

<https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-2-142-149>
УДК 616.12-089.468:616.713:616.71-089.844

Клинический опыт применения костной крошки для улучшения регенерации костной ткани грудины после срединной стернотомии у пациентов с высоким риском стеральной дегисценции в кардиохирургической практике

М.С. Кузнецов, Ш.Д. Ахмедов, В.В. Шипулин, В.Е. Алямкин, И.Л. Буховец, А.Г. Гусакова, Н.Л. Афанасьева, Б.Н. Козлов

Научно-исследовательский институт кардиологии, Томский национальный исследовательский медицинский центр Российской академии наук (НИИ кардиологии Томского НИМЦ), 634012, Российская Федерация, Томск, ул. Киевская, 111а

Аннотация

Срединная стернотомия остается доступом выбора при операциях на сердце, магистральных сосудах и операциях на легких. Согласно анализу публикаций по данной тематике, такие послеоперационные осложнения после срединной стернотомии, как несостоятельность швов грудины, острый медиастинит и остеомиелит грудины и ребер формируются у 2–6% пациентов. В статье рассматривается клинический случай успешного применения новой методики, направленной на ускорение процессов регенерации костной ткани грудины с использованием костно-пластического материала у пациента группы высокого риска стеральной дегисценции. Эффективность данной методики открывает возможность ее широкого внедрения в клиническую практику.

Ключевые слова:	стернотомия; костно-пластические материалы; дегисценция грудины; диастаз грудины; клинический случай.
Финансирование:	никто из авторов не имеет финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.
Соответствие принципам этики:	пациент, представленный в описании данного клинического случая, дал информированное согласие на проведение диагностических и лечебных мероприятий.
Для цитирования:	Кузнецов М.С., Ахмедов Ш.Д., Шипулин В.В., Алямкин В.Е., Буховец И.Л., Гусакова А.Г., Афанасьева Н.Л., Козлов Б.Н. Клинический опыт применения костной крошки для улучшения регенерации костной ткани грудины после срединной стернотомии у пациентов с высоким риском стеральной дегисценции в кардиохирургической практике. <i>Сибирский журнал клинической и экспериментальной медицины</i> . 2025;40(2):142–149. https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-2-142-149

Use of bone chips to improve sternum bone tissue regeneration after median sternotomy in patients with a high risk of sternal dehiscence in cardiac surgery (case report)

Mikhail S. Kuznetsov, Shamil D. Akhmedov, Vladimir V. Shipulin,
Vadim E. Aljamkin, Irina L. Bukhovets, Anna M. Gusakova, Boris N. Kozlov

Research Institute of Cardiology, Tomsk National Research Medical Center of the Russian Academy of Sciences
(Research Institute of Cardiology, Tomsk NRMC), 111a, Kievskaya str., Tomsk, 634012, Russian Federation

Abstract

Median sternotomy remains the approach of choice for cardiac, great vessel, and pulmonary surgeries. According to data analysis, postoperative complications after median sternotomy, such as incompetence of the sternal sutures, acute mediastinitis and osteomyelitis of the sternum and ribs, occur in 2–6% of patients. The article discusses a clinical case of the successful use of a new technique aimed at accelerating the processes of regeneration of sternum bone tissue using osteoplastic material in a patient at high risk of sternal dehiscence. The effectiveness of this technique opens up the possibility of its widespread implementation in clinical practice.

Keywords: sternotomy; osteoplastic materials; sternal dehiscence; sternal diastasis; clinical case.

Funding: none of the authors has a financial interest in the presented materials or methods.

Compliance with ethical standards: the patient presented in the description of this clinical case gave an informed consent for diagnostic and therapeutic measures.

For citation: Kuznetsov M.S., Akhmedov Sh.D., Shipulin V.V., Aljamkin V.E., Bukhovets I.L., Gusakova A.G., Kozlov B.N. Use of bone chips to improve sternum bone tissue regeneration after median sternotomy in patients with a high risk of sternal dehiscence in cardiac surgery (case report). *Siberian Journal of Clinical and Experimental Medicine*. 2025;40(2):142–149. <https://doi.org/10.29001/2073-8552-2025-40-2-142-149>

Введение

Срединная стернотомия является «золотым стандартом» среди всех хирургических доступов в кардиоторакальной практике, поскольку данный доступ обеспечивает наиболее оптимальную визуализацию органов средостения, а также считается наиболее удобным и комфортным для работы хирурга. К сожалению, выполнение срединной стернотомии сопряжено с достаточно высоким риском послеоперационных осложнений, которые зависят от ряда факторов риска. Наиболее значимыми из них считаются пожилой возраст, ожирение, диабет, остеопороз, почечная недостаточность, заболевания щитовидной железы, забор одной или обеих внутренних грудных артерий. Одним из серьезных осложнений, частота которого может достигать 10%, является развитие нестабильности грудины [1]. В раннем послеоперационном периоде нестабильность грудины может привести к таким осложнениям, как хронический болевой синдром, поверхностная инфекция, глубокая раневая инфекция и медиастинит, который возникает у 0,4–8,4% пациентов после стернотомии [2]. Ввиду того, что порой стерральная дегисценция может развиваться после выписки пациента из стационара, истинная частота развития данного осложнения остается неизвестной.

С целью ускорения процесса репарации и регенерации костной ткани грудины впервые использовались костно-пластические материалы. Эти материалы успешно применяются в травматологии, ортопедии, челюстно-лицевой хирургии и хирургической стоматологии. Однако при анализе мировой литературы упоминаний использования их в торакальной хирургии не обнаружено.

Остеопластические материалы представляют собой имплантаты, способствующие формированию кости. При этом они обеспечивают локальную остеокондуктивную, остеоиндуктивную или остеогенную активность. В соответствии с происхождением все остеопластические материалы разделяют на четыре основные группы: аутогенные (донором выступает пациент); аллогенные (донором является другой человек); ксеногенные (донором выступает животное); синтетические (выполнены на основе солей кальция и фосфора).

Аутогенные остеопластические материалы (АОМ) – это трансплантаты, полученные из костной ткани самого пациента. Аутогенная кость ни в коем случае не является самым идеальным трансплантатом, но она считается «золотым стандартом» костных трансплантатов, поскольку отвечает главному принципу трансплантологии – внутривидовой специфичности тканей. Именно поэто-

му при применении аутографтов можно добиться высокой биосовместимости и отсутствия рисков иммунного отторжения материала. АОМ обладают естественной способностью содействовать росту новой костной ткани. Они содержат коллаген, белки костной матрицы и ростовые факторы, которые стимулируют регенерацию кости. Однако аутокость обладает серьезными недостатками, ограничивающими ее применение: во-первых, получение аутографта требует дополнительной операции, что увеличивает риск инфекций, кровопотери и длительности восстановления пациента, во-вторых, количество кости, которое можно извлечь у пациента, ограничено.

Аллогенные остеопластические материалы считаются первой альтернативой аутогенным тканям. Их получают от доноров (чаще всего после смерти) и подвергают специальной обработке для удаления иммунных агентов и возбудителей инфекции, сохранив при этом естественный состав и архитектуру внеклеточного матрикса для наиболее эффективного применения аллогенной костной ткани. Недостаток данного вида материала состоит в том, что нет единых стандартов децеллюляризации и стерилизации аллогенных тканей, вследствие чего получаемые материалы различны по своим свойствам, что затрудняет прогнозирование клинического результата.

Ксеногенные остеопластические материалы – это костные трансплантаты, получаемые из костей животных (чаще всего коров или свиней). Перед использованием в медицинских целях, как и аллогенные материалы, ксенографты подвергаются специальной обработке для удаления органических компонентов и потенциальных антигенов, что снижает риск иммунного отторжения и передачи заболеваний. Некоторые исследования указывают на то, что аллогенные костные материалы обладают более высокой активностью в стимуляции костной регенерации по сравнению с ксеногенными, так как они содержат в себе стимуляторы этого процесса [3, 4]. Однако также имеются исследования, которые подтверждают противоположное [5, 6]. Вероятно, противоречивость результатов обусловлена отличиями в методах приготовления трансплантатов, использованных в исследованиях. Несмотря на различные мнения о ксеноматериалах, их очевидные преимущества включают в себя относительно низкую стоимость производства и отсутствие необходимости в наличии костного банка.

Следует отметить, что ксеноматериалы отличаются по формам выпуска. Существуют формы, изготовленные лишь из губчатой костной ткани, в которых сохранены только минеральные элементы кости. Также имеются формы, изготовленные из губчатой и кортикальной костной ткани, содержащие органические факторы роста, такие как коллаген. Коллагенсодержащие материалы обладают свойствами остеокондуктивности и остеоиндуктивности, тогда как материалам без коллагена свойственна лишь остеокондуктивность. Из этого следует, что материал с коллагеном способен стимулировать регенерацию кости, что может ускорить процесс заживления. Однако этот материал также быстрее рассасывается, так как коллаген естественным образом разлагается в теле. Материалы без коллагена, наоборот, имеют более длительное время рассасывания, что может быть предпочтительным в случаях, когда необходима более длительная механическая поддержка, но они менее эффективны в

поддержке роста костей по сравнению с коллагенсодержащими материалами. Соответственно, материалы без коллагена применяются тогда, когда необходимо длительное и объемное замещение участка кости (например, процедура синус-лифтинг), а коллагенсодержащие материалы полезны при необходимости неостеогенеза травмированного участка кости.

Помимо состава свойства остеопластических материалов могут значительно меняться в зависимости от размера гранул, который играет ключевую роль в их биологической функциональности и клинической эффективности. Размер гранул воздействует на такие аспекты, как пористость, скорость рассасывания, остеоинтеграция и остеокондуктивность. Рассмотрим подробнее основные аспекты взаимосвязи между размером гранул и свойствами остеопластических материалов.

Размер гранул оказывает значительное влияние на пористость материала. Крупные гранулы обычно способствуют образованию более крупных пор, которые могут улучшать васкуляризацию и колонизацию клетками. Более мелкие гранулы, в свою очередь, могут создавать более плотно упакованные структуры с меньшим объемом пор, что может ограничить проникновение клеток и кровеносных сосудов.

Скорость рассасывания мелких гранул выше, чем крупных. Это может быть полезным в случаях, когда необходима более быстрая замена материала на естественную костную ткань. Однако если процесс рассасывания происходит слишком быстро, это может привести к нарушению процессов остеогенеза.

Остеоинтеграция описывает процесс врастания имплантата в окружающую костную ткань. Мелкие гранулы могут обеспечить более плотный и стабильный контакт с костной тканью, способствуя быстрому началу остеоинтеграции. Тем не менее, крупные гранулы, благодаря своим большим порам, могут предоставлять лучшую среду для роста костных клеток.

Мелкие гранулы могут ограничивать остеокондуктивность из-за более плотного расположения и меньшей пористости, в то время как крупные гранулы, обеспечивая больший объем пор, могут улучшать остеокондуктивность.

Синтетические остеопластические материалы предлагают альтернативу аутогенным, аллогенным и ксеногенным материалам и имеют определенные преимущества, такие как отсутствие риска болезней, передающихся через трансплантаты, отсутствие необходимости в донорских материалах и возможности массового производства. Основными представителями данной группы являются гидроксиапатит, трикальцийфосфат (ТКФ) и биоактивное стекло.

Гидроксиапатит – это биокерамический материал, который широко используется в медицине благодаря своей химической и кристаллической структуре, похожей на минеральные компоненты человеческой кости. Одной из важных характеристик гидроксиапатита, влияющей на его свойства, является его пористость. Различают пористый и непористый (плотный) гидроксиапатит; между этими двумя формами существуют значительные различия в остеоинтеграции. Пористый гидроксиапатит имеет множество микро- и макропор, которые могут поддерживать рост костной ткани за счет проникновения в них остеогенных клеток и кровеносных сосудов. Это же делает мате-

риал более биорассасываемым из-за большей площади поверхности, что ускоряет процессы резорбции и замещения костной тканью.

Непористый гидроксипатит, в свою очередь, имеет плотную, почти сплошную структуру без видимых пор. Это придает ему высокую механическую прочность и стабильность. Отсутствие пор также определяет медленные темпы рассасывания. Непористый гидроксипатит используется в ситуациях, где необходимы высокая прочность и стабильность.

ТКФ – это вещество-предшественник гидроксипатита при репаративном остеогенезе, кальций-фосфатный материал, состоящий из двух химических форм: α -ТКФ и β -ТКФ. Структура β -ТКФ более стабильна при температуре тела человека и поэтому чаще используется в медицине. ТКФ постепенно рассасывается в теле, что позволяет ему заменяться на новую костную ткань. Однако скорость рассасывания может быть неадекватной в некоторых клинических сценариях, требующих долгосрочной поддержки структуры.

Биоактивное стекло – это группа биоматериалов, которые обладают способностью взаимодействовать с живыми тканями, стимулируя рост костной ткани и обеспечивая отличную биосовместимость. Эти материалы были впервые разработаны Л. Хенчем (1969) и с тех пор широко применяются в медицине, в частности, в ортопедии и стоматологии [7].

Биоактивное стекло взаимодействует с биологическими жидкостями, что приводит к образованию слоя гидроксикарбонатного апатита на его поверхности. По своему составу этот слой очень похож на минеральный компонент человеческих костей, что способствует прямой химической связи между стеклом и костной тканью. Таким образом, биоактивное стекло не только поддерживает рост кости, но и активно стимулирует его, способствуя быстрому восстановлению и заживлению костных дефектов.

Приведенный ниже клинический случай демонстрирует возможность применения костной крошки «bioOST» кортикальной + губчатой субтотально деминерализованной с фоновой остеоиндукцией, представляющих собой губчатые гранулы с коллагеном для замещения костных дефектов. (регистрационное удостоверение № РЗ 2015/3086 от 16.09.2015 г., предприятие «Кардиоплант», входящее в группу компаний НПО «Мединж», Пенза, Россия). Следует отметить, что данный материал, который выпускает компания «Мединж», находит широкое применение в челюстно-лицевой хирургии, поэтому его использование в кардиоторакальной практике является неоспоримой научной новизной.

Клинический случай

Пациент С. в возрасте 73 лет 16.03.2024 г. поступил на плановое оперативное вмешательство в кардиохирургическое отделение НИИ кардиологии по поводу ишемической болезни сердца (ИБС).

Из анамнеза известно, что с 2006 г. пациент страдает гипертонической болезнью с максимальным повышением артериального давления (АД) до 180–200 мм рт. ст. Гипотензивную терапию принимает регулярно. Адаптирован к АД 130–140/70–80 мм рт. ст. С сентября 2017 г. стал отмечать появление одышки инспираторного характера, давящих болей за грудиной при умеренной физической нагрузке, купируемых в покое. В ноябре 2017 г. проходил

лечение в городской больнице № 3 с гипертоническим кризом, проводилось обследование с целью исключения острого нарушения мозгового кровообращения. Согласно данным компьютерной томографии (КТ), диагноз острого нарушения мозгового кровообращения не подтвердился. Тогда же была диагностирована ИБС, назначена антиангинальная и гипотензивная терапия. После выписки пациент отмечал постепенное нарастание одышки, снижение толерантности к физической нагрузке. 28.05.2018 г. на фоне психоэмоциональной нагрузки возник затяжной ангинозный приступ. В порядке оказания скорой медицинской помощи был госпитализирован в отделение неотложной кардиологии НИИ кардиологии. Отмечалось повышение кардиоспецифических ферментов. Выполнена коронароангиография, выявлено многососудистое поражение коронарного русла. Проконсультирован кардиохирургом, рекомендовано проведение оперативного лечения ИБС аортокоронарного шунтирования в условиях искусственного кровообращения.

При поступлении пациент предъявлял жалобы на одышку инспираторного характера, давящие боли за грудиной при ходьбе по прямой до 50 м, купируемые приемом нитроглицерина, периодическое повышение АД до 150 мм рт. ст.

Объективный статус при поступлении: общее состояние удовлетворительное. Сознание ясное. Аускультативно: дыхание везикулярное, частота дыхательных движений 16 в мин. Тоны сердца ясные, аускультативно шумов нет. Частота сердечных сокращений 89 уд/мин. АД одинаковое на обеих руках (125/80 мм рт. ст.).

По данным лабораторных методов исследования: гликированный гемоглобин 9,87%.

По данным инструментальных методов исследования: ультразвуковое исследование (УЗИ) сонных и подключичных артерий: общие сонные артерии с обеих сторон без гемодинамически значимых стенозов, кровотоки симметричные, магистральные, удовлетворительные, подключичные артерии проходимы.

Коронарная ангиография: стеноз проксимальной трети передней нисходящей артерии – 75%, стеноз I диагональной ветви – 75%, стеноз проксимальной трети огибающей артерии – 55%, протяженный каскадный стеноз II ветви тупого края – 75%. Стеноз проксимальной трети правой коронарной артерии – 70%.

Эхокардиография: камеры сердца не расширены. Небольшая гипертрофия левого желудочка. Общая сократимость желудочков в норме. Нарушений локальной сократимости нет. Диастолическая функция не нарушена. Уплотнены стенки аорты. Клапаны без структурных изменений, функционируют нормально. Систолическое давление в правом желудочке в норме. В полости перикарда жидкости нет.

После проведенного обследования был поставлен диагноз:

Основное заболевание: ИБС: Стенокардия напряжения. ФК III. Постинфарктный кардиосклероз (передний не-Q-инфаркт миокарда без элевации сегмента ST от 28.05.2018 г.). Стенозирующий атеросклероз коронарных артерий.

Фоновое заболевание: гипертоническая болезнь, 2-я степень артериальной гипертонии, достигнут целевой уровень АД. Риск 4 (Очень высокий). Дислипидемия. Избыточная масса тела. Атеросклероз сонных (слева в бифуркации и устье внутренней сонной артерии плотные

неоднородные атеросклеротические бляшки, стенозирующие просвет на 40%), бедренных артерий (с обеих сторон по ходу общей бедренной артерии бляшки до 20%). Сахарный диабет 2-го типа, целевой уровень гликированного гемоглобина менее 7,0%, достигнутый 9,87%. Диабетическая непролиферативная ретинопатия. Риск 4.

Осложнения: хроническая сердечная недостаточность I ст. ФК II (NYHA).

Сопутствующие заболевания: хронический эрозивный гастрит, ремиссия. Желчнокаменная болезнь. Хронический холецистит, ремиссия. Хронический пиелонефрит, латентное течение. Хроническая болезнь почек С3а (СКФ 48 мл/мин). Остеопороз.

В плановом порядке пациенту проведено оперативное лечение: аутовенозное линейное аортокоронарное шунтирование правой коронарной артерии, ветви тупого края и диагональной артерии (*v. saphena magna sinistra*). Маммарокоронарное шунтирование (*a. mammaria sinistra*) передней нисходящей артерии в условиях искусственного кровообращения и антеградной холодовой кардиоopleгии раствором «Кустодиол».

Оперативное лечение выполнялось стандартно: срединная стернотомия. Выделение левой внутригрудной артерии с одновременным забором большой подкожной вены. Наложение дистальных анастомозов между реверсированными аутовенами и коронарными артериями, создание анастомоза между внутригрудной артерией и передней нисходящей артерией сердца, пришивание проксимальных анастомозов между аутовенозными шунтами и аортой. Гемостаз. Металлоостеосинтез грудины и послойное ушивание раны.

На этапе ушивания послеоперационной раны был отмечен остеопороз грудины, что послужило поводом для принятия решения применения костной крошки за 30 мин до «стягивания» грудины. Согласно инструкции изготовителя, костно-пластический материал разводили в стерильных условиях кровью пациента в соотношении 1 : 1,5 мл объема с экспозицией 30 мин.

На этапе сведения грудины полученную пластическую массу втирали в губчатое вещество грудины с последующим сопоставлением краев. Медицинский воск не использовали.

Стабилизацию грудины у пациента выполняли комбинированным методом (комбинацию линейного с Z-образным способом), лигатурами монопроволокой USP 7.

Послеоперационный период протекал без осложнений, пациент выписан на 14-е сут в удовлетворительном состоянии. На момент выписки пациент не предъявлял жалоб со стороны послеоперационной раны.

Для изучения степени регенерации костной ткани грудины после полной продольной стернотомии в настоящее время наиболее широко применяется метод спиральной КТ с 6-балльной оценкой [8].

В 6-месячный срок наблюдения степень сращения грудины у пациента составила 11 баллов. При этом по задней и передней поверхностям грудины визуализировался непрерывный кортикальный слой и полное сращение грудины. В теле грудины полной репарации костной ткани отмечено не было, однако хорошо видны формирующиеся костные балки и костные «мостики» в виде нитевидных включений, что свидетельствует о репарации костной ткани (рис. 1).

Поскольку КТ (серии снимков) выполняется в статическом состоянии, то в момент дыхательных движений и

проведения функциональных проб возможно получение совсем другой клинической картины. В связи с этим пациенту дополнительно проводился ультразвуковой контроль репарации мягких тканей и костной ткани грудины.

Диагностические возможности УЗИ грудины несомненны. Преимуществами этого метода являются динамическое наблюдение в режиме реального времени, доступность, информативность, неинвазивность [9–11].

Ниже приведены иллюстрации УЗИ и КТ описываемого пациента и пациента, сопоставимого по клиническим признакам. На рисунке 2 изображено тело грудины пациента без применения костной крошки, на рисунке 3 – пациента с костной крошкой. На УЗИ у пациента без костной крошки толщина кортикального слоя меньше, он имеет неоднородную структуру, на уровне рукоятки грудины диастаз: по данным УЗИ 4 мм, по данным КТ 5,1 мм, на уровне тела грудины диастаз: по данным УЗИ 1,4 мм, по данным КТ 1,1–2,5 мм, отдельные признаки формирования костной мозоли. У пациента с костной крошкой на УЗИ отмечается большая толщина и однородность кортикального слоя, а также полная консолидация половин грудины.

Незначительная разница в цифрах между данными УЗИ и КТ объясняется разными проекциями и способами измерения.

Обсуждение

Безусловно, ведущим фактором профилактики стеральной дегисценции после срединной стернотомии является стабилизация костных фрагментов (половинок) грудины различными способами и шовными материалами. Однако применение дополнительных средств, ускоряющих репарацию костной ткани грудины, также является одним из ведущих факторов, влияющих на благоприятный исход и снижение риска раневых осложнений после срединной стернотомии, в особенности у пациентов высокого риска.

Использование костных трансплантатов для восстановления либо замещения дефектов костной ткани для ускорения процессов остеогенеза является клинически обоснованным и актуальным направлением [4, 12, 13].

Основываясь на методах использования остеопластики с применением ксенотрансплантатов в таких областях, как стоматология, травматология и ортопедия, нами был разработан и предложен новый способ профилактики неинфекционных осложнений со стороны костной ткани грудины при выполнении срединной стернотомии [3].

Для решения поставленных задач мы остановили свой выбор на остеопластическом материале XENOGRAFT Collagen, представляющем собой гранулы размером 1,0–2,0 мм, изготовленные из губчатой и кортикальной костной ткани крупного рогатого скота. Обоснованность его применения для заживления грудины у пациентов высокого риска обусловлена следующим: во-первых, из-за наличия в его составе губчатой и кортикальной костной ткани этот материал обладает свойствами остеокондуктивности и остеоиндуктивности, что не только ускоряет регенерацию, но и служит матрицей для новообразующейся костной ткани. Во-вторых, крупный размер гранул используемого препарата способствует образованию более крупных пор, которые могут улучшать васкуляризацию и колонизацию клетками костной матрицы грудины, а также их росту.

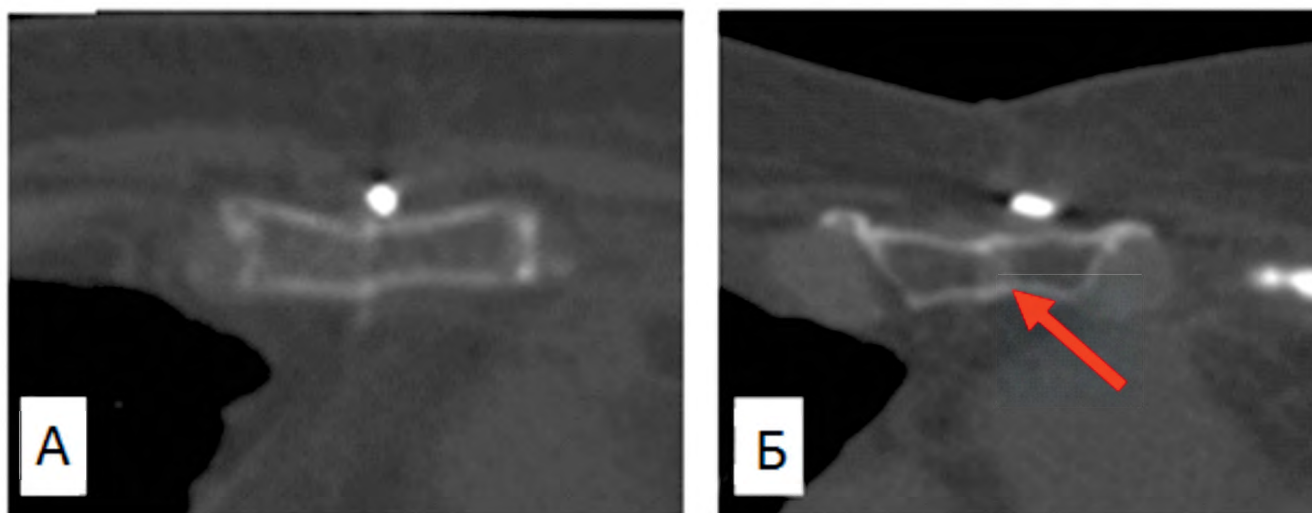


Рисунок 1. Изображения компьютерной томографии пациента через 6 месяцев после операции. А – отсутствие диастазов, полное сращение костной ткани; Б – облаковидный инфильтрат, формирование костных мостиков, указано стрелкой
Figure 1. CT images of the patient 6 months after surgery. А – absence of diastases, complete fusion of bone tissue; Б – closely-grouped infiltrate, formation of bone bridges indicated by the arrow

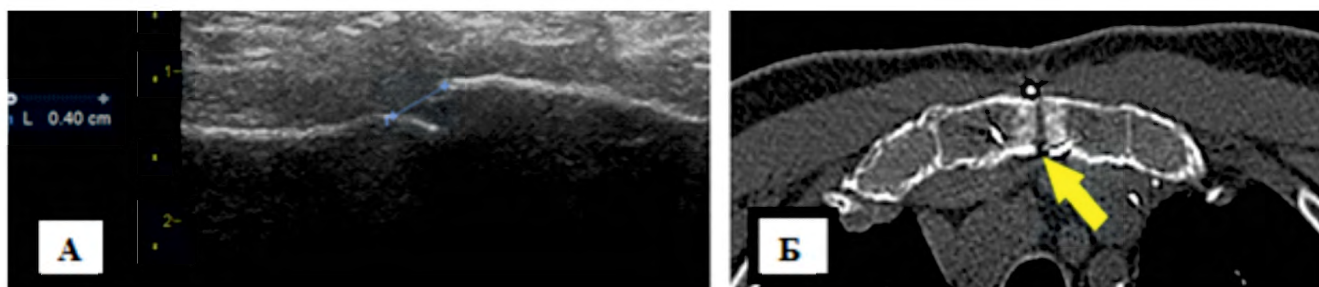


Рисунок 2. А – ультразвуковое исследование пациента без применения костно-пластического материала; Б – компьютерная томография пациента без применения костно-пластического материала
Figure 2. А – ultrasound picture of the patient without the use of osteoplastic material; Б – CT scan of the patient without the use of osteoplastic material

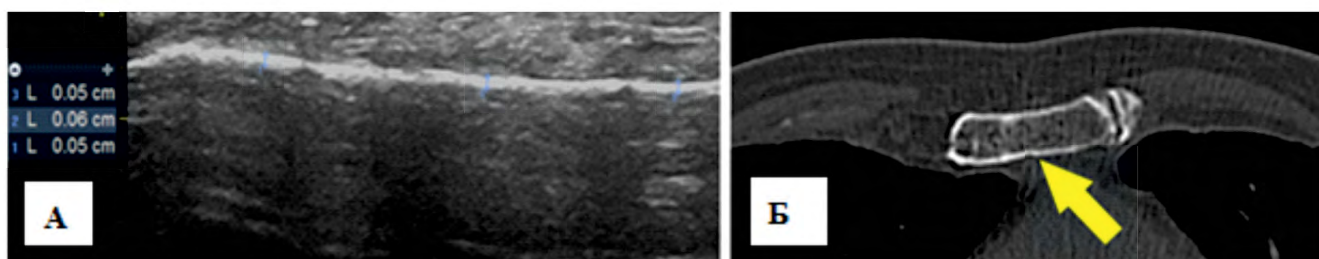


Рисунок 3. А – ультразвуковое исследование пациента с применением костно-пластического материала; Б – компьютерная томография пациента с применением костно-пластического материала
Figure 3. А – ultrasound picture of the patient using bone chips; Б – CT scan of the patient using bone chips

Заключение

Полученные промежуточные результаты исследования пациентов после кардиохирургических операций с использованием доступа срединной стернотомии свидетельствуют о возможности удовлетворительной репарации грудины с применением костно-пластических материалов при высоком риске ее расхождения.

УЗИ грудины в различные сроки послеоперационного периода является не только дополнением к результатам КТ, но и в ряде случаев может стать основным диагностическим методом для оценки стадий репарации грудины.

Статистическая обработка результатов на данном этапе исследования не проводилась в связи с недостаточностью данных о достижении контрольных точек обследования пациентов в отдаленном послеоперационном периоде.

Литература / References

1. Hernández-Zamora R.E., Sotelo-Carbajal J., Martínez-Maya G., García-Ledezma A., Román-Matus A., Torres-Salazar Q.L. Sternal dehiscence, a reconstructive challenge. Case report. *Int. J. Surg. Case Rep.* 2023;111:108926. <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2023.108926>
2. Карташов А.А. Эффективность и результаты аортотомического шунтирования у больных ишемической болезнью сердца с избыточной массой тела на фоне инсулинорезистентности: автореф. дис. ... канд. мед. наук. М., 2015:29. Kartashov A.A. E'fektivnost' i rezul'taty aortokoronarnogo shuntirovaniya u bol'ny'x ishemicheskoy boleznyu serdca s izby'tochnoy massoj tela na fone insulinorezistentnosti: autoref. dis. ... kand. med. nauk. M., 2015:29. (In Russ.) URL: <https://www.dissercat.com/content/effektivnost-i-rezultaty-aortokoronarnogo-shuntirovaniya-u-bolnykh-ischemicheskoy-boleznyu/read> (03.02.2015).
3. Staedt H., Dau M., Schiegnitz E., Thiem D.G.E., Tagadiuc O., Palarie V. et al. A collagen membrane influences bone turnover marker in vivo after bone augmentation with xenogenic bone. *Head Face Med.* 2020;16(1):35. <https://doi.org/10.1186/s13005-020-00249-9>
4. Хоминец В.В., Воробьев К.А., Соколова М.О., Иванова А.К., Комаров А.В. Аллогенные остеопластические материалы для реконструктивной хирургии боевых травм. *Известия Российской Военно-медицинской академии.* 2022;41(3):309–314. <https://doi.org/10.17816/rmmar109090>
5. Khomeinets V.V., Vorobev K.A., Sokolova M.O., Ivanova A.K., Komarov A.V. Allogeneic osteoplastic materials for reconstructive surgery of combat injuries. *Russian Military Medical Academy Reports.* 2022;41(3):309–314. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/rmmar109090>
6. Athanasios V.T., Papachristou D.J., Panagopoulos A., Saridis A., Scopa C.D., Megas P. Histological comparison of autograft, allograft, DBM, xenograft, and synthetic grafts in a trabecular bone defect: an experimental study in rabbits. *Med. Sci. Monit.* 2010;16(1):BR24–31. PMID: 20037482.
7. Galia C.R., Lourenço A.L., Rosito R., Souza Macedo C.A., Camargo L.M. Physicochemical characterization of lyophilized bovine bone grafts. *Rev. Bras. Ortop.* 2015;46(4):444–451. [https://doi.org/10.1016/S2255-4971\(15\)30260-3](https://doi.org/10.1016/S2255-4971(15)30260-3)
8. Hench L.L., Jones J.R.. Bioactive Glasses: Frontiers and Challenges. *Front. Bioeng. Biotechnol.* 2015;3:194. <https://doi.org/10.3389/fbioe.2015.00194>
9. Чарчян Э.Р., Степаненко А.Б., Галеев Н.А., Ховрин В.В., Ким М.Г. Способ определения степени заживления грудины при ее фиксации после кардиохирургических операций с полной срединной стернотомией. Патент на изобретение RU 2647796 C1. Дата регистрации: 19.03.2018. EDN: KTMGZH. Charchyan E.R., Stepanenko A.B., Galeev N.A., Khovrin V.V., Kim M.G. Method of determining the degree of healing of the sternum during its fixation after cardiac surgery with complete median sternotomy. Patent RU 2647796 C1. Date of registration: 19.03.2018. eLibrary ID: 37366106, EDN: KTMGZH.
10. Balachandran S., Sorohan M., Denehy L., Lee A., Royse A., Royse C. et al. Is ultrasound a reliable and precise measure of sternal micromotion in acute patients after cardiac surgery? *Int. J. Ther. Rehabil.* 2017;24(2):62–70. <https://doi.org/10.12968/ijtr.2017.24.2.62>
11. Royse A.G., El-Ansary D., Hoang W., Lui E., McCusker M., Tivendale L. et al. Cite this article as A randomized trial comparing the effects of sternal band and plate fixation of the sternum with that of figure-of-8 wires on sternal edge motion and quality of recovery after cardiac surgery. *Interact. CardioVasc. Thorac. Surg.* 2020;30(6):863–870. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivaa040>
12. El-Ansary D., Balachandran S., Royse A., King-Shier K., Bryant A., Denehy L. et al. Real-time ultrasound assessment of sternal stability in adhesive-enhanced sternal closure. *J. Transl. Sci.* 2015;1(3):65–68. <https://doi.org/10.15761/JTS.1000115>
13. Базикян Э.А. Современные остеопластические материалы. М.: ГЭОТАР-Медиа, 2018:96. ISBN 978-5-9704-4582-2. Bazikyan E.A. Modern osteoplastic materials. Moscow: GEOTAR-Media, 2018:96. (In Russ.) ISBN 978-5-9704-4582-2.
14. Козлов Б.Н., Кузнецов М.С., Александрова Е.А., Насрашвили Г.Г., Панфилов Д.С., Сондуев Э.Л. Способ профилактики неинфекционных осложнений костной ткани грудины при сердечно-сосудистых вмешательствах. Патент RU 2743811 C1. Дата регистрации: 21.07.2021. Kozlov B.N., Kuznetsov M.S., Alexandrova E.A., Nasrashvili G.G., Panfilov D.S., Sonduev E.L. Method for preventing non-infectious complications of sternum bone tissue during cardiovascular interventions. Patent RU 2743811 C1. Date of registration: 21.07.2021. URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2743811C1_20210226.pdf (03.02.2025).

Информация о вкладе авторов

Кузнецов М.С. – разработка и утверждение дизайна исследования, первичная редакция статьи.

Афанасьева Н.Л. – отбор пациентов на исследование.

Алямки В.Е. – отбор пациентов на исследование, написание статьи.

Шипулин В.В. – анализ и обработка снимков компьютерной томографии.

Буховец И.Л. – ультразвуковая диагностика репарации костной ткани.

Гусакова А.Г. – лабораторная обработка информации.

Ахмедов Ш.Д. – руководство научной темой, редактирование статьи.

Козлов Б.Н. – общее научное руководство НИР ОССХ.

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Сведения об авторах

Кузнецов Михаил Сергеевич, канд. мед. наук, научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-1975-043X>.

E-mail: kms@cardio-tomsk.ru.

Ахмедов Шамиль Джамаевич, д-р мед. наук, профессор, ведущий научный сотрудник, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0003-2758-7107>.

E-mail: shamil@cardio-tomsk.ru.

Шипулин Владимир Владимирович, канд. мед. наук, научный сотрудник, лаборатория радионуклидных методов исследования, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9887-8214>.

E-mail: shipartphoto@gmail.com.

Information on author contributions

Kuznetsov M.S. – study design development and approval, initial revision of the article.

Afanasyeva N. L. – selection of patients for the study.

Alyamkin V.E. – selection of patients for the study, writing the article.

Shipulin V.V. – analysis and processing of computed tomography images.

Bukhovets I.L. – ultrasound diagnostics of bone tissue reparation.

Gusakova A.G. – laboratory information processing.

Akhmedov Sh.D. – management of the scientific topic, article editing.

Kozlov B.N. – research supervision and revision of the manuscript.

Conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

Information about the authors

Mikhail S. Kuznetsov, Cand. Sci. (Med.), Research Scientist, Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRCM, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-1975-043X>.

E-mail: kms@cardio-tomsk.ru.

Shamil D. Akhmedov, Dr. Sci. (Med.), Professor, Leading Research Scientist, Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRCM, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0003-2758-7107>.

E-mail: shamil@cardio-tomsk.ru.

Vladimir V. Shipulin, Research Scientist, Laboratory of Radionuclide Research Methods, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRCM, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9887-8214>.

E-mail: shipartphoto@gmail.com.

Алякин Вадим Евгеньевич, клинический ординатор, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-6593-0976>.

E-mail: vea@cardio-tomsk.ru.

Буховец Ирина Львовна, д-р мед. наук, старший научный сотрудник, отделение рентгеновских и томографических методов диагностики, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-9466-6097>.

E-mail: biil@cardio-tomsk.ru.

Гусакова Анна Михайловна, канд. фарм. наук, старший научный сотрудник, отделение функциональной и лабораторной диагностики, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-3147-3025>.

E-mail: afnatalko@cardio-tomsk.ru.

Афанасьева Наталья Леонидовна, канд. мед. наук, врач-кардиолог, отделение сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0001-5471-7566>.

Козлов Борис Николаевич, д-р мед. наук, заведующий отделением сердечно-сосудистой хирургии, НИИ кардиологии Томского НИМЦ, Томск, Россия, <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>.

E-mail: bnkozlov@yandex.ru.

✉ **Алякин Вадим Евгеньевич**, e-mail: vea@cardio-tomsk.ru.

Vadim E. Alyamkin, Medical Resident, Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-6593-0976>.

E-mail: vea@cardio-tomsk.ru.

Irina L. Bukhovets, Dr. Sci. (Med.), Senior Research Scientist, Department of X-ray and Tomographic Diagnostic Methods, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-9466-6097>.

E-mail: biil@cardio-tomsk.ru.

Anna M. Gusakova, Cand. Sci. (Pharm.), Senior Research Scientist, Department of Functional and Laboratory Diagnostics, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-3147-3025>.

E-mail: afnatalko@cardio-tomsk.ru.

Natalia L. Afanasyeva, Cand. Sci. (Med.), Cardiologist, Department of Cardiovascular Surgery, Research Institute of Cardiology, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0001-5471-7566>.

Boris N. Kozlov, Dr. Sci. (Med.), Head of the Department of Cardiovascular Surgery, Cardiology Research Institute, Tomsk NRMC, Tomsk, Russia, <https://orcid.org/0000-0002-0217-7737>.

E-mail: bnkozlov@yandex.ru.

✉ **Vadim E. Alyamkin**, e-mail: vea@cardio-tomsk.ru.

Поступила 17.07.2024;
рецензия получена 03.02.2025;
принята к публикации 14.05.2025.

Received 17.07.2024;
review received 03.02.2025;
accepted for publication 14.05.2025.