

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ОДНОПОЛЮСНОГО ЭНДОПРОТЕЗА ПЛЕЧЕВОГО СУСТАВА И ТОТАЛЬНОГО ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ ПРИ АСЕПТИЧЕСКОМ НЕКРОЗЕ ПРОКСИМАЛЬНОГО ОТДЕЛА ПЛЕЧЕВОЙ КОСТИ (ЛИТЕРАТУРНЫЙ ОБЗОР)

Худошин И.А., Николаенко А.Н., Борисов А.П.

*Федеральное государственное образовательное учреждение высшего
образования «Самарский государственный медицинский университет»*

Министерства здравоохранения Российской Федерации

443099, г. Самара, ул. Чапаевская, 89

Российская Федерация

Резюме

Актуальность. Аvascularный некроз головки плечевой кости представляет собой патологический процесс, приводящий к прогрессирующему омертвлению костных структур из-за недостаточного кровоснабжения. Данное состояние сопряжено с развитием выраженного болевого синдрома и стойким ограничением функции сустава. Своевременная постановка диагноза является ключевым условием для предотвращения деформации и коллапса суставных поверхностей, что напрямую определяет успех дальнейшего лечения. Актуальность обусловлена высокой медико-социальной значимостью данной патологии, а также появлением новых терапевтических стратегий, среди которых – замещение головки плечевой кости индивидуальным однополюсным эндопротезом.

Цель работы: провести комплексный сравнительный анализ (клинический, рентгенологический, функциональный и экономический) исходов стандартизированного и персонифицированного эндопротезирования при асептическом некрозе головки плечевой кости. Изучить перспективы развития аддитивных технологий в контексте частичного (гемиартропластика) и тотального эндопротезирования плечевого сустава, включая создание

интегрированных (моноблочных) конструкций, имплантатов с зонами остеоинтеграции (трабекулярные покрытия) и биорезорбируемых каркасов.

Материалы и методы: методология исследования включала систематический поиск в базах PubMed, Cochrane и Google Scholar, КиберЛенинка за период с 2015 по 2025 г. Сравнимаемыми конечными точками были: частота осложнений и ревизий, субъективная оценка функции по шкале ASES, а также объективные параметры подвижности сустава – активное сгибание вперед, наружная и внутренняя ротация. Качество включенных исследований оценивалось с использованием критериев Методологического индекса для нерандомизированных исследований.

Результаты. В рамках настоящего обзора систематизированы современные данные, касающиеся лечебных подходов при аваскулярном некрозе головки плечевой кости. Персонализированный подход при эндопротезировании повышает эффективность лечения за счет: максимальной анатомической конгруэнтности индивидуально проектируемых имплантатов; упрощения и повышения точности хирургической техники с использованием пациент-специфических шаблонов; повышения экономической целесообразности благодаря развитию аддитивных технологий и оптимизации процессов; использования биосовместимых материалов (циркониевой керамики), характеризующихся высокой износостойкостью и минимальной реактогенностью.

Заключение. Для молодых и активных пациентов с аваскулярным некрозом головки плечевой кости и сохранной суставной впадиной гемиартропластика является предпочтительным первичным методом хирургического лечения, обеспечивающим отличный функциональный результат с максимальным сохранением анатомии и минимальным долгосрочным риском осложнений. Тотальное эндопротезирование рекомендовано для случаев с сопутствующим значительным поражением гленоида.

Ключевые слова: асептический некроз головки плечевой кости; однополюсное эндопротезирование; тотальное эндопротезирование; остеонекроз

Для корреспонденции: Борисов Александр Павлович, dr_borisov71@mail.ru

**COMPARATIVE ANALYSIS OF THE USE OF INDIVIDUAL SINGLE-POLE
SHOULDER JOINT REPLACEMENT AND TOTAL HUMERUS
REPLACEMENT IN ASEPTIC NECROSIS OF THE PROXIMAL HUMERUS
(LITERATURE REVIEW)**

Khudoshin I.A., Nikolaenko A.N., Borisov A.P.

Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Medical Education Samara
State Medical University of the Ministry of Health of the Russian Federation

Abstract

Introduction. Avascular necrosis of the humeral head is a pathological process that leads to progressive necrosis of bone structures due to insufficient blood supply. This condition is associated with the development of severe pain syndrome and persistent limitation of joint function. Timely diagnosis is a key condition for preventing deformity and collapse of articular surfaces, which directly determines the success of further treatment. The relevance is due to the high medical and social significance of this pathology, as well as the emergence of new therapeutic strategies, including replacement of the humerus head with an individual single-pole endoprosthesis.

The aim of the work. to conduct a comprehensive comparative analysis (clinical, radiological, functional and economic) of the outcomes of standardized and personalized endoprosthetics in aseptic necrosis of the humerus head. To study the prospects for the development of additive technologies in the context of partial (hemiarthroplasty) and total shoulder arthroplasty, including the creation of integrated (monoblock) structures, implants with osseointegration zones (trabecular coatings) and bioresorbable scaffolds.

Materials and methods. the research methodology included a systematic search in the databases PubMed, Cochrane and Google Scholar, CyberLeninka for the period from 2015 to 2025. The endpoints compared were: the frequency of complications and revisions, a subjective assessment of function on the ASES scale, as well as objective parameters of joint mobility – active forward bending, external and internal rotation. The quality of the included studies was assessed using the criteria of the Methodological Index for Non-randomized Studies.

Results. This review systematizes current data on therapeutic approaches for avascular necrosis of the humeral head. A personalized approach to endoprosthetics increases the effectiveness of treatment due to: maximum anatomical congruence of individually designed implants; simplifying and improving the accuracy of surgical techniques using patient-specific templates; increasing economic feasibility through the development of additive technologies and process optimization; using biocompatible materials (such as zirconium dioxide), characterized by high wear resistance and minimal reactivity.

Conclusion. For young and active patients with avascular necrosis of the humerus head and preserved articular cavity, hemiarthroplasty is the preferred primary method of surgical treatment, providing excellent functional results with maximum preservation of anatomy and minimal long-term risk of complications. Total arthroplasty is recommended for cases with concomitant significant glenoid lesion.

Key words: avascular necrosis of the humerus head; unipolar arthroplasty; total arthroplasty; osteonecrosis

Введение

Заболеваемость остеонекрозом увеличивается с каждым годом. На 2025 год в США ежегодная заболеваемость оценивается в диапазоне от 10 000 до 30 000 новых случаев, что частично объясняется увеличением использования стероидов [1]. Аvascularный некроз головки плечевой кости составляет небольшую, но растущую долю случаев: данные по Корее показывают увеличение с 0,13 на 100 000 человек в 2008 году до 0,33 в 2018 году [2]. При

этом 53% всех случаев остеонекроза выявлены у лиц женского пола, а для остеонекроза головки плечевой кости эта доля возрастает до 61,8% [2].

Головка бедренной кости является наиболее распространенным местом поражения, на нее приходится около 80% случаев, за ней следует головка плечевой кости, на которую приходится около 10% всех случаев остеонекроза [3]. Приблизительно у 5% пациентов с гленогумеральным артритом также имеется сопутствующий остеонекроз, и около 5% всех операций по эндопротезированию плечевого сустава выполняются по поводу асептического некроза головки плечевой кости [3].

В Российской Федерации точная распространенность аваскулярного некроза головки плечевой кости не указывается в официальной статистике, имеется небольшое количество научных публикаций по данной проблеме, однако по оценкам травматологов на данную локализацию приходится 15% всех случаев остеонекроза [4, 5].

Кортикостероидная терапия рассматривается как ведущий ятрогенный (нетравматический) фактор риска развития асептического некроза головки плечевой кости. Согласно литературным данным, на ее долю приходится до 38% всех случаев данного заболевания [6]. Патогенез связан с характерным временным интервалом: ретроспективный анализ 215 случаев показал, что в среднем 15 месяцев регулярного приема стероидов достаточно для манифестации рентгенологически верифицируемого остеонекроза в плечевом суставе [7]. Были выявлены инфекционные причины асептического некроза головки плечевой кости, особенно в контексте коронавирусной инфекции, менингококцемии, осложненной диссеминированным внутрисосудистым свертыванием (ДВС) и вируса иммунодефицита человека (ВИЧ) [8, 9, 4]. Хирургические вмешательства при переломах проксимального отдела плечевой кости (ПОПК) признаны значимым фактором риска развития ятрогенного (послеоперационного) асептического некроза головки плечевой кости [10].

Многочисленные клинические наблюдения подтверждают, что данное осложнение чаще всего манифестирует в течение первого года после операции

[10, 11, 12, 13]. Частота посттравматического аваскулярного некроза головки плечевой кости достигает 35%, преимущественно вследствие механического нарушения ее кровоснабжения [12]. Наиболее частым фоновым состоянием являются переломы проксимального отдела плечевой кости [13]. При этом максимальный риск некроза (15–30%) характерен для четырех фрагментарных переломов, что объясняется высоким процентом повреждения передней и задней огибающих артерий плеча [14].

Асептический некроз головки плечевой кости (АНГПК) характеризуется малосимптомным началом и длительным доклиническим периодом, в связи с чем на момент первичного обращения у большинства пациентов заболевание уже достигает поздних рентгенологических стадий [3, 15]. Относительно низкая клиническая манифестация на ранних этапах отчасти объясняется анатомо-функциональными особенностями плечевого пояса. В отличие от тазобедренного, плечевой сустав не является несущим, что уменьшает механическую нагрузку на некротизированный участок [15]. Кроме того, менее конгруэнтная суставная впадина лопатки (по сравнению с вертлужной) в сочетании со значительным компенсаторным потенциалом лопаточно-грудного сочленения длительно маскируют функциональный дефицит [16].

Тем не менее, по мере прогрессирования структурных изменений формируется характерный симптомокомплекс. У пациентов часто определяется болезненный щелчок (крепитация) при определенных движениях, патогенетической основой которого служат неконгруэнтность суставных поверхностей или наличие свободного хрящевого лоскута [3, 17]. В дальнейшем клиническая картина может прогрессировать до появления постоянной боли в покое и стойкого ограничения активного и пассивного объема движений, что в итоге приводит к значительному снижению функциональной активности и качества жизни [3].

Высокая медико-социальная значимость АНГПК побудила нас провести данное исследование.

Цель работы: провести комплексный сравнительный анализ (клинический, рентгенологический, функциональный и экономический) исходов стандартизированного и персонифицированного эндопротезирования при асептическом некрозе головки плечевой кости (АНГПК). Изучить перспективы развития аддитивных технологий в контексте частичного (гемиартропластика) и тотального эндопротезирования плечевого сустава, включая создание интегрированных (моноблочных) конструкций, имплантатов с зонами остеointegrации (трабекулярные покрытия) и биорезорбируемых каркасов.

Материалы и методы: методология исследования включала систематический поиск в базах PubMed, Cochrane и Google Scholar, КиберЛенинка за период с 2015 по 2025 г. Сравнимаемыми конечными точками были: частота осложнений и ревизий, субъективная оценка функции по шкале ASES, а также объективные параметры подвижности сустава – активное сгибание вперед, наружная и внутренняя ротация. Качество включенных исследований оценивалось с использованием критериев Методологического индекса для нерандомизированных исследований.

Результаты. Консервативная терапия при АНГПК направлена на симптоматическое облегчение состояния и замедление прогрессирования заболевания [18]. Ее основные компоненты включают:

- 1) модификацию физической активности: рекомендуется избегать движений, создающих чрезмерную нагрузку на сустав, в частности активного отведения и сгибания плеча. При этом для профилактики контрактур важны регулярные пассивные упражнения, направленные на поддержание объема движений [18, 19];
- 2) коррекцию модифицируемых факторов риска: при наличии возможности необходимо исключить или минимизировать воздействие установленных этиологических агентов, таких как системный прием кортикостероидов и злоупотребление алкоголем [3];

3) медикаментозную поддержку: для купирования болевого синдрома могут применяться нестероидные противовоспалительные препараты (НПВП), а в случаях выраженной боли — опиоидные анальгетики [18, 19].

Данные клинических исследований свидетельствуют о невысокой эффективности консервативного ведения пациентов с АНГПК [20, 21, 22]. В ретроспективном анализе 30 плечевых суставов, получавших исключительно консервативную терапию, лишь у половины пациентов были зафиксированы удовлетворительные отдаленные результаты (через 10 лет наблюдения) по совокупности критериев: интенсивность болевого синдрома, уровень функциональности и субъективная удовлетворенность [20]. У оставшихся 50% исходы были расценены как неудовлетворительные, что потребовало в дальнейшем хирургического вмешательства или сопровождалось значительным функциональным дефицитом [20].

Более убедительные доказательства преимущества хирургических методов на ранних стадиях получены из систематического обзора Franceschi F. с соавт., которые сравнивали эффективность неоперативной тактики и декомпрессии (туннелизации) в предотвращении прогрессирования до необходимости артропластики [23]. Согласно данным исследователей, успех консервативного лечения был крайне низким и составил лишь 10,3%, в то время как при декомпрессии на стадиях I–III он достигал 76,6% [23].

К операциям, направленным на сохранение сустава, относятся: артроскопическая санация и декомпрессия костного ядра с костной пластикой или без нее [19, 24]. Варианты эндопротезирования сустава включают: восстановление поверхности головки плечевой кости, гемиартропластику (ГА) и тотальное эндопротезирование плечевого сустава (ТЭПС) [24].

Применение изолированной артроскопической санации при лечении АНГПК в настоящее время не получило широкого распространения и представлено в научной литературе преимущественно единичными клиническими наблюдениями [3, 19, 25]. В работах Hardy P. с соавт. описаны положительные результаты данного вмешательства даже на III и более поздних

стадиях заболевания, что подтверждается достоверным улучшением показателей по шкале UCLA и увеличением объема активных движений в послеоперационном периоде [25]. Основными клиническими преимуществами методики являются ее малая инвазивность, способность к быстрому купированию симптоматики и органосохраняющий характер [3, 25].

Однако, целесообразность артроскопической санации при АНГПК, за исключением случаев с явными механическими симптомами (блокады, щелчки), обусловленными наличием свободных внутрисуставных тел или нестабильных хрящевых фрагментов, требует дальнейшего изучения.

Костная декомпрессия (туннелизация) направлена на снижение внутрикостного давления и стимуляцию реваскуляризации и может выполняться открытым, артроскопически-ассистированным или даже чрескожным доступом [26]. Данный метод демонстрирует хорошие результаты, особенно при АНГПК I и II стадий, когда 88–100% пациентов показывают хорошие послеоперационные баллы по шкале UCLA [27]. Более того, часть пациентов с ранними стадиями АНГПК после туннелизации не демонстрировала рентгенологического прогрессирования заболевания в течение 5 лет наблюдения [27].

Однако эффективность декомпрессии на более поздних стадиях значительно снижается: хорошие результаты были получены лишь у 70% пациентов с III стадией и у 14–16% пациентов с стадией IV [28]. L'Insalata с соавт. обнаружили, что декомпрессия при стадии III не предотвращает клинического или рентгенологического прогрессирования [28].

Показания к эндопротезированию плечевого сустава (ЭПС) являются динамичной категорией, эволюционирующей параллельно с усовершенствованием имплантационных систем, хирургических методик и накоплением новых доказательных данных [29].

Переход к протезирующим методам лечения рассматривается при неудовлетворительных результатах консервативной терапии или органосохраняющих хирургических вмешательств [3, 19, 29].

Существуют следующие основные типы протезирования при АНГПК: восстановление поверхности головки плечевой кости (ВПГПК) (с сохранением остаточной костной ткани головки), гемиартропластика (ГА) и тотальное эндопротезирование (ТЭ) плечевого сустава [30]. Выбор метода определяется комплексом критериев: возраст пациента, сохранность вращательной манжеты плеча, степень коллапса некротизированной кости и выраженность дегенеративных изменений хряща суставной впадины лопатки [3, 29, 30]. Важным техническим требованием при выполнении ГА является использование такой конструкции ножки плечевого компонента, которая в последующем позволит осуществить конверсию в тотальное эндопротезирование (анатомическое или реверсивное) без необходимости ее удаления [30, 31].

ВПГПК, в свою очередь, подразделяется на частичное и тотальное [30, 21]. Частичное предназначено для изолированного замещения сегмента головки в пределах некротического очага и применим только при условии интактности остальной части суставной поверхности. Ключевым ограничением для обеих модификаций является объем некроза, который должен быть достаточно ограниченным для полного покрытия имплантатом и обеспечения его надежной первичной фиксации [21]. Главное преимущество метода – максимальное сохранение нативной костной ткани, что способствует поддержанию физиологической биомеханики сустава и облегчает возможную будущую конверсию в ГА или ТЭ [21].

Клинические данные подтверждают эффективность ВПГПК. В исследовании Levy O. с соавт. у 17 пациентов с тотальным ЭПС при некрозе III-IV стадии и диаметре очага менее 40 мм были достигнуты: средний балл по шкале Constant 71,8%, удовлетворенность пациентов составила 8,7 из 10 [32]. Однако важным критерием успеха, по мнению авторов, является сохранение не менее 60% объема костной ткани головки для обеспечения стабильности бесстебельчатого имплантата [32]. Несмотря на обнадеживающие результаты, ВПГПК технически трудно выполнимо (требует точного позиционирования для

сохранения анатомии) и применимо лишь при ограниченном некрозе, что обуславливает предпочтение многими хирургами полной замены головки (ГА/ТЭ) как более надежного и воспроизводимого варианта [33].

В данной статье подробно остановимся на сравнении применения однополюсного эндопротеза плечевого сустава и тотального эндопротезирования.

Анатомическое ЭПС (АЭПС) традиционно рассматривается как метод выбора при интактной или восстановимой вращательной манжете [33, 34, 35].

В рамках АЭПС гемиартропластика (ГА) может быть предпочтительна в следующих случаях:

- 1) у молодых пациентов с высоким функциональным статусом;
- 2) при асептическом некрозе головки плечевой кости с сохранной хрящевой поверхностью гленоида;
- 3) при трех- и четырехфрагментарных переломах;
- 4) при определенном дефиците вращательной манжеты, если прогнозируемый после ГА объем активного сгибания превышает 90 [33, 36].

Ключевым противопоказанием к ГА является дефицит клювовидно-акромиальной дуги [36].

Реверсивное ЭПС (РЭПС) является методом выбора при необратимом, функционально значимом дефиците мышц вращательной манжеты, а также в ревизионной хирургии [37].

Окончательное решение о типе имплантата и хирургической тактике принимается лечащим хирургом индивидуально для каждого пациента с учетом всего спектра клинико-рентгенологических данных.

Сравнительный анализ ГА и ТЭ показывает, что оба метода обеспечивают хорошие и сопоставимые функциональные результаты в среднесрочной перспективе, с показателями удовлетворенности пациентов до 75-80% и значительным уменьшением боли [34, 35].

Метаанализ Franceschi F. с соавт., включивший 382 случая, указывает на широкий диапазон успеха (54–100%) [23]. Однако долгосрочная выживаемость

этих имплантатов лимитируется типом специфических осложнений: для ГА это прогрессирующая эрозия суставной впадины, а для ТЭ – асептическое расшатывание гленоидного компонента, которое является основной причиной ревизионных вмешательств [23].

Крупные сравнительные исследования демонстрируют последовательную тенденцию: частота ревизий после ТЭ в несколько раз выше, чем после ГА: 26% против 2% у Herve A. с соавт. [34]; 22% против 5% у Feeley B. с соавт. [35], при этом большинство ревизий ТЭ (до 66%) выполняются именно по поводу расшатывания гленоидного компонента [2].

К факторам риска эрозии суставной впадины после ГА относят женский пол, наличие предоперационных кист гленоида и варусную позицию плечевого компонента [38]. Ключевой практический вывод заключается в том, что при интактном хряще суставной впадины предпочтение следует отдавать ГА, особенно у молодых пациентов, ввиду более низкого риска серьезных осложнений, требующих сложной ревизии [2, 23, 38].

Перспективным направлением для снижения риска эрозии при ГА является применение головок из циркониевой керамики, чьи трибологические свойства и эластичность, близкая к костной ткани, теоретически уменьшают износ контралатерального хряща [39].

Предварительные результаты Garrett J. и соавт., 2022, на серии из 7 плечевых суставов с АНГПК показывают хороший клинический результат и отсутствие рентгенологического прогрессирования эрозии у 86% пациентов через 2 года [40]. Однако, для подтверждения долгосрочного преимущества перед традиционными металлическими головками требуются дальнейшие исследования с более длительным сроком наблюдения.

Orfaly R.M. и соавт. при исследовании 21 плечевого сустава обнаружили частоту снижения боли (с 66 до 18 по визуальной аналоговой шкале) и функции (с 36 до 81 по индексу ASES) после артропластики наряду с улучшением объема движений [41].

Bülhoff M. с соавт., 2025, на 17 пациентах с АНГПК выявили, что кумулятивная выживаемость составила 100% через 10 лет и 93,3% через 15 лет [42]. von Gerhardt A.L. и соавт., 2022, обнаружили значимое улучшение по сравнению с предоперационными показателями: показатели боли по визуальной аналоговой шкале ($6,5 \pm 2,1$ до $0,7 \pm 1,6$, $P < 0,001$), показатели по простому тесту плеча (голландская версия) ($22\% \pm 22\%$ до $79\% \pm 22\%$, $P < 0,001$), оценка шкале Constant (40 ± 29 до 70 ± 8 , $P < 0,001$) и оценка физического состояния по краткой форме 12 (36 ± 7 до 41 ± 12 , $P = 0,001$) [43].

В серии случаев, представленной Schoch B. с соавт. (67 ГА и 71 ТЭПС), авторы зафиксировали значимое улучшение объема движений и уменьшение боли в обеих группах [44]. Однако в группе ГА отмечалось более высокое активное сгибание, чем в группе ТЭПС. В этом исследовании выбор между ГА и ТЭПС основывался на интраоперационной оценке: ГА выполнялась, если 4/5 или более площади суставной впадины были покрыты хрящом [44]. ТЭПС рассматривалась у пациентов с выраженным износом (эрозией) суставной впадины или подвывихом головки плечевой кости в дефектную область гленоида [45].

Исследованиями Levine W.N. с соавт., показано, что только 25% пациентов с АНГПК, которым была проведена ГА, удовлетворены результатами лечения в среднем через 17,2 лет после операции [46].

В целом, ГА рекомендуется при минимальном или отсутствующем износе суставной впадины, тогда как тотальное эндопротезирование обычно показано при вовлечении в патологический процесс, как головки плеча, так и гленоида [39, 42, 44].

Ristow J.J. с соавт., 2019, представили среднесрочные результаты (средний срок наблюдения 3,9 года) 29 плечевых суставов с остеонекрозом, пролеченных с помощью ГА или ТЭПС (19 ГА и 10 ТЭПС), и сообщили о статистически значимом улучшении по всем 4 функциональным шкалам. Значимых различий в оценках, сообщаемых пациентами, объеме движений или частоте ревизий между методами лечения выявлено не было [21].

Согласно исследованиям Rhee S.M. с соавт., 2023, у 26 пациентов, перенесших ЭПС, со средним периодом наблюдения 36,4 месяца, средние показатели боли по шкале VAS, шкалы UCLA и шкалы ASES значительно улучшились: с 6,3, 11,6 и 35,0 до операции до 2,2, 28,9 и 82,6 при окончательной оценке (все $p < 0,001$) [47].

Smith R.G. и соавт. сообщили об исходах у 31 пациента со стероид-индуцированным АОНГПК, леченных с помощью ГА. Из 31 пациента 14 сообщили о неудовлетворительных результатах из-за сохраняющейся боли и недостаточного отведения ($< 90^\circ$) [48]. Примечательно, что среди этих 14 неудачных случаев у 7 на предоперационных рентгенограммах отмечалось истончение хряща суставной впадины ($> 50\%$), что могло повлиять на неудовлетворительные исходы [48].

Особенность пациентов со стероид-индуцированным АОНГПК IV-V стадии, подвергающихся ГА или ТЭПС, заключается в плохом качестве костной ткани в области хирургической шейки, что может повышать риск интраоперационного перелома [49]. Также могут использоваться ножки с бесцементной фиксацией (press-fit), при рассверливании канала плечевой кости рекомендуется проявлять осторожность. В некоторых исследованиях для предотвращения этого потенциального осложнения предпочтение отдавалось укреплению ножки протеза с помощью цемента [50].

Очевидно, что необходимо больше исследований, чтобы определить, является ли один из этих хирургических вариантов превосходящим другой в этом клиническом контексте.

Заключение

Аваскулярный некроз головки плечевой кости – это многофакторное заболевание с различными основными этиологическими факторами, начиная от травм и ортопедических вмешательств, заканчивая лекарственными препаратами и гематологическими заболеваниями. Несмотря на относительно редкую встречаемость, прогрессирующий характер заболевания и риск

коллапса сустава, подчеркивают важность ранней диагностики и адекватного лечения.

На основании анализа современных клинических исследований можно сделать следующий вывод о преимуществах ГА перед ТЭПС при АНГПК. ГА демонстрирует статистически значимые преимущества в долгосрочной перспективе, прежде всего, за счет существенно более низкого риска ревизионных операций. Основное преимущество ГА реализуется только при условии интактности или минимального износа хряща суставной впадины лопатки. При значительной эрозии гленоида или его деформации, предпочтение следует отдавать ТЭПС, так как в этих условиях ГА приведет к быстрому прогрессированию боли из-за износа оставшегося хряща.

Таким образом, для молодых и активных пациентов с АНГПК и сохранной суставной впадиной ГА является предпочтительным первичным методом хирургического лечения, обеспечивающим отличный функциональный результат с максимальным сохранением анатомии и минимальным долгосрочным риском осложнений, требующих сложной ревизии. Тотальное эндопротезирование рекомендуется для случаев с сопутствующим значительным поражением гленоида.

Список литературы:

1. Wenkang Y., Zhangdian L., Yanbin L., et al. Causal association between inflammatory cytokines and osteonecrosis: A bidirectional 2-sample Mendelian randomization study. *Medicine*. 2025;104(31): e43671. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000043671>
2. Hernigou P., Hernigou J., Scarlat M. Shoulder Osteonecrosis: Pathogenesis, Causes, Clinical Evaluation, Imaging, and Classification. *Orthop Surg*. 2020;12:1340-1349. <https://doi.org/10.1111/os.12788>
3. Kaza E., Neel G., Feeley S., et al. Humeral head avascular necrosis: etiology, diagnosis, and management. *Clin Shoulder Elb*. 2025;28(4):517-528. <https://doi.org/10.5397/cise.2025.00493>

4. Кирпикова М.Н., Чудинова М.Д., Кирпичев И.В., Стаковецкий М.К. Аvascularный некроз кости и новая коронавирусная инфекция – есть ли связь? *Вестник Ивановской государственной медицинской академии*. 2022. 1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/avaskulyarnyy-nekroz-kosti-i-novaya-koronavirusnaya-infektsiya-est-li-svyaz> (дата обращения: 19.05.2026)
5. Ильиных Е.В., Барскова В.Г., Лидов П.И., Насонов Е.Л. Остеонекроз. Часть 1. Факторы риска и патогенез. *Современная ревматология*. 2013;7(1):17-24. <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2013-2362>
6. Horby P., Lim W.S., Emberson J.R., et al. Dexamethasone in Hospitalized Patients with Covid-19. *N Engl J Med*. 2021;384:693-704. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa20214>
7. Khan A., Hangartner T., Weinreb N.J., et al. Risk factors for fractures and avascular osteonecrosis in type 1 Gaucher disease: a study from the International Collaborative Gaucher Group (ICGG) Gaucher Registry. *J Bone Miner Res*. 2012;27:1839-1848. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1680>
8. Keough N., Lorke D. The humeral head: a review of the blood supply and possible link to osteonecrosis following rotator cuff repair. *J Anat*. 2021;239(5):973-982. <https://doi.org/10.1111/joa.13496>
9. Keough N., de Beer T., Uys A., Hohmann E. An anatomical investigation into the blood supply of the proximal humerus: surgical considerations for rotator cuff repair. *JSES Open Access*. 2019;3(4):320-327. <https://doi.org/10.1016/j.jses.2019.09.002>
10. Li M., Sun G.C., Cui J., Lou Q.L. Risk factors for surgical site infection after closed proximal humerus fractures. *Int Wound J*. 2024 Mar;21(3):e14515. <https://doi.org/10.1111/iwj.14515>
11. Kennon J., Smith J., Crosby L. Core decompression and arthroplasty outcomes for atraumatic osteonecrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(9): 1442-1448. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.01.022>

12. Campochiaro G., Rebuzzi M., Baudi P., Catani F. Complex proximal humerus fractures: Hertel's criteria reliability to predict head necrosis. *Musculoskelet Surg.* 2015;99 (1):9-15. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0358-z>
13. Ou Z., Feng Q., Peng L., et al. Risk factors for osteonecrosis of the humeral head after internal fixation of proximal humeral fractures: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144:31-40. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05020-8>
14. Wu Z., Shen W. An updated systematic review and metaanalysis comparing deltoidsplit approach with deltopectoral approach for proximal humerus fractures. *Exp Ther Med.* 2023;25:296. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.11995>
15. Casagrande D., Stains J.P., Murthi A.M. Identification of shoulder osteoarthritis biomarkers: comparison between shoulders with and without osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015 Mar;24(3):382-390. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.11.039>
16. Paine R., Voight M.L. The role of the scapula. *Int J Sports Phys Ther.* 2013 Oct;8(5):617-629. PMID: 24175141; PMCID: PMC3811730
17. Raiss P., Kasten P., Baumann F., et al. Treatment of osteonecrosis of the humeral head with cementless surface replacement arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American* 2009;91(2):340-349. <https://doi.org/10.2106/jbjs.h.00560>
18. Mercado C.J.S., Lievano R.J., Zaldivar B., et al. Atraumatic osteonecrosis of the humeral head: pathophysiology and current concepts of evaluation and treatment. *JSES Rev Rep Tech.* 2022;2(3):277-284. <https://doi.org/10.1016/j.xrrt.2022.02.005>
19. Lee W.Q., Lie H.M., Lie D.T.T. Diagnosis and treatment of avascular necrosis of the humeral head: Current concepts. *Journal of ISAKOS.* 2023; 8(2):08-113. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2022.11.002>
20. Lim J.R., Do W.S., Chang H.H., et al. Non-operative treatment in advanced atraumatic osteonecrosis of the humeral head in patients under 50 years old: an

- observational study. *Sci Rep.* 2024;14(1):31587.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-79669-5>
21. Ristow J.J., Ellison C.M., Mickschl D.J., et al. Outcomes of shoulder replacement in humeral head avascular necrosis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019;28(1):9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.06.031>
22. Hasan S.S., Schwindel L.E., Fleckenstein C.M. Prosthetic shoulder arthroplasty in patients 40 years or younger: outcomes stratified by diagnosis and surgery. *Clin Shoulder Elb.* 2022;25(4):311-320.
<https://doi.org/10.5397/cise.2022.01088>
23. Franceschi F., Franceschetti E., Paciotti M., et al. Surgical management of osteonecrosis of the humeral head: a systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2017;25(10): 3270-3278. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4169-z>
24. Migliorini F., Schäfer L., Masoni V., et al. Shoulder joint preservation surgeries in adults. *Eur J Med Res.* 2026; 31: 525.
<https://doi.org/10.1186/s40001-026-04176-4>
25. Hardy P., Decrette E, Jeanrot C., et al. Arthroscopic treatment of bilateral humeral head osteonecrosis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2000; 16(3): 332-335. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(00\)90059-8](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(00)90059-8)
26. Brusalis C.M., Weissman A.C., Yazdi A.A., et al. Arthroscopic-Assisted Core Decompression of Humeral Head Osteonecrosis With Bone Marrow Aspirate Concentrate Augmentation. *Video J Sports Med.* 2024; 4(2):26350254231212928. <https://doi.org/10.1177/26350254231212928>
27. Wang K.C., Kantrowitz D.E., Patel A.V., et al. Survivorship of total shoulder arthroplasty vs. hemiarthroplasty for the treatment of avascular necrosis at greater than 10-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022;31:1782-1788.
<https://doi.org/10.1016/j.jse.2022.02.019>
28. L'Insalata J.C., Pagnani M.J., Warren R.F., Dines D.M. Humeral head osteonecrosis: clinical course and radiographic predictors of outcome. *J*

- Shoulder Elbow Surg.* 1996;5(5):355-361. [https://doi.org/10.1016/s1058-2746\(96\)80066-8](https://doi.org/10.1016/s1058-2746(96)80066-8)
29. Rupani N., Combescure C., Silman A., et al. International trends in shoulder replacement: a meta-analysis from 11 public joint registers. *Acta Orthop.* 2024;95:348-357. <https://doi.org/10.2340/17453674.2024.40948>
30. Widnall J.C., Dheerendra S.K., Macfarlane R.J., Waseem M. The use of shoulder hemiarthroplasty and humeral head resurfacing: a review of current concepts. *Open Orthop J.* 2013;7:334-347. <https://doi.org/10.2174/1874325001307010334>
31. Reuther F., Irlenbusch U., Kääh M.J., Kohut G. Conversion of Hemiarthroplasty to Reverse Shoulder Arthroplasty with Humeral Stem Retention. *J. Clin. Med.* 2022, 11: 834. <https://doi.org/10.3390/jcm11030834>
32. Levy O., Tsvieli O., Merchant J., et al. Surface replacement arthroplasty for glenohumeral arthropathy in patients aged younger than fifty years: results after a minimum ten-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(7):1049-1060. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.11.035>
33. Bixby E., Sonnenfeld J., Alrabaa R., Trofa D., Jobin C. Partial humeral head resurfacing for avascular necrosis. *Arthroscopy Techniques.* 2020;9(1):e185–189. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2019.09.025>
34. Herve A., Chelli M., Boileau P., et al. Clinical and radiological results of hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty for primary avascular necrosis of the humeral head in patients less than 60 Years old. *J Clin Med.* 2021;10(14):3081. <https://doi.org/10.3390/jcm10143081>
35. Feeley B., Fealy S., Dines D., et al. Hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty for avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17(5):689-694. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.03.009>
36. Miettinen S.S.A., Liu Y., Kröger H. Long-term survival of resurfacing humeral hemiarthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024 Aug;34(6):2925-2932. <https://doi.org/10.1007/s00590-024-04010-9>

37. Heifner J.J., Kumar A.D., Wagner ER. Reverse shoulder arthroplasty used for revision of reverse shoulder arthroplasty: a systematic review. *JSES Reviews, Reports, and Techniques*. 2021;1(4):329-334. <https://doi.org/10.1016/j.xrrt.2021.07.002>
38. Soudy K., Szymanski C., Lalanne C., et al. Results and limitations of humeral head resurfacing: 105 cases at a mean follow-up of 5 years. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103:415-420. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.12.015>
39. Marino V.P., De Vecchi F., Koya T., et al. In Vitro Evaluation of Hemiarthroplasty Bearing Materials: A Scoping Review (Part I). *J Orthop Res*. 2026;44(1):e70026. <https://doi.org/10.1002/jor.70026>
40. Garret J., Godenèche A., Boileau P., et al. Midterm results of pyrocarbon interposition shoulder arthroplasty: good outcomes after posttraumatic osteonecrosis without malunion of the tuberosities. *JSES International*. 2022;6(5):787-794. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2022.05.007>
41. Orfaly R.M., Rockwood C.A. Jr, Esenyel C.Z., Wirth M.A. Shoulder arthroplasty in cases with avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2007;16(3):27-32. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2006.06.005>
42. Bühlhoff M., Gurda A, Weishorn J., et al. Long-term results of cementless humeral head resurfacing for humeral head osteonecrosis - a monocentric longitudinal observational study. *Int Orthop*. 2025 Oct;49(10):2539-2547. <https://doi.org/10.1007/s00264-025-06622-0>
43. von Gerhardt A.L., Willems J.I.P., Geervliet P.C., et al. Long-term results of the uncemented resurfacing shoulder hemiarthroplasty (Global Conservative Anatomic Prosthesis). *J Shoulder Elbow Surg*. 2022;31(4):839-846. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2021.08.021>
44. Schoch B., Barlow J., Schleck C., et al. Shoulder arthroplasty for atraumatic osteonecrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(2):238-245. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.07.019>
45. Steffensmeier A.M., Kirkham K., Wiemann J.M. Core decompression with synthetic grafting as a joint preservation strategy in humeral avascular necrosis

- due to sickle cell anemia: a case report. *J Orthop Case Rep.* 2016;6:62-64. <https://doi.org/10.13107/jocr.2250-0685.634>
46. Levine W.N., Fischer C.R., Nguyen D., et al. Long-term follow-up of shoulder hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am.* 2012;94(22):e164. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00603>
47. Rhee S.M., Kim D.H., Rhee Y.G., Cho C.H. Long-term outcomes after humeral head replacement and total shoulder replacement for osteonecrosis of the humeral head: a mean follow-up of 8 years. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023;143:4597-4604. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04724-7>
48. Smith R.G., Sperling J.W., Cofield R.H., et al. Shoulder hemiarthroplasty for steroid-associated osteonecrosis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17(5):685-688. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.01.149>
49. Klawitter J.J., Patton J., More R., et al. In vitro comparison of wear characteristics of PyroCarbon and metal on bone: shoulder hemiarthroplasty. *Shoulder Elbow.* 2020;12:11-22. <https://doi.org/10.1177/1758573218796837>
50. Werner B.S., Stehle J., Abdelkawi A., et al. Progressive glenoid bone loss caused by erosion in humeral head resurfacing. *Orthopade.* 2017;46:1028-1033. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3483-6>

References:

1. Wenkang Y., Zhangdian L., Yanbin L., et al. Causal association between inflammatory cytokines and osteonecrosis: A bidirectional 2-sample Mendelian randomization study. *Medicine.* 2025;104(31): e43671. <https://doi.org/10.1097/MD.00000000000043671>
2. Hernigou P., Hernigou J., Scarlat M. Shoulder Osteonecrosis: Pathogenesis, Causes, Clinical Evaluation, Imaging, and Classification. *Orthop Surg.* 2020;12:1340-1349. <https://doi.org/10.1111/os.12788>
3. Kaza E., Neel G., Feeley S., et al. Humeral head avascular necrosis: etiology, diagnosis, and management. *Clin Shoulder Elb.* 2025;28(4):517-528. <https://doi.org/10.5397/cise.2025.00493>

4. Kirpikova M.N., Chudinova M.D., Kirpichev I.V., Stakovetsky M.K. Avaskuläre Knochennekrose und neuartige Coronavirus-Infektion – besteht ein Zusammenhang? *Vestnik Ivanovskoy gosudarstvennoy meditsinskoy akademii (Bulletin der Staatlichen Medizinischen Akademie Iwanowo)*. 2022. 1. (in Russian) <https://cyberleninka.ru/article/n/avaskulyarnyy-nekroz-kosti-i-novaya-koronavirusnaya-infektsiya-est-li-svyaz> (accessed: 19.05.2026)
5. Ilyinykh E.V., Barskova V.G., Lidov P.I., Nasonov E.L. Osteonecrosis. Part 1. Risk factors and pathogenesis. *Sovremennaya Revmatologiya*. 2013;7(1):17-24. (in Russian) <https://doi.org/10.14412/1996-7012-2013-2362>
6. Horby P., Lim W.S., Emberson J.R., et al. Dexamethasone in Hospitalized Patients with Covid-19. *N Engl J Med*. 2021;384:693-704. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa20214>
7. Khan A., Hangartner T., Weinreb N.J., et al. Risk factors for fractures and avascular osteonecrosis in type 1 Gaucher disease: a study from the International Collaborative Gaucher Group (ICGG) Gaucher Registry. *J Bone Miner Res*. 2012;27:1839-1848. <https://doi.org/10.1002/jbmr.1680>
8. Keough N., Lorke D. The humeral head: a review of the blood supply and possible link to osteonecrosis following rotator cuff repair. *J Anat*. 2021;239(5):973-982. <https://doi.org/10.1111/joa.13496>
9. Keough N., de Beer T., Uys A., Hohmann E. An anatomical investigation into the blood supply of the proximal humerus: surgical considerations for rotator cuff repair. *JSES Open Access*. 2019;3(4):320-327. <https://doi.org/10.1016/j.jses.2019.09.002>
10. Li M., Sun G.C., Cui J., Lou Q.L. Risk factors for surgical site infection after closed proximal humerus fractures. *Int Wound J*. 2024 Mar;21(3):e14515. <https://doi.org/10.1111/iwj.14515>
11. Kennon J., Smith J., Crosby L. Core decompression and arthroplasty outcomes for atraumatic osteonecrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(9): 1442-1448. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2016.01.022>

12. Campochiaro G., Rebuzzi M., Baudi P., Catani F. Complex proximal humerus fractures: Hertel's criteria reliability to predict head necrosis. *Musculoskelet Surg.* 2015;99 (1):9-15. <https://doi.org/10.1007/s12306-015-0358-z>
13. Ou Z., Feng Q., Peng L., et al. Risk factors for osteonecrosis of the humeral head after internal fixation of proximal humeral fractures: a systematic review and meta-analysis. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2024;144:31-40. <https://doi.org/10.1007/s00402-023-05020-8>
14. Wu Z., Shen W. An updated systematic review and metaanalysis comparing deltoidsplit approach with deltopectoral approach for proximal humerus fractures. *Exp Ther Med.* 2023;25:296. <https://doi.org/10.3892/etm.2023.11995>
15. Casagrande D., Stains J.P., Murthi A.M. Identification of shoulder osteoarthritis biomarkers: comparison between shoulders with and without osteoarthritis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015 Mar;24(3):382-390. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.11.039>
16. Paine R., Voight M.L. The role of the scapula. *Int J Sports Phys Ther.* 2013 Oct;8(5):617-629. PMID: 24175141; PMCID: PMC3811730
17. Raiss P., Kasten P., Baumann F., et al. Treatment of osteonecrosis of the humeral head with cementless surface replacement arthroplasty. *The Journal of Bone and Joint Surgery-American* 2009;91(2):340-349. <https://doi.org/10.2106/jbjs.h.00560>
18. Mercado C.J.S., Lievano R.J., Zaldivar B., et al. Atraumatic osteonecrosis of the humeral head: pathophysiology and current concepts of evaluation and treatment. *JSES Rev Rep Tech.* 2022;2(3):277-284. <https://doi.org/10.1016/j.xrrt.2022.02.005>
19. Lee W.Q., Lie H.M., Lie D.T.T. Diagnosis and treatment of avascular necrosis of the humeral head: Current concepts. *Journal of ISAKOS.* 2023; 8(2):08-113. <https://doi.org/10.1016/j.jisako.2022.11.002>
20. Lim J.R., Do W.S., Chang H.H., et al. Non-operative treatment in advanced atraumatic osteonecrosis of the humeral head in patients under 50 years old: an

- observational study. *Sci Rep.* 2024;14(1):31587.
<https://doi.org/10.1038/s41598-024-79669-5>
21. Ristow J.J., Ellison C.M., Mickschl D.J., et al. Outcomes of shoulder replacement in humeral head avascular necrosis. *J Shoulder Elbow Surg.* 2019;28(1):9-14. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2018.06.031>
22. Hasan S.S., Schwindel L.E., Fleckenstein C.M. Prosthetic shoulder arthroplasty in patients 40 years or younger: outcomes stratified by diagnosis and surgery. *Clin Shoulder Elb.* 2022;25(4):311-320.
<https://doi.org/10.5397/cise.2022.01088>
23. Franceschi F., Franceschetti E., Paciotti M., et al. Surgical management of osteonecrosis of the humeral head: a systematic review. *Knee Surgery, Sports Traumatology, Arthroscopy.* 2017;25(10): 3270-3278. <https://doi.org/10.1007/s00167-016-4169-z>
24. Migliorini F., Schäfer L., Masoni V., et al. Shoulder joint preservation surgeries in adults. *Eur J Med Res.* 2026; 31: 525.
<https://doi.org/10.1186/s40001-026-04176-4>
25. Hardy P., Decrette E, Jeanrot C., et al. Arthroscopic treatment of bilateral humeral head osteonecrosis. *Arthroscopy: The Journal of Arthroscopic & Related Surgery.* 2000; 16(3): 332-335. [https://doi.org/10.1016/s0749-8063\(00\)90059-8](https://doi.org/10.1016/s0749-8063(00)90059-8)
26. Brusalis C.M., Weissman A.C., Yazdi A.A., et al. Arthroscopic-Assisted Core Decompression of Humeral Head Osteonecrosis With Bone Marrow Aspirate Concentrate Augmentation. *Video J Sports Med.* 2024; 4(2):26350254231212928. <https://doi.org/10.1177/26350254231212928>
27. Wang K.C., Kantrowitz D.E., Patel A.V., et al. Survivorship of total shoulder arthroplasty vs. hemiarthroplasty for the treatment of avascular necrosis at greater than 10-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2022;31:1782-1788.
<https://doi.org/10.1016/j.jse.2022.02.019>
28. L'Insalata J.C., Pagnani M.J., Warren R.F., Dines D.M. Humeral head osteonecrosis: clinical course and radiographic predictors of outcome. *J*

- Shoulder Elbow Surg.* 1996;5(5):355-361. [https://doi.org/10.1016/s1058-2746\(96\)80066-8](https://doi.org/10.1016/s1058-2746(96)80066-8)
29. Rupani N., Combescure C., Silman A., et al. International trends in shoulder replacement: a meta-analysis from 11 public joint registers. *Acta Orthop.* 2024;95:348-357. <https://doi.org/10.2340/17453674.2024.40948>
30. Widnall J.C., Dheerendra S.K., Macfarlane R.J., Waseem M. The use of shoulder hemiarthroplasty and humeral head resurfacing: a review of current concepts. *Open Orthop J.* 2013;7:334-347. <https://doi.org/10.2174/1874325001307010334>
31. Reuther F., Irlenbusch U., Kääb M.J., Kohut G. Conversion of Hemiarthroplasty to Reverse Shoulder Arthroplasty with Humeral Stem Retention. *J. Clin. Med.* 2022, 11: 834. <https://doi.org/10.3390/jcm11030834>
32. Levy O., Tsvieli O., Merchant J., et al. Surface replacement arthroplasty for glenohumeral arthropathy in patients aged younger than fifty years: results after a minimum ten-year follow-up. *J Shoulder Elbow Surg.* 2015;24(7):1049-1060. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2014.11.035>
33. Bixby E., Sonnenfeld J., Alrabaa R., Trofa D., Jobin C. Partial humeral head resurfacing for avascular necrosis. *Arthroscopy Techniques.* 2020;9(1):e185–189. <https://doi.org/10.1016/j.eats.2019.09.025>
34. Herve A., Chelli M., Boileau P., et al. Clinical and radiological results of hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty for primary avascular necrosis of the humeral head in patients less than 60 Years old. *J Clin Med.* 2021;10(14):3081. <https://doi.org/10.3390/jcm10143081>
35. Feeley B., Fealy S., Dines D., et al. Hemiarthroplasty and total shoulder arthroplasty for avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg.* 2008;17(5):689-694. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.03.009>
36. Miettinen S.S.A., Liu Y., Kröger H. Long-term survival of resurfacing humeral hemiarthroplasty. *Eur J Orthop Surg Traumatol.* 2024 Aug;34(6):2925-2932. <https://doi.org/10.1007/s00590-024-04010-9>

37. Heifner J.J., Kumar A.D., Wagner ER. Reverse shoulder arthroplasty used for revision of reverse shoulder arthroplasty: a systematic review. *JSES Reviews, Reports, and Techniques*. 2021;1(4):329-334. <https://doi.org/10.1016/j.xrrt.2021.07.002>
38. Soudy K., Szymanski C., Lalanne C., et al. Results and limitations of humeral head resurfacing: 105 cases at a mean follow-up of 5 years. *Orthop Traumatol Surg Res*. 2017;103:415-420. <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.12.015>
39. Marino V.P., De Vecchi F., Koya T., et al. In Vitro Evaluation of Hemiarthroplasty Bearing Materials: A Scoping Review (Part I). *J Orthop Res*. 2026;44(1):e70026. <https://doi.org/10.1002/jor.70026>
40. Garret J., Godenèche A., Boileau P., et al. Midterm results of pyrocarbon interposition shoulder arthroplasty: good outcomes after posttraumatic osteonecrosis without malunion of the tuberosities. *JSES International*. 2022;6(5):787-794. <https://doi.org/10.1016/j.jseint.2022.05.007>
41. Orfaly R.M., Rockwood C.A. Jr, Esenyel C.Z., Wirth M.A. Shoulder arthroplasty in cases with avascular necrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2007;16(3):27-32. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2006.06.005>
42. Bühlhoff M., Gurda A, Weishorn J., et al. Long-term results of cementless humeral head resurfacing for humeral head osteonecrosis - a monocentric longitudinal observational study. *Int Orthop*. 2025 Oct;49(10):2539-2547. <https://doi.org/10.1007/s00264-025-06622-0>
43. von Gerhardt A.L., Willems J.I.P., Geervliet P.C., et al. Long-term results of the uncemented resurfacing shoulder hemiarthroplasty (Global Conservative Anatomic Prosthesis). *J Shoulder Elbow Surg*. 2022;31(4):839-846. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2021.08.021>
44. Schoch B., Barlow J., Schleck C., et al. Shoulder arthroplasty for atraumatic osteonecrosis of the humeral head. *J Shoulder Elbow Surg*. 2016;25(2):238-245. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2015.07.019>
45. Steffensmeier A.M., Kirkham K., Wiemann J.M. Core decompression with synthetic grafting as a joint preservation strategy in humeral avascular necrosis

- due to sickle cell anemia: a case report. *J Orthop Case Rep*. 2016;6:62-64. <https://doi.org/10.13107/jocr.2250-0685.634>
46. Levine W.N., Fischer C.R., Nguyen D., et al. Long-term follow-up of shoulder hemiarthroplasty for glenohumeral osteoarthritis. *J Bone Joint Surg Am*. 2012;94(22):e164. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00603>
47. Rhee S.M., Kim D.H., Rhee Y.G., Cho C.H. Long-term outcomes after humeral head replacement and total shoulder replacement for osteonecrosis of the humeral head: a mean follow-up of 8 years. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2023;143:4597-4604. <https://doi.org/10.1007/s00402-022-04724-7>
48. Smith R.G., Sperling J.W., Cofield R.H., et al. Shoulder hemiarthroplasty for steroid-associated osteonecrosis. *J Shoulder Elbow Surg*. 2008;17(5):685-688. <https://doi.org/10.1016/j.jse.2008.01.149>
49. Klawitter J.J., Patton J., More R., et al. In vitro comparison of wear characteristics of PyroCarbon and metal on bone: shoulder hemiarthroplasty. *Shoulder Elbow*. 2020;12:11-22. <https://doi.org/10.1177/1758573218796837>
50. Werner B.S., Stehle J., Abdelkawi A., et al. Progressive glenoid bone loss caused by erosion in humeral head resurfacing. *Orthopade*. 2017;46:1028-1033. <https://doi.org/10.1007/s00132-017-3483-6>