2642439
43. Eppley B.L., Woodell J.E., Higgins J. Platelet quantification and growth factor analysis from platelet-rich plasma: implications for wound healing // *Plast Reconstr Surg.* 2004. Vol. 114, No. 6. P. 1502–1508. DOI: 10.1097/01.prs.0000138251.07040.51
44. Rackwitz L., Eden L., Reppenhagen S., et al. Stem cell- and growth factor-based regenerative therapies for avascular necrosis of the femoral head // *Stem Cell Res Ther.* 2012. Vol. 3, No. 1. P. 7. DOI: 10.1186/scrt98
45. Kuroda Y., Asada R., So K., et al. A pilot study of regenerative therapy using controlled release of recombinant human fibroblast growth factor for patients with pre-collapse osteonecrosis of the femoral head // *Int Orthop.* 2016. Vol. 40, No. 8. P. 1747–1754. DOI: 10.1007/s00264-015-3083-1
46. Samy A.M. Management of osteonecrosis of the femoral head: a novel technique // *Indian J Orthop.* 2016. Vol. 50, No. 4. P. 359–365. DOI: 10.4103/0019-5413.185590
47. Mont M.A., Einhorn T.A., Sponseller P.D., Hungerford D.S. The trapdoor procedure using autogenous cortical and cancellous bone grafts for osteonecrosis of the femoral head // *J Bone Joint Surg Br.* 1998. Vol. 80, No. 1. P. 56–62. DOI: 10.1302/0301-620X.80B1.0800056
48. Houdek M.T., Wyles C.C., Collins M.S., et al. Stem cells combined with platelet-rich plasma effectively treat corticosteroid-induced osteonecrosis of the hip: a prospective study // *Clin Orthop Relat Res.* 2018. Vol. 476, No. 2. P. 388–397. DOI: 10.1007/s11999.00000000000000033
49. Guadilla J., Fiz N., Andia I., Sánchez M. Arthroscopic management and platelet-rich plasma therapy for avascular necrosis of the hip // *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012. Vol. 20, No. 2. P. 393–398.
50. Caplan A.I., Correa D. The MSC: an injury drugstore // *Cell Stem Cell.* 2011. Vol. 9. P. 11–15. DOI: 10.1016/j.stem.2011.06.008
51. Baksh D., Boland G.M., Tuan R.S. Cross-talk between Wnt signaling pathways in human mesenchymal stem cells leads to functional antagonism during osteogenic differentiation // *J Cell Biochem.* 2007. Vol. 101. P. 1109–1124. DOI: 10.1002/jcb.21097
52. Han D.S., Chang H.K., Kim K.R., Woo S.M. Consideration of bone regeneration effect of stem cells: comparison of bone regeneration between bone marrow stem cells and adipose-derived stem cells // *J Craniofac Surg.* 2014. Vol. 25. P. 196–201. DOI: 10.1097/SCS.0000000000000378
53. Marcacci M., Kon E., Moukhachev V., et al. Stem cells associated with macroporous bioceramics for long bone repair: 6-to 7-year

outcome of a pilot clinical study // *Tissue Eng.* 2007. Vol. 13, No. 5. P. 947–955. DOI: 10.1089/ten.2006.0271

- 54.** Hernigou P., Dubory A., Homma Y., et al. Cell therapy versus simultaneous contralateral decompression in symptomatic corticosteroid osteonecrosis: a thirty year follow-up prospective randomized study of one hundred and twenty five adult patients // *Int Orthop.* 2018. Vol. 42, No. 7. P. 1639–1649. DOI: 10.1007/s00264-018-3941-8
- 55.** Talathi N.S., Kamath A.F. Autologous stem cell implantation with core decompression for avascular necrosis of the femoral head // *J Clin Orthop Trauma.* 2018. Vol. 9, No. 4. P. 349–352. DOI: 10.1016/j.jcot.2018.05.014
- 56.** Emadedin M., Karimi S., Karimi A., et al. Autologous bone marrow-derived CD133 cells with core decompression as a

novel treatment method for femoral head osteonecrosis: a pilot study // *Cytotherapy.* 2019. Vol. 21, No. 1. P. 107–112. DOI: 10.1016/j.jcyt.2018.10.005

- 57.** Yu X., Zhang D., Chen X., et al. Effectiveness of various hip preservation treatments for non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: A network meta-analysis of randomized controlled trials // *J Orthop Sci.* 2018. Vol. 23, No. 2. P. 356–364. DOI: 10.1016/j.jjos.2017.12.004
- 58.** Yoon B.H., Lee Y.K., Kim K.C., et al. No differences in the efficacy among various core decompression modalities and non-operative treatment: a network meta-analysis // *Int Orthop.* 2018. Vol. 42, No. 12. P. 2737–2743. DOI: 10.1007/s00264-018-3977-9

REFERENCES

- 1.** Matveev RP, Bragina SV. Avascular necrosis of the femoral head (literature review). *Human Ecology.* 2018;(3):58–64. (In Russ.)
- 2.** Panin MA, Zagorodniy NV, Karchebnyi NN, et al. Modern view on pathogenesis of non traumatic osteonecrosis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2017;24(2):69–75. (In Russ.) DOI: 10.17816/vto201724269-75
- 3.** Panin MA, Zagorodniy NV, Samokhodskaya LM, Lipov AV. The role of the genetic polymorphism of thrombocyte integrins (ITGA2, ITGB3) in the pathogenesis of non-traumatic aseptic necrosis of the femoral head. *Medical news of the North Caucasus.* 2020;15(1):84–87. (In Russ.) DOI: 10.14300/mnnc.2020.15019
- 4.** Rempel' DP, Bryukhanov AV, Batrak YuM. Possibilities of methods of radiological diagnosis of damage to a symmetric joint in diagnosed aseptic necrosis of the femur. *Radiologiya — Praktika.* 2013;(6):24–32. (In Russ.)
- 5.** Martí-Carvajal AJ, Solà I, Agreda-Pérez LH. Treatment for avascular necrosis of bone in people with sickle cell disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2009;(3):CD004344. DOI: 10.1002/14651858.CD004344.pub3
- 6.** Kachanov DA, Usov SA, Vostrilov IM, et al. Treatment options for aseptic necrosis of femoral head. *Mezhdunarodnyi nauchno-issledovatel'skii zhurnal.* 2019;(12):201–203. (In Russ.) DOI: 10.23670/IRJ.2019.90.12.042
- 7.** Zorya VI, Gur'ev VV, Sklyanchuk ED. Rehabilitation of patients with initial coxarthrosis after revascularizing femur osteotomy. *N.N. Priorov journal of traumatology and orthopedics.* 2010;17(2):30–33. (In Russ.) DOI: 10.17816/vto201017230-33
- 8.** 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
- 9.** De Smet AA, Dalinka MK, Alazraki NP, et al. *American College of Radiology ACR Appropriateness Criteria®. Avascular necrosis of the hip.* Reston, VA: American College of Radiology (ACR); 2005.
- 10.** Ficat RP, Arlet J. *Functional investigation of bone under normal conditions, ischemia and necrosis of bone.* Hungerford DC, editor. Baltimore: Williams & Wilkins; 1980.
- 11.** Arlet J, Ficat P, Lartigue G. Mode of onset of primary osteonecrosis of the femoral head. (Stage I. Uncomplicated). Study of 20 cases histologically verified by punch biopsy. *Rev Rhum Mal Osteoartic.* 1968;35(5):239–249. (In French)
- 12.** Arlet J, Ficat P, Lartigue G, Tran MA. Clinical research on intraosseous pressure in the upper femoral metaphysis and epiphysis in humans. Application to the diagnosis of ischemia and necrosis. *Rev Rhum Mal Osteoartic.* 1972;39(11):717–723. (In French)
- 13.** Hungerford DS. Core decompression of the femoral head for osteonecrosis. *J Bone Joint Surg Am.* 1988;70(3):474–475.
- 14.** Mont MA, Hungerford DS. Non-traumatic avascular necrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am.* 1995;77(3):459–474. DOI: 10.2106/00004623-199503000-00018
- 15.** Mont MA, Carbone JJ, Fairbank AC. Core decompression versus nonoperative management for osteonecrosis of the hip. *Clin Orthop Relat Res.* 1996;(324):169–178. DOI: 10.1097/00003086-199603000-00020
- 16.** Wang W, Liu L, Dang X, et al. The effect of core decompression on local expression of BMP-2, PPAR- γ and bone regeneration in the steroid-induced femoral head osteonecrosis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2012;13:142. DOI: 10.1186/1471-2474-13-142
- 17.** Castro FP, Barrack RL. Core decompression and conservative treatment for avascular necrosis of the femoral head: a meta-analysis. *Am J Orthoped.* 2000;29(3):187–194.
- 18.** Simank HG, Brocai DR, Brill C, Lukoschek M. Comparison of results of core decompression and intertrochanteric osteotomy for nontraumatic osteonecrosis of the femoral head using Cox regression and survivorship analysis. *J Arthroplasty.* 2001;16(6):790–794.
- 19.** Steinberg ME. Core decompression of the femoral head for avascular necrosis: indications and results. *Can J Surg.* 1995;38 Suppl 1:S18–S24.
- 20.** Steinberg ME, Larcom PG, Strafford B, et al. Core decompression with bone grafting for osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2001;(386):71–78.
- 21.** Koo K., Kim R. Quantifying the extent of osteonecrosis of the femoral head. A new method using MRI. *J Bone Joint Surg Br.* 1995;77(6):875–880.
- 22.** Israelite C, Nelson CL, Ziarani CF, et al. Bilateral core decompression for osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2005;441:285–290.
- 23.** Classen T, Warwas S, Jäger M, Landgraeber S. Two-year follow-up after advanced core decompression. *J Tissue Eng Regen Med.* 2017;11(4):1308–1314. DOI: 10.1002/term.2056
- 24.** Landgraeber S., Warwas S., Claßen T., Jäger M. Modifications to advanced core decompression for treatment of avascular necrosis of the femoral head. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18:479. DOI: 10.1186/s12891-017-1811-y

25. Huang W, Gong X, Sandiford S, et al. Outcome after a new porous tantalum rod implantation for treatment of early-stage femoral head osteonecrosis. *Ann Transl Med.* 2019;7(18):441. DOI: 10.21037/atm.2019.08.86
26. Liu Y, Zhou S, Su X, et al. Tantalum rod implantation for femoral head osteonecrosis: survivorship analysis and determination of prognostic factors for total hip arthroplasty. *Int Orthop.* 2016;40(7):1397–1407. DOI: 10.1007/s00264-015-2897-1
27. Veillette CJ, Mehdián H, Schemitsch EH, McKee MD. Survivorship analysis and radiographic outcome following tantalum rod insertion for osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Am.* 2006;88 Suppl 3:48–55. DOI: 10.2106/JBJS.F.00538
28. Bi B., Zhang S., Zhao Y. The effect of robot-navigation-assisted core decompression on early stage osteonecrosis of the femoral head. *J Orthop Surg Res.* 2019;14(1):375. DOI: 10.1186/s13018-019-1437-x.
29. Gangji V, Hauzeur JP. Treatment of osteonecrosis of the femoral head with implantation of autologous bone-marrow cells. Surgical technique. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87 Suppl 1(Pt 1):106–112. DOI: 10.2106/JBJS.D.02662
30. Yan ZQ, Chen YS, Li WJ, et al. Treatment of osteonecrosis of the femoral head by percutaneous decompression and autologous bone marrow mononuclear cell infusion. *Chin J Traumatol.* 2006;9(1):3–7.
31. Gangji V, De Maertelaer V, Hauzeur JP, et al. Autologous bone marrow cell implantation in the treatment of non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: five year follow-up of a prospective controlled study. *Bone.* 2011;49(5):1005–1009. DOI: 10.1016/j.bone.2011.07.032
32. Mesfin A, Buchowski JM, Zebala LP, et al. High-dose rh-BMP-2 for adults: major and minor complications: a study of 502 spine cases. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(17):1546–1553. DOI: 10.2106/JBJS.L.01730
33. Kim HK, Aruwajoye O, Du J, Kamiya N. Local administration of bone morphogenetic protein-2 and bisphosphonate during non-weight-bearing treatment of ischemic osteonecrosis of the femoral head: an experimental investigation in immature pigs. *J Bone Joint Surg Am.* 2014;96(18):1515–1524. DOI: 10.2106/JBJS.M.01361
34. Vandermeer JS, Kamiya N, Aya-ay J, et al. Local administration of ibandronate and bone morphogenetic protein-2 after ischemic osteonecrosis of the immature femoral head: a combined therapy that stimulates bone formation and decreases femoral head deformity. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(10):905–913. DOI: 10.2106/JBJS.J.00716
35. Mont MA, Etienne G, Ragland PS. Outcome of nonvascularized bone graft-ing for osteonecrosis of the femoral head. *Clin Orthop Relat Res.* 2003;(417):84–92.
36. Zalavras CG, Lieberman JR. Osteonecrosis of the femoral head: evaluation and treatment. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(7):455–464. DOI: 10.5435/JAAOS-22-07-455
37. Sun W, Li Z, Gao F, et al. Recombinant human bone morphogenetic protein-2 in debridement and impacted bone graft for the treatment of femoral head osteonecrosis. *PLoS One.* 2014;9(6):e100424. DOI: 10.1371/journal.pone.0100424
38. Parsa A, Vahedi H, Goswami K, Aalirezaie A. Available findings fail to provide strong evidence of the role of bone morphogenetic protein-2 in femoral head osteonecrosis. *Arch Bone Jt Surg.* 2020;8(1):5–10. DOI: 10.22038/absj.2019.30467.1785
39. Carragee EJ, Chu G, Rohatgi R, et al. Cancer risk after use of recombinant bone morphogenetic protein-2 for spinal arthrodesis. *J Bone Joint Surg Am.* 2013;95(17):1537–1545. DOI: 10.2106/JBJS.L.01483
40. Helbig L, Simank HG, Kroeber M, et al. Core decompression combined with implantation of a demineralised bone matrix for non-traumatic osteonecrosis of the femoral head. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(8):1095–1103.
41. Bakhshi H, Rasouli MR, Parvizi J. Can local erythropoietin administration enhance bone regeneration in osteonecrosis of femoral head? *Med Hypotheses.* 2012;79(2):154–156. DOI: 10.1016/j.mehy.2012.04.021
42. Han J, Gao F, Li Y, et al. The use of platelet-rich plasma for the treatment of osteonecrosis of the femoral head: a systematic review. *Biomed Res Int.* 2020;3:264–269. DOI: 10.1155/2020/2642439
43. Eppley BL, Woodell JE, Higgins J. Platelet quantification and growth factor analysis from platelet-rich plasma: implications for wound healing. *Plast Reconstr Surg.* 2004;114(6):1502–1508. DOI: 10.1097/01.prs.0000138251.07040.51
44. Rackwitz L, Eden L, Reppenhagen S, et al. Stem cell- and growth factor-based regenerative therapies for avascular necrosis of the femoral head. *Stem Cell Res Ther.* 2012;3(1):7. DOI: 10.1186/scrt98
45. Kuroda Y, Asada R, So K, et al. A pilot study of regenerative therapy using controlled release of recombinant human fibroblast growth factor for patients with pre-collapse osteonecrosis of the femoral head. *Int Orthop.* 2016;40(8):1747–1754. DOI: 10.1007/s00264-015-3083-1
46. Samy AM. Management of osteonecrosis of the femoral head: a novel technique. *Indian J Orthop.* 2016;50(4):359–365. DOI: 10.4103/0019-5413.185590
47. Mont MA, Einhorn TA, Sponseller PD, Hungerford DS. The trap-door procedure using autogenous cortical and cancellous bone grafts for osteonecrosis of the femoral head. *J Bone Joint Surg Br.* 1998;80(1):56–62. DOI: 10.1302/0301-620X.80B1.0800056
48. Houdek MT, Wyles CC, Collins MS, et al. Stem cells combined with platelet-rich plasma effectively treat corticosteroid-induced osteonecrosis of the hip: a prospective study. *Clin Orthop Relat Res.* 2018;476(2):388–397. DOI: 10.1007/s11999.0000000000000033
49. Guadilla J, Fiz N, Andia I, Sánchez M. Arthroscopic management and platelet-rich plasma therapy for avascular necrosis of the hip. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc.* 2012;20(2):393–398.
50. Caplan AI, Correa D. The MSC: an injury drugstore. *Cell Stem Cell.* 2011;9:11–15. DOI: 10.1016/j.stem.2011.06.008
51. Baksh D, Boland GM, Tuan RS. Cross-talk between Wnt signaling pathways in human mesenchymal stem cells leads to functional antagonism during osteogenic differentiation. *J Cell Biochem.* 2007;101:1109–1124. DOI: 10.1002/jcb.21097
52. Han DS, Chang HK, Kim KR, Woo SM. Consideration of bone regeneration effect of stem cells: comparison of bone regeneration between bone marrow stem cells and adipose-derived stem cells. *J Craniofac Surg.* 2014;25:196–201. DOI: 10.1097/SCS.0000000000000378
53. Marcacci M, Kon E, Moukachev V, et al. Stem cells associated with macroporous bioceramics for long bone repair: 6-to 7-year outcome of a pilot clinical study. *Tissue Eng.* 2007;13(5):947–955. DOI: 10.1089/ten.2006.0271
54. Hernigou P, Dubory A, Homma Y, et al. Cell therapy versus simultaneous contralateral decompression in symptomatic corticosteroid osteonecrosis: a thirty year follow-up prospective randomized study of one hundred and twenty five adult patients. *Int Orthop.* 2018;42(7):1639–1649. DOI: 10.1007/s00264-018-3941-8

- 55.** Talathi NS, Kamath AF. Autologous stem cell implantation with core decompression for avascular necrosis of the femoral head. *J Clin Orthop Trauma*. 2018;9(4):349–352. DOI: 10.1016/j.jcot.2018.05.014
- 56.** Emadedin M, Karimi S, Karimi A, et al. Autologous bone marrow-derived CD133 cells with core decompression as a novel treatment method for femoral head osteonecrosis: a pilot study. *Cytotherapy*. 2019;21(1):107–112. DOI: 10.1016/j.jcyt.2018.10.005

- 57.** Yu X, Zhang D, Chen X, et al. Effectiveness of various hip preservation treatments for non-traumatic osteonecrosis of the femoral head: A network meta-analysis of randomized controlled trials. *J Orthop Sci*. 2018;23(2):356–364. DOI: 10.1016/j.jos.2017.12.004
- 58.** Yoon BH, Lee YK, Kim KC, et al. No differences in the efficacy among various core decompression modalities and non-operative treatment: a network meta-analysis. *Int Orthop*. 2018;42(12):2737–2743. DOI: 10.1007/s00264-018-3977-9

ОБ АВТОРАХ

***Андрей Викторович Бойко**, аспирант;
адрес: Россия, 117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7829-2045>;
eLibrary SPIN: 4543-7879; e-mail: boiko120393@gmail.ru.

Михаил Александрович Панин, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4686-7892>;
eLibrary SPIN: 5834-3500; e-mail: panin-mihail@yandex.ru.

Николай Васильевич Загородний, д-р. мед. н., профессор,
член-корреспондент РАМН;
eLibrary SPIN: 6889-8166; e-mail: zagorodniy51@mail.ru.

Медетбек Джумабекович Абакиров, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-5904>;
eLibrary SPIN: 5099-0493; e-mail: medetbek@mail.ru.

Данила Алексеевич Ананьин, канд. мед. наук;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0032-4710>;
eLibrary SPIN: 1446-8368; e-mail: ananuins@list.ru.

AUTHORS INFO

***Andrey V. Boyko**, postgraduate student;
address: 6 Miklouho-Maclay str., Moscow, 117198, Russia;
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7829-2045>;
eLibrary SPIN: 4543-7879; e-mail: boiko120393@gmail.ru.

Mikhail A. Panin, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4686-7892>;
eLibrary SPIN: 5834-3500; e-mail: panin-mihail@yandex.ru.

Nikolay V. Zagorodniy, Dr. Sci. (Med), Professor, Corresponding
Member of the Russian Academy of Medical Sciences;
eLibrary SPIN: 6889-8166; e-mail: zagorodniy51@mail.ru.

Medetbek D. Abakirov, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5842-5904>;
eLibrary SPIN: 5099-0493; e-mail: medetbek@mail.ru.

Danila A. Ananyin, Cand. Sci. (Med.);
ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0032-4710>;
eLibrary SPIN: 1446-8368; e-mail: ananuins@list.ru.