

СУСТАВ КАК ОРГАН ОПОРНО-ДВИГАТЕЛЬНОЙ СИСТЕМЫ (АНАТОМО-ЭМБРИОЛОГИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ)

А.Н. Ткаченко^{1,2}, Р.В. Деев³, Д.А. Старчик², А.А. Вороков², Ф.В. Мироевский¹,
А.А. Остапченко¹, В.Д. Савицкий¹

¹ Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр имени В.А. Алмазова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

² Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, Россия

³ «Научно-исследовательский институт морфологии человека имени академика А.П. Авцына» Федерального государственного бюджетного научного учреждения «Российский научный центр хирургии имени академика Б.В. Петровского», Москва, Россия

РЕЗЮМЕ. Как в России, так и во всем мире сохраняется определение сустава как «подвижное соединение костей», не включая мягкие ткани в его состав как равноправные компоненты. То, что сустав является самостоятельным полым органом, состоящим преимущественно из мягких тканей, практическая медицина во многих странах, включая Россию, продолжает игнорировать, используя устаревшее определение, ориентированное на костные структуры. В работе предпринята попытка продемонстрировать развитие сустава и показать его внешний вид с позиции самостоятельного органа на основании эмбриологического и анатомического исследований. Морфологическое исследование проводилось на абортивном материале. Изучены препараты 38 суставов (20 коленных и 18 тазобедренных) у плодов на сроках от 11 до 20 недель. Окраска: гематоксилин – эозин и по Маллори. Анатомическое препарирование проводилось на кадаверных материалах (три коленных и три тазобедренных сустава). Принято следующее определение: сустав – это соединительнотканый полый орган, обязательными элементами которого являются капсула, хрящ и синовиальная оболочка. Необязательные элементы сустава – это связки, диски, мениски, суставные сумки и др. Основными функциями сустава являются: соединение костей и обеспечение подвижности. Другие функции – создание опоры, амортизации, конгруэнтности, износостойкость и др. Совокупность эмбриологических, молекулярных и биомеханических данных свидетельствует: сустав формируется как отдельный орган, закладка которого происходит до и независимо от прилегающих костей. Это фундаментальное положение имеет прямые клинические следствия: патологию сустава следует рассматривать не как «износ кости», а как первичное поражение самостоятельного органа, что требует соответствующих диагностических и терапевтических подходов. Проведенное исследование не только описывает происхождение анатомической структуры, но и закладывает концептуальную основу для современной парадигмы в ревматологии и ортопедии, где сустав рассматривается, а его заболевания лечатся с позиций целостного органоцентричного подхода. Несмотря на научные доказательства того, что суставы – это самостоятельные полые органы, состоящие преимущественно из мягких тканей, практическая медицина во многих странах, включая Россию, продолжает использовать устаревшее определение, ориентированное на костные структуры. Это напрямую влияет на выбор тактики лечения: игнорирование патологии синовиальной оболочки, капсулы или мышц приводит к неэффективности терапии и преждевременному переходу к эндопротезированию. Признание сустава как органа становится не только научной, но и клинической необходимостью для оптимизации мультидисциплинарного подхода к остеоартриту.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: определение сустава, эмбриогенез сустава, морфологическое исследование сустава, патология сустава, органоцентричный подход

ДЛЯ ЦИТИРОВАНИЯ: Ткаченко А.Н., Деев Р.В., Старчик Д.А., Вороков А.А., Мироевский Ф.В., Остапченко А.А., Савицкий В.Д. Сустав как орган опорно-двигательной системы (анатомо-эмбриологическое исследование). *Российский хирургический журнал*. 2026;2(3):278–288. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2026-2-3-278-288>; <https://elibrary.ru/sfbbom>

JOINTS AS AN ORGAN OF THE MUSCULOSKELETAL SYSTEM (ANATOMICAL AND EMBRYOLOGICAL STUDY)

A.N. Tkachenko^{1,2}, R.V. Deev³, D.A. Starchik², A.A. Vorokov², F.V. Miroevsky¹,
A.A. Ostapchenko¹, V.D. Savitsky¹

¹ Federal State Budgetary Institution “V.A. Almazov National Medical Research Center”
of the Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia

² Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education “North-Western State Medical
University named after I.I. Mechnikov” of the Ministry of Health of the Russian Federation,
St. Petersburg, Russia

³ A.P. Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Federal State Budgetary Scientific Institution
“B.V. Petrovsky National Research Centre of Surgery”, Moscow, Russia

ABSTRACT. In Russia and around the world, the definition of a joint as a “mobile connection of bones” persists, without including soft tissues as equal components. In many countries, including Russia, practical medicine continues to ignore the fact that a joint is an independent hollow organ composed primarily of soft tissues, using an outdated definition focused on bone structures. This article attempts to demonstrate the development of a joint and its appearance from the perspective of an independent organ based on embryological and anatomical studies. Morphological study was carried out on abortive material. Preparations of 38 joints (20 knee and 18 hip) were studied in embryos at the terms from 11 to 20 weeks. Coloration: hematoxylin – eosin by Mallory. Anatomical preparation was carried out on cadaveric materials (three knee and three hip joints). The following definition is accepted: a joint is a connective tissue hollow organ, the mandatory elements of which are the capsule, cartilage, and synovial membrane. The optional elements of the joint are ligaments, discs, menisci, bursae, etc. The main functions of the joint are: connecting bones and providing mobility. Other functions are creating support, cushioning, congruence, wear resistance, etc. A combination of embryological, molecular, and biomechanical data suggests that the joint is formed as a separate organ, which is laid down before and independently of the adjacent bones. This fundamental finding has direct clinical implications: joint pathology should be viewed not as “bone wear” but as a primary lesion of an independent organ, which requires appropriate diagnostic and therapeutic approaches. This study not only describes the origin of the anatomical structure but also provides a conceptual framework for understanding its development. Despite scientific evidence that the joints is an independent hollow organs composed primarily of soft tissues, practical medicine in many countries, including Russia, continues to use an outdated definition that focuses on bone structures. This directly affects treatment choices, as ignoring the pathology of the synovium, capsule, or muscles can lead to ineffective therapy and premature referral for joint replacement. Recognizing the joint as an organ is not only a scientific necessity but also a clinical imperative for optimizing a multidisciplinary approach to osteoarthritis.

KEYWORDS: joint definition, joint embryogenesis, joint morphological study, joint pathology, organ-centered approach

FOR CITATION: Tkachenko A.N., Deev R.V., Starchik D.A., Vorokov A.A., Miroevsky F.V., Ostapchenko A.A., Savitsky V.D. Joints as an organ of the musculoskeletal system (anatomical and embryological study). *Russian Surgical Journal*. 2026;2(3):278–288. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2026-2-3-278-288>; <https://elibrary.ru/sfbbom> (In Russ.).

Еще в период античности (V–IV вв. до н.э.) в Corpus Hippocraticum сведения о суставах приведены в контексте вывихов и травм. В этом труде Гиппократ детально описал подвижность суставов, ввел понятие об ограничении движений и продемонстрировал репозицию суставов. Внимание было сфокусировано только на взаимоотношении костных компонентов, мягкотканые элементы упоминались в качестве структур, затрудняющих вправление [1]. В дальнейшем все античные источники, дошедшие до наших дней, сохраняли подобный подход, где капсульно-связочный аппарат предназначался лишь только для удерживания формы [2].

Анатомическое точное описание капсул, связок и суставных поверхностей впервые дано Андреасом Везалием в средние века. Но он также не считал суставы органами и относил их к соединениям костей [3]. Эти данные и были закреплены в учебниках по анатомии XIX–XX вв. во всем мире. Определение сустава («подвижное соединение двух или более костей скелета») сводилось к констатации его функции, что и сохранилось до настоящего времени в большинстве российских и международных руководств [4].

В конце XX в. начали появляться сведения, которые не соответствовали этой механистической модели. Так, в работах J.A. Buckwalter

и H.J. Mankin (1998) из университета штата Айова (США) показано, что суставной хрящ – это не пассивное покрытие кости, а метаболически активная ткань, способная к ответу на механические и биохимические раздражители, ремоделированию и взаимодействию с синовиальной оболочкой и субхондральной костью через сложную сеть цитокинов и матриксных белков, что стало базой для формирования новой концепции: сустав как единый орган. [5].

В нашей стране благодаря работам профессора В.Н. Павловой (1980) стало внедряться понятие о синовиальной среде суставов, под которой понимали взаимосвязанные мягкотканые структуры этого органа [6]. В странах Западной Европы и США эта парадигма получила широкое признание. Остеоартрит стал определяться не как «износ хряща», а как «заболевание всего сустава» [7–9]. В издании «Gray's Anatomy» (2020) сустав описывается как «сложный орган, состоящий из суставного хряща, синовиальной оболочки, суставной капсулы, связок и околосуставных мягких тканей» [10]. Эмбриологические исследования также подтверждают эту точку зрения. Так, например, суставная щель формируется путем кавитации с участием клеток мезенхимной интерзоны, которые дифференцируются независимо от прилегающих хрящевых моделей костей и до разветвления в них эндохдрального остеогенеза, что подчеркивает его самостоятельность как органа [11].

Официальные клинические рекомендации, принятые в 2019 г. в Китайской Народной Республике, также начинают использовать термин «сустав как орган», особенно в контексте органосохраняющих технологий и регенеративной медицины [12]. В китайской повседневной практике, как и в других азиатских странах, преобладает традиционное упрощенное понимание, ориентированное на рентгенологическую картину сужения суставной щели, т.е. на костно-хрящевой контакт [13].

Консервативной остается и ситуация в Российской Федерации, где большинство учебников по анатомии и травматологии и ортопедии не считает сустав органом, продолжая определять его как «подвижное соединение костей», характеризуя функцию. В некоторых российских публикациях последних лет сустав определяется как соединительнотканый полый орган [14].

Несмотря на многочисленные научные доказательства того, что сустав является самостоятельным полым органом, практическая медицина как в России, так и во многих других странах, продолжает применять устаревшее определение, ориентированное на костные структуры, что напрямую влияет на выбор тактики лечения. Игнорирование патологии синовиальной оболочки, капсулы или мышц приводит к неэффективности терапии и преждевременной замене сустава имплантом.

Признание сустава как органа становится не только научной, но и клинической необходимостью для оптимизации мультидисциплинарного подхода к лечению заболеваний сустава.

Цель – на основании онтогенетического и анатомического исследований продемонстрировать развитие и структуру сустава как самостоятельного органа.

Морфологическое исследование проводилось на абортивном материале. Изучены препараты 38 суставов (20 коленных и 18 тазобедренных) у плодов на сроках от 11 до 20 недель. Окраска: гематоксилин и эозин, по Маллори. Анатомическое препарирование проводилось на трех коленных и трех тазобедренных суставах, полученных от трупов мужчин в возрасте от 56 до 67 лет. Тупым и острым путем, в том числе и с помощью фрез и боров, соединительно-тканые структуры суставов освобождены от костной ткани и сухожилий.

Исследование выполнено с использованием эмбриологической коллекции НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына и одобрено Локальным этическим комитетом протокол НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына № 33(9) от 17.02.2022.

Результаты гистологического исследования

Процесс эмбрионального формирования суставов состоит из нескольких этапов и начинается задолго до начала остеогенеза. Сначала между хрящевыми зачатками смежных костей появляется плотное скопление мезенхимальных клеток – интерзона, которая не участвует в остеогенезе и является структурой, из которой в дальнейшем формируются соединительнотканые структуры сустава.

На препаратах плода 11 недель определяется интерзона межфалангового сустава II пальца стопы (рис. 1) – плотное скопление мезенхимальных клеток, расположенное между участками хрящевой ткани эпифизов сочленяющихся костей (А). Интерзона на этом сроке имеет трехслойное строение: два периферических слоя, образованных уплощенными клетками (Б), непосредственно продолжаются в надхрящницу эпифизов, тогда как промежуточный слой представлен более рыхло расположенными клетками (В) с округлыми ядрами, не обнаруживающими признаков хондрогенной дифференцировки. Такая организация интерзоны соответствует ранней, дохрящевой стадии закладки сустава.

На препарате плода 13 недель в области формирующейся крестообразной связки коленного сустава клетки интерзоны обнаруживают признаки дифференцировки в составе суставного хряща (рис. 2, А): при окраске по Маллори в этом участке выявляется повышенное содержание коллагеновых волокон (синее прокрашивание), отличающее его от хрящевой ткани дистального

эпифиза бедренной кости (Б), сохраняющей гомогенную базофильную окраску межклеточного вещества. Клетки интерзоны, прилежащие к зоне будущей связки, приобретают вытянутую форму и ориентацию, совпадающую с направлением формирующихся волокон.

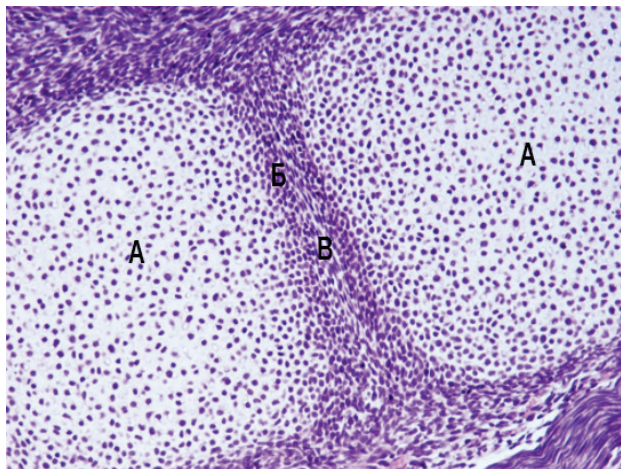


Рис. 1. Формирование интерзоны межфалангового сустава II пальца стопы (плод 11 недель): А – хрящевая ткань эпифизов; Б – поверхностные клетки суставного хряща; В – уплощенные клетки интерзоны. Окраска: гематоксилин и эозин. Увеличение ×100

Fig. 1. Formation of the interzone of the interphalangeal joint of the second toe (fetus, 11 weeks): А – cartilaginous tissue of the epiphyses; В – superficial cells of the articular cartilage; C – flattened cells of the interzone. Staining: hematoxylin and eosin. Magnification ×100

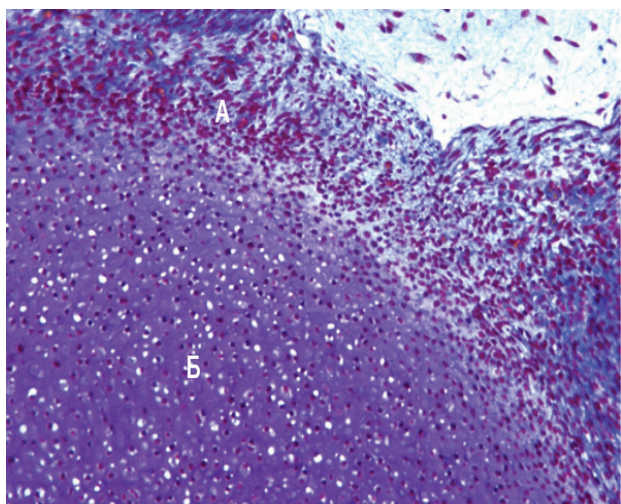


Рис. 2. Дифференцирование клеток интерзоны в составе суставного хряща (А) и формирующейся крестообразной связки коленного сустава (плод 13 недель); Б – хрящевая ткань дистального эпифиза бедренной кости. Окраска по Маллори. Увеличение ×100

Fig. 2. Differentiation of interzone cells within the articular cartilage (A) and the forming cruciate ligament of the knee joint (fetus, 13 weeks); В – cartilaginous tissue of the distal epiphysis of the femur. Staining: Mallory's trichrome. Magnification ×100

На препарате плода 14 недель в толще интерзоны коленного сустава определяется щелевидное пространство – суставная щель (рис. 3, Б), разделяющая хрящевую ткань эпифизов сочленяющихся костей (А). По периферии щели, в зоне будущей крестообразной связки (В), клетки интерзоны сохраняют плотное, параллельно ориентированное расположение, тогда как непосредственно у краев щели их плотность снижается. Формирование щели не сопровождается признаками некроза или деструкции клеток, что характерно для процесса кавитации.

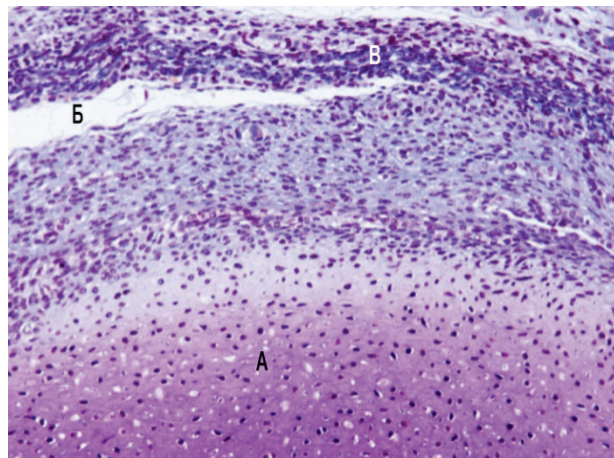


Рис. 3. Формирование полости коленного сустава (плод 14 недель): А – хрящевая ткань эпифизов сочленяющихся костей; Б – суставная щель; В – формирующаяся крестообразная связка. Окраска: по Маллори. Увеличение ×100

Fig. 3. Formation of the knee joint cavity (fetus, 14 weeks): А – cartilaginous tissue of the epiphyses of the articulating bones; В – joint space; C – forming cruciate ligament. Staining: Mallory's trichrome. Magnification ×100

На сроке 15 недель между суставной щелью (Б) и хрящевой тканью надколенника (В) в толще интерзоны выявляется обособленный участок клеточной конденсации, соответствующий закладке мениска (рис. 4, Г). Клетки этого участка отличаются более высокой плотностью и вытянутой формой по сравнению с окружающей хрящевой тканью эпифизов (А), что указывает на начало обособления фиброзно-хрящевой ткани мениска от общей массы интерзоны.

На препарате плода 16 недель мениск коленного сустава имеет дефинитивное строение (рис. 5). В его составе четко различаются две зоны: бессосудистая, прилежащая к суставной щели (Б), и периферическая, кровоснабжаемая зона (В), клетки которой крупнее и расположены менее плотно. По обе стороны от сформированного мениска сохраняются суставные щели (Г), отграничивающие его от хрящевой ткани эпифизов сочленяющихся костей (А).

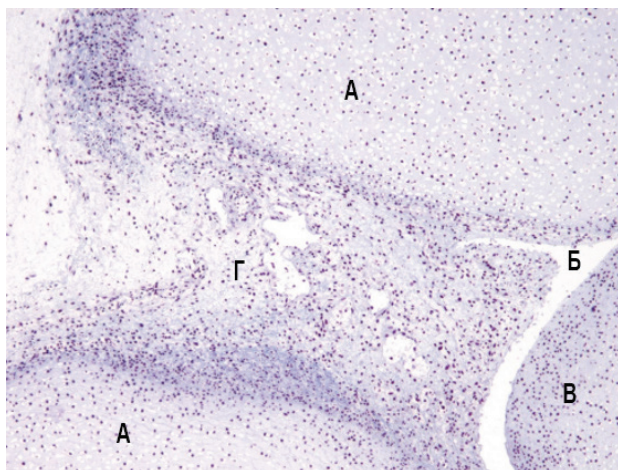


Рис. 4. Развитие мениска из клеток интерзоны (плод 15 недель): А – хрящевая ткань эпифизов сочленяющихся костей; Б – суставная щель; В – хрящевая ткань надколенника; Г – хрящевая ткань мениска. Окраска: по Маллори. Увеличение $\times 100$

Fig. 4. Development of the meniscus from interzone cells (fetus, 15 weeks): А – cartilaginous tissue of the epiphyses of the articulating bones; В – joint space; С – cartilaginous tissue of the patella; D – cartilaginous tissue of the meniscus. Staining: Mallory's trichrome. Magnification $\times 100$

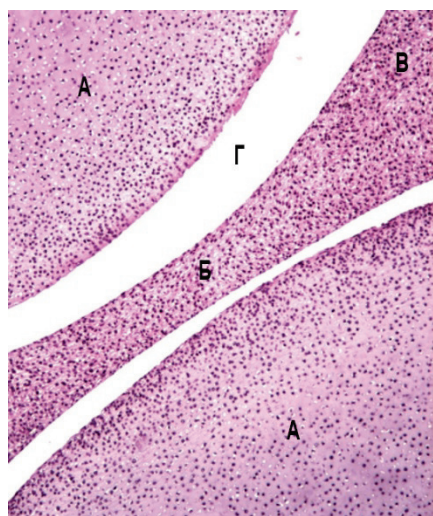


Рис. 5. Сформированный мениск коленного сустава (плод 16 недель): А – хрящевая ткань эпифизов сочленяющихся костей; Б – бессосудистая зона мениска; В – кровоснабжаемая зона мениска; Г – суставная щель. Окраска: гематоксилин и эозин. Увеличение $\times 100$

Fig. 5. Formed meniscus of the knee joint (fetus, 16 weeks): А – cartilaginous tissue of the epiphyses of the articulating bones; В – avascular zone of the meniscus; С – vascularized zone of the meniscus; D – joint space. Staining: hematoxylin and eosin. Magnification $\times 100$

Таким образом, сустав формируется как самостоятельный орган, закладка которого происходит до и вне костных зачатков. Его компоненты имеют собственное клеточное происхождение, молекулярный профиль и зависимость от внешних

сигналов. Признание этого факта имеет фундаментальное значение для понимания патогенеза заболеваний сустава (особенно остеоартрита) и разработки органосохраняющих методов их лечения.

Результаты анатомического исследования

На трупном материале тазобедренного сустава в исходном состоянии (рис. 6) определяются головка бедренной кости (1), покрытая суставным хрящом (2), и тело тазовой кости (3) с прилежащим к вертлужной впадине хрящом. Костная и хрящевая ткани на этом этапе представляют собой единый анатомический комплекс, в котором соединительнотканые структуры сустава визуально можно отделить от подлежащей кости.



Рис. 6. Тазобедренный сустав в разрезе перед удалением костных структур

1 – головка бедренной кости; 2 – суставной хрящ; 3 – тело тазовой кости

Fig. 6. Hip joint in section before removal of bony structures

1 – femoral head; 2 – articular cartilage; 3 – body of the ilium

После последовательного удаления костной ткани головки и шейки бедренной кости, а также тела тазовой кости в зоне вертлужной впадины (рис. 7), суставной хрящ (2) сохраняет свою целостность и исходную геометрическую форму. На бедренном компоненте хрящ образует полую сферическую чашу, повторяющую очертания удаленной головки бедренной кости (1); на тазовом компоненте сохраняется хрящевое кольцо вертлужной впадины, обрамленное истонченным краем тела тазовой кости (3). Таким образом, после удаления кости хрящевой покров не разрушается и не спадается, а сохраняет самостоятельную, механически устойчивую полую конфигурацию.



Рис. 7. Тазобедренный сустав в разрезе после удаления костной ткани головки и шейки бедренной и тазовой кости в зоне вертлужной впадины

1 – бедренная кость; 2 – суставной хрящ; 3 – тело тазовой кости

Fig. 7. Hip joint in section after removal of bone tissue from the femoral head and neck and the pelvic bone in the acetabular region

1 – femur; 2 – articular cartilage; 3 – body of the ilium

Аналогичная картина получена и для коленного сустава (рис. 8). После удаления костной ткани мыщелков бедренной (1) и большеберцовой (2) костей суставной хрящ мыщелков (3) сохраняется в виде двух полых чаш, обращенных друг к другу и разделенных пространством, в котором продолжают определяться связочно-менисковые структуры сустава – медиальный (4) и латеральный (5) мениски, а также крестообразная связка (6), сохраняющая свое исходное натяжение и топографическое положение между костными компонентами, несмотря на удаление их суставных концов. При отделении хрящевых чаш мыщелков единым блоком (см. фрагмент препарата) они сохраняют полую форму и взаимное расположение вне связи с бедренной костью.

Полученные препараты обоих суставов демонстрируют, что после удаления костной ткани связочно-хрящевой комплекс не утрачивает целостности и исходной пространственной конфигурации, а образует самостоятельную полую соединительнотканную структуру, воспроизводящую анатомическую форму сустава независимо от костного остова. При этом отделение хряща, капсулы и связок от кости на всех этапах требовало прецизионного, поэтапного препарирования во избежание повреждения связочно-менискового аппарата. Препарирование и мобилизация сустава представляет трудоемкий процесс даже *ex vivo*. В этой связи перспективным является проведение экспериментального исследования для

создания методов выделения и мобилизации суставов на кадаверном материале и разработки перспективных операций на суставах с сохранением костной ткани.

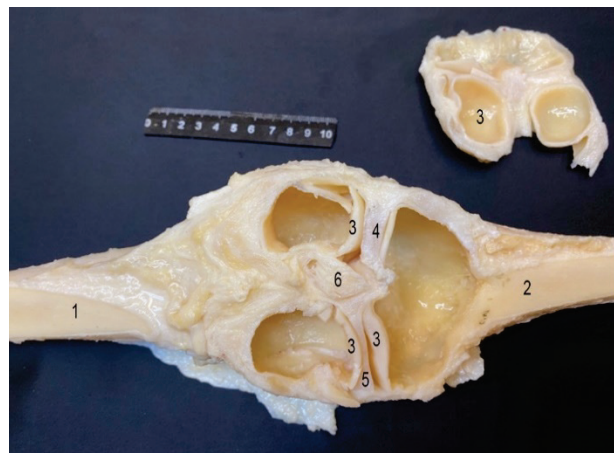


Рис. 8. Коленный сустав в разрезе после удаления костной ткани мыщелков бедренной и большеберцовой костей

1 – бедренная кость; 2 – большеберцовая кость; 3 – суставной хрящ; 4 – медиальный мениск; 5 – латеральный мениск; 6 – крестообразная связка

Fig. 8. Knee joint in section after removal of bone tissue from the femoral and tibial condyles

1 – femur; 2 – tibia; 3 – articular cartilage; 4 – medial meniscus; 5 – lateral meniscus; 6 – cruciate ligament

Таким образом, проведенное исследование в подобном ракурсе на кадаверном материале позволило продемонстрировать внешний вид коленного и тазобедренного сустава как самостоятельного мягкотканного полого органа. Препарирование и мобилизация сустава представляет трудоемкий процесс даже *ex vivo*. В этой связи перспективным является проведение экспериментального исследования для создания методов выделения и мобилизации суставов как на кадаверном материале, так и на животных, и разработки перспективных операций на суставах с сохранением костной ткани.

Обсуждение

Фундаментальные исследования, проведенные в середине XX в., продемонстрировали, что на ранних этапах эмбриогенеза будущий скелет конечностей представляет собой скопления мезенхимальных клеток, которые в дальнейшем преобразуются в хондроциты, синтезирующие хрящевой матрикс. Этот процесс приводит к формированию будущих костей, между которыми изначально нет щели или полости [15]. Далее в местах будущих суставов образуются мезенхимальные уплотнения (интерзона), из клеток которой впоследствии формируются все компоненты

сустава: покровный хрящ, синовиальная оболочка, капсула, связки и мениски, что подтверждают и наши данные [16].

В 1997 г. на кафедре морфологических наук университета Гранады (Испания) J.A. Mérida-Velasco с соавт. доказали, что закладка сустава предшествует не только остеогенезу, но и даже дифференцировке эпифизарных хрящей. Первые признаки интерзоны коленного сустава человека появляются уже шестой неделе гестации. В это время бедренная и большеберцовая кости представляют собой гомогенные хрящевые зачатки, которые даже не имеют четких границ между диафизом и эпифизом. Интерзона на этом этапе представлена однородной полосой мезенхимцитов, разделяющей два хрящевых зачатка, и не содержащей ни коллагена II типа, ни других маркеров хондрогенеза [17].

В работе Израильских авторов Y. Shwartz с соавт. (2016) продемонстрировано, что клетки интерзоны не только формируют синовиальную оболочку и поверхностные слои суставного хряща, но и динамически мигрируют в окружающие ткани, в том числе и в эпифизарный хрящ [18]. Ранее считалось, что клетки интерзоны в процессе образования суставной полости погибают. Процесс кавитации, представляющий собой формирование полости между суставными поверхностями, зафиксирован на рис. 3. Доказано, что полость формируется при активной секреции компонентов внеклеточного матрикса (прежде всего гиалуроновой кислоты), создающих осмотическое давление и притягивающих воду [19]. До этого в литературе преобладали гипотезы образования полости за счет апоптоза центральных клеток интерзоны.

В ряде публикаций подтверждено, что суставной хрящ, покрывающий эпифизы, также имеет происхождение, отличное от хряща метаэпифизарной пластинки роста [20, 21]. Эти различия закладываются уже на этапе дифференцировки интерзоны и поддерживаются на протяжении всей жизни, что подтверждает: суставной хрящ – это не остаток эпифизарного хряща, а самостоятельная структура, развивающаяся по собственной генетической программе.

Внутрисуставные структуры (зачатки медиального и латерального менисков) при развитии сустава начинают формироваться на восьмой неделе из периферических участков интерзоны (рис. 4, 5) [17, 22]. Эти структуры развиваются автономно [23].

Таким образом, совокупность онтогенетических, молекулярных и биомеханических данных однозначно свидетельствует: сустав формируется как отдельный орган, закладка которого происходит до и независимо от прилегающих костей. Клетки его тканей имеют уникальный молекулярный профиль, отличный от хондроцитов

метаэпифизарной пластинки роста, и подчиняются особым регуляторным механизмам. Это фундаментальное положение имеет прямые клинические следствия: заболевания сустава (включая остеоартрит) следует рассматривать не как «износ кости», а как первичное поражение самостоятельного органа, что требует соответствующих диагностических и терапевтических подходов.

Принятие такого определения позволит изменить современные подходы к лечению остеоартрита. Так, например, тотальное эндопротезирование не может считаться органосохраняющим вмешательством, а перейдет в разряд калечащей операции по причине того, что удаляются не только мягкотканые структуры, но и костная ткань (головка и шейка бедренной кости, тибialное плато, мыщелки бедренной кости и др.).

Что касается подходов к замене сустава имплантом, то в литературе все чаще появляются публикации о росте числа случаев необоснованного и преждевременного проведения этой операции, в связи с чем возникает вопрос ограничения показаний к ней. Специалисты из Великобритании A. Moorhouse и G. Giddins (2018) делают акцент на том, что пока отсутствуют объективные критерии показаний к замене сустава имплантом при остеоартрите [24]. По данным многих исследователей из разных стран, примерно в 20–40 % случаев эндопротезирование тазобедренного и коленного суставов выполняется необоснованно или преждевременно – у всех этих пациентов были возможности для проведения консервативного лечения и они являлись неподходящими кандидатами для операции [25–28].

Понимание эмбриогенеза сустава имеет прямое значение для клинической практики. Нарушения на этапе формирования интерзоны или кавитации лежат в основе целого ряда врожденных аномалий, таких как симфалангия, синдактилия, врожденный вывих надколенника и дисплазия менисков [29]. Более того, современные данные указывают, что структура сустава, заложенная в эмбриогенезе, определяет риск развития остеоартрита во взрослом возрасте [30]. Это позволяет рассматривать остеоартрит не только как «болезнь старения», но и как последствие нарушений эмбрионального развития.

Представление о суставе как о самостоятельном органе, имеющем сложное строение (включая мягкотканые элементы – синовиальную оболочку, капсулу, внутрисуставные структуры) и собственную полость, сформировалось в анатомии и морфологии благодаря работам нескольких научных школ. Концепция «сустав – орган» подразумевает, что это не просто место соединения костей, а целостное образование, выполняющее специфическую функцию, которое имеет

собственную тканевую основу (в том числе синовиальную среду как мягкотканый компонент) и полость, заполненную синовиальной жидкостью.

Эмбриология не только объясняет патогенез, но и указывает направление для разработки патогенетических методов лечения, основанных на принципах биологического восстановления, а не простого замещения. Эмбриологический анализ формирования сустава предоставляет фундаментальные, онтогенетические доказательства в пользу его автономии как целостного биологического органа. Проведенные исследования демонстрируют, что ключевой принцип развития заключается в первичности и независимости закладки собственно суставных структур от развития костной ткани. Первичным морфогенетическим событием является не формирование кости, а конденсация мезенхимы и образование суставной интерзоны – специализированной трехслойной структуры, которая служит единственным источником для всех будущих мягкотканых компонентов сустава: гиалинового хряща, синовиальной оболочки, капсулы, крестообразных связок и менисков. Это эмбриологическое единство происхождения объясняет глубокую функциональную взаимосвязь этих тканей во взрослом органе и их сочетанное вовлечение в патологический процесс при остеоартрите. Хрящевые части в зоне бедренной и большеберцовой костей развиваются обособленно и лишь на определенном этапе (после кавитации суставной полости) интегрируются в уже сформированную суставную конструкцию. Ключевой элемент костно-суставного взаимодействия – субхондральная кость – является самым поздним приобретением. Ее формирование в процессе эндохондрального окостенения происходит под и в зависимости от существующего суставного хряща и приложенной к нему функциональной нагрузки.

Кость не формирует сустав – архитектура костной ткани адаптируется под условия, заданные первичной суставной средой. Эти данные опровергают редуционистский взгляд на сустав как на придаток или простое соединение костей. Они утверждают модель, в которой сустав представляет собой изначально самостоятельную мягкотканую морфофункциональную единицу, которая на поздних этапах онтогенеза включает в себя растущие костные окончания, подчиняя их свою архитектуру и функцию.

Заключение

Таким образом, сустав можно определить как соединительнотканый полый орган, обязательными элементами которого являются капсула, суставной хрящ и синовиальная оболочка; необязательные элементы сустава – это связки, диски, мениски, суставные сумки и др. Основными функциями сустава являются: соединение костей

и обеспечение подвижности; дополнительными – создание опоры, амортизации, конгруэнтности, износостойкость и др.

С клинической и патогенетической точек зрения данная модель имеет следующие следствия:

- Обоснование фенотипической гетерогенности остеоартрита. Раздельное происхождение тканей объясняет, почему при остеоартрите могут преобладать различные паттерны: хондроцитарный, синовиальный или связанный с ремоделированием кости, что отражено в современных классификациях.

- Переосмысление роли субхондральной кости. Ее склероз и кистозная перестройка при остеоартрите – не пассивное следствие разрушения хряща, а активное, зачастую параллельное или даже инициирующее звено в патологическом ремоделировании всего органа.

- Фундамент для мультидисциплинарного лечения. Если болезнь поражает целостный орган, происходящий из единого зачатка, то и лечение не может быть сведено к локальному воздействию на одну ткань. Это служит биологическим обоснованием для комплексного подхода, объединяющего коррекцию биомеханики (ортопедия, ЛФК), контроль воспаления и метаболизма (ревматология, фармакология) и управление системными факторами (диетология, эндокринология).

Эмбриология не только описывает происхождение анатомической структуры, но и закладывает концептуальную основу для современной парадигмы в ревматологии и ортопедии, где сустав рассматривается, а его заболевания лечатся с позиций целостного органоцентричного подхода.

Определение сустава, начиная с периода античности и до настоящего времени, не претерпело значительных изменений. В большинстве случаев оно трактуется как «подвижное соединение костей скелета», т.е. в самом определении отражены только функции. Исходя из этого, сустав соединяет кости и обеспечивает их подвижность. В тексте определения отсутствуют сведения о границах сустава, о том, что за структуру он представляет, является он органом или нет. Вся дефиниция сводится к механистическому пониманию. Вместе с тем, лечением патологии сустава занимаются многие специалисты: травматологи-ортопеды, ревматологи, терапевты, реабилитологи и т.д. Существует целая отрасль науки – артрология, которая занимается изучением развития и строения суставов, диагностикой их патологии и лечением заболеваний сустава. Понятие о суставе в виде концепции самостоятельного мягкотканного полого органа, обладающего собственными функциями и структурой, стало формироваться только в последние десятилетия. Подобная трансформация отражает как развитие анатомии и эмбриологии, так и смену парадигмы в клинической медицине: от локального воздействия на хрящ к целостному управлению «суставной системой».

Конфликт интересов / Conflict of interests

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов / The authors declare no conflict of interests.

Соответствие нормам этики / Compliance with ethical principles

Авторы заявляют об отсутствии использования генеративного искусственного интеллекта / The authors declare no use of Generative AI in the preparation of this manuscript.

Список источников / References

- Golder W. Medizinische praxis im alten griechenland: die orthopädischen und unfallchirurgischen fallberichte des corpus hippocraticum. *Orthopädie*. 2024;53(11):876–882. <https://doi.org/10.1007/s00132-024-04563-x>
- Markatos K, Korres D, Chytas D, et al. Apollonius of citium (first century BC) and his work on the treatment of joint dislocations. *Int Orthop*. 2018;42(5):1191–1196. <https://doi.org/10.1007/s00264-017-3751-4>
- Roussot MA, Huijs S, Oussedik S. From hippocrates to coventry and beyond: the history of joint realignment. *Osteotomy About the Knee*. Cham: Springer; 2020. Pp. 1–12.
- Козлов В.И., Гурова О.А. Анатомия скелета: учебное пособие для обучающихся по основным профессиональным программам высшего образования – программам специалитета по специальностям Лечебное дело, Педиатрия, Стоматология. Москва: Практическая медицина; 2014. 159 с.
Kozlov VI, Gurova OA. Anatomy of the Skeleton: A Textbook for Students of Basic Professional Higher Education Programs – Specialist Programs in Medicine, Pediatrics, and Dentistry. Moscow: Practical Medicine; 2014. 159 p. (In Russ.)
- Buckwalter JA, Mankin HJ. Articular cartilage: tissue design and chondrocyte-matrix interactions. *Instr Course Lect*. 1998;47:477–486.
- Павлова В.Н. Синовиальная среда суставов. М.: Медицина, 1980. 296 с.
Pavlova V.N. Synovial environment of joints. Moscow: Medicine, 1980. 296 p. (In Russ.)
- Roos EM, Arden NK. Strategies for the prevention of knee osteoarthritis. *Nature Reviews Rheumatology*. 2016;12(2):92–101. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2015.135>
- Vincent TL. OA synovial fluid: biological insights into a whole-joint disease. *Osteoarthritis Cartilage*. 2022;30(6):765–766. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2022.02.618>
- Tang S, Zhang C, Oo WM, et al. Osteoarthritis. *Nature Reviews Disease Primers*. 2025;11(1):10. <https://doi.org/10.1038/s41572-025-00594-6>
- Gray H. Gray's anatomy: the anatomical basis of clinical practice. 42nd ed. Elsevier; 2020. Pp. 67–89.
- Pacifici M, Koyama E, Shibukawa Y, et al. Cellular and molecular mechanisms of synovial joint and articular cartilage formation. *Ann N Y Acad Sci*. 2006;1068:74–86. <https://doi.org/10.1196/annals.1346.010>
- Zhang Z, Huang C, Jiang Q et al. Guidelines for the diagnosis and treatment of osteoarthritis in China (2019 edition). *Ann Transl Med*. 2020;8(19):1213. <https://doi.org/10.21037/atm-20-4665>
- Kan HS, Chan PK, Chiu KY, et al. Non-surgical treatment of knee osteoarthritis. *Hong Kong Med J*. 2019;25(2):127–133. <https://doi.org/10.12809/hkmj187600>
- Ткаченко А.Н., Остапченко А.А., Деев Р.В. и др. Остеоартрит коленного сустава: особенности эмбриогенеза, эпидемиология, концепция ранней диагностики (обзор литературы). *Российский хирургический журнал*. 2026;2(1):67–78. <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2026-2-1-67-78>
Tkachenko AN, Ostapchenko AA, Deev RV, et al. Osteoarthritis of the Knee Joint: Features of Embryogenesis, Epidemiology, and the Concept of Early Diagnosis (Literature Review). *Russian Surgical Journal*. 2026;2(1):67–78. (In Russ.) <https://doi.org/10.18705/3034-7270-2026-2-1-67-78>
- Hinchliffe JR. The development of the vertebrate limb: an approach through experiment, genetics, and evolution. Oxford, Clarendon Press; 1980. 300 p.
- Decker RS, Koyama E, Pacifici M. Genesis and morphogenesis of limb synovial joints and articular cartilage. *Matrix Biology*. 2014;39:5–10. <https://doi.org/10.1016/j.matbio.2014.08.006>
- Mérida-Velasco JA, Sánchez-Montesinos I, Espín-Ferra J, et al. Development of the human knee joint. *Anat Rec*. 1997;248(2):269–278. [https://doi.org/10.1002/\(SICI\)1097-0185\(20000201\)258:2<166::AID-AR6>3.0.CO;2-3](https://doi.org/10.1002/(SICI)1097-0185(20000201)258:2<166::AID-AR6>3.0.CO;2-3)
- Shwartz Y, Viukov S, Krief S, Zelzer E. Joint development involves a continuous influx of Gdf5-positive cells. *Cell Rep*. 2016;15(12):2577–2587. <https://doi.org/10.1016/j.celrep.2016.05.055>
- Kim M, Koyama E, Saunders C, et al. Synovial joint cavitation initiates with microcavities in interzone and is coupled to skeletal flexion and elongation in developing mouse embryo limbs. *Biol Open*. 2022;11(6):bio059381. <https://doi.org/10.1242/bio.059381>
- Chijimatsu R, Saito T. Mechanisms of synovial joint and articular cartilage development. *Cell Mol Life Sci*. 2019;76(20):3939–3952. <https://doi.org/10.1007/s00018-019-03191-5>
- Goldring MB. Chondrogenesis, chondrocyte differentiation, and articular cartilage metabolism in health and osteoarthritis. *Ther Adv Musculoskelet Dis*. 2012;4(4):269–285. <https://doi.org/10.1177/1759720X12448454>
- Levitt S, Park N, Cheng R, et al. Embryonic and fetal development of the human knee with an emphasis on the posterior cruciate ligament: a literature review. *Ann Joint*. 2025;10:10. <https://doi.org/10.21037/aoj-24-36>

23. Makris EA, Gomoll AH, Malizos KN, et al. Repair and tissue engineering techniques for articular cartilage. *Nat Rev Rheumatol*. 2015;11(1):21–34. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2014.157>
24. Moorhouse A, Giddins G National Variation between Clinical Commissioning Groups in Referral Criteria for Primary Total Hip Replacement Surgery. *Ann R. Coll. Surg. Engl*. 2018;100(6):443–445. <https://doi.org/10.1308/rcsann.2018.0044>
25. Gademane MG, Hofstede SN, Vliet Vlieland TP M, et al. Indication criteria for total hip or knee arthroplasty in osteoarthritis: a state-of-the-science overview. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17(1):463.
26. Dowsey MM, Gunn J, Choong PF. Selecting those to refer for joint replacement: who will likely benefit and who will not? *Best Pract Res Clin Rheumatol*. 2014;28(1):157–171. <https://doi.org/10.1016/j.berh.2014.01.005>
27. Лычагин А.В., Гаркави А.В., Мещеряков В.А., Кайков В.С. Остеоартроз коленного сустава у пожилых – всегда ли оправдано эндопротезирование? *Вестник Российского государственного медицинского университета*. 2019;2:77–82. <https://doi.org/10.24075/vrgmu.2019.020>

Lychagin AV, Garkavi AV, Meshcheryakov VA, Kaykov VS. Osteoarthritis of the knee in the elderly: is knee replacement always justified? *Bull. Russian State Medical University*. 2019;2:70–75. (In Russ.). <https://doi.org/10.24075/brsmu.2019.020>
28. Ткаченко А.Н., Деев Р.В., Старчик Д.А. и др. Преждевременное эндопротезирование тазобедренного сустава при остеоартрите. *Физическая и реабилитационная медицина*. 2023;5(3):49–58. <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2023-5-3-49-58>

Tkachenko AN, Deev RV, Starchik DA, et al. Early hip arthroplasty in osteoarthritis. *Physical and Rehabilitation Medicine*. 2023;5(3):49–58. (In Russ.). <https://doi.org/10.26211/2658-4522-2023-5-3-49-58>
29. Sandell LJ. Etiology of osteoarthritis: genetics and synovial joint development. *Nature Reviews Rheumatology*. 2012;8(2):77–89. <https://doi.org/10.1038/nrrheum.2011.199>
30. Reynard LN, Barter MJ Osteoarthritis year in review 2019: genetics, genomics and epigenetics. *Osteoarthritis and Cartilage*. 2020;28(3):275–284. <https://doi.org/10.1016/j.joca.2019.11.010>

Авторы

Ткаченко Александр Николаевич ✉ – д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, профессор кафедры общей хирургии, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, altkachenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4585-5160>

Деев Роман Вадимович – канд. мед. наук, доцент, исполняющий обязанности директора, НИИМЧ им. акад. А.П. Авцына ФГБНУ «РНЦХ им. акад. Б.В. Петровского», Москва, Россия, romdey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841>

Старчик Дмитрий Анатольевич – д-р мед. наук, профессор, ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, dmitrii.starchik@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9535-4503>

Вороков Алимбек Альбертович – канд. мед. наук, ординатор клиники травматологии и ортопедии, ФГБОУ ВО «СЗГМУ им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, alimbekvor@icloud.com, <https://orcid.org/0000-0002-0644-9701>

Миролевский Филипп Владиславович – канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, traumafil@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0005-6681-2858>

Остапченко Андрей Александрович – канд. мед. наук, доцент кафедры общей хирургии, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, aostap@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2660-9469>

Савицкий Вячеслав Дмитриевич – ассистент кафедры общей хирургии, ФГБУ «НМИЦ им. В.А. Алмазова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия, slava_savitski@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-7367-7528>

Вклад авторов:

Ткаченко А.Н. – идеологическая концепция работы, редакция текста; Деев Р.В. – морфологическая часть исследования; Старчик Д.А. – анатомический раздел работы; Вороков А.А. – сбор и обработка материалов, написание текста; Миролевский Ф.В. – сбор и анализ данных литературы; Остапченко А.А. – сбор и анализ данных литературы; Савицкий В.Д. – сбор и обработка материалов.

Authors

Tkachenko Alexander N. ✉ – Doctor of Medical Sciences, Professor, NWSMU named after I.I. Mechnikov, Professor of the Department of General Surgery, V.A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia, altkachenko@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0003-4585-5160>

Deev Roman V. – Acting Director, A.P. Avtsyn Research Institute of Human Morphology of Federal State Budgetary Scientific Institution “Petrovsky National Research Centre of Surgery”, St. Petersburg, Russia, romdey@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0001-8389-3841>

Starchik Dmitry A. – Doctor of Medical Sciences, Professor, I.I. Mechnikov NWSMU, Ministry of Health of the Russian Federation, St. Petersburg, Russia, dmitrii.starchik@szgmu.ru, <https://orcid.org/0000-0001-9535-4503>

Vorokov Alimbek A. – Candidate of Medical Sciences, Resident of the Traumatology and Orthopedics Clinic,

NWSMU named after I.I. Mechnikov, St. Petersburg, Russia, alimbekvor@icloud.com,
<https://orcid.org/0000-0002-0644-9701>

Miroevskiy Filipp V. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of General Surgery, V.A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia, traumafil@gmail.com,
<https://orcid.org/0009-0005-6681-2858>

Ostapchenko Andrey A. – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of General Surgery, V. A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia, aostap@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-2660-9469>

Savitsky Vyacheslav D. – Assistant Professor, Department of General Surgery, V. A. Almazov NMRC, St. Petersburg, Russia, slava_savitski@mail.ru,
<https://orcid.org/0000-0002-7367-7528>

Contribution of the authors:

Tkachenko A.N. – ideological concept of the work, text editing; Deev R.V. – morphological part of the study; Starchik D.A. – anatomical section of the work; Vorokov A.A. – collection and processing of materials, writing the text; Miroevsky F.V. – collection and analysis of literature data; Ostapchenko A.A. – collection and analysis of literature data; Savitsky V.D. – collection and processing of materials.

Поступила 01.06.2026

Принята 10.07.2026

Опубликована 04.09.2026

Received 01.06.2026

Accepted 10.07.2026

Publication 04.09.2026