

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ ОСТЕОСИНТЕЗА ГРУДИНЫ ПОСЛЕ
ПРОДОЛЬНОЙ СРЕДИННОЙ СТЕРНОТОМИИ
(обзор литературы)

И.Г. КАРПЕНКО*, А.Н. ЛИЩУК*, А.Н. КОЛТУНОВ*, Г.А. ЕСИОН*, Д.В. ИВАНОВ**

*ФГБУ «3 ЦВКГ им. А.А. Вишневого Министерства обороны РФ»,
пос. Новый – госпиталь, п/о Архангельское, Красногорский р-н, Московская обл., 143421, Россия,
e-mail: ikarpenko86@gmail.com

**Тульский государственный университет, Медицинский институт,
ул. Болдина, д. 128, г. Тула, 300012, Россия, e-mail: doctor_ivanov@inbox.ru

Аннотация. Несмотря на современные достижения в развитии медицинских технологий и создания лекарств основной причиной смертности во всём мире является патология сердечно-сосудистой системы. Болезни сердца и коронарных сосудов сохраняют лидирующие позиции среди прочих патологий. Основой патогенеза повреждения коронарных сосудов является прогрессирование атеросклеротического процесса. Дисфункция эндотелия становится настолько стремительной, что фармакологические препараты способны отсрочить проведение оперативного пособия, но полностью уберечь от операции на коронарных артериях не могут. На сегодняшний день кардиохирургические оперативные вмешательства стали повседневной практикой во всем мире, и, несмотря на развитие миниинвазивных методов, продольная срединная стернотомия остается наиболее распространенным хирургическим доступом для выполнения данных оперативных вмешательств и является «золотым стандартом». Причина этого кроется в хорошей экспозиции и визуализации органов переднего средостения и сердца, менее выраженный болевой синдром (по сравнению с другими доступами, обеспечивающими такой же уровень визуализации), простота и скорость выполнения доступа. Однако, несмотря на постоянно увеличивающийся риск несостоятельности швов и глубокой инфекции тканей, хирург может снизить эти риски, выбрав необходимый метод. Поэтому знание и наличие индивидуальных методик крайне важно для оперирующего хирурга. Результат правильно выполненного оперативного пособия влияет на сроки восстановления пациента и сроки его нахождения в стационаре. Таким образом выбор метода стернотомии напрямую влияет на качество жизни пациента после операции и косвенно влияет на оборот койко-места в отделении кардиохирургии. Настоящая статья оформлена в виде обзора, в котором методы первичного остеосинтеза грудины были разделены на шесть основных групп по типу используемого материала и принципов применения: швы нитями, металлическая проволока, хомуты, кабельные системы, пластины и зажимы. В данном обзоре мы рассмотрим данные зарубежных авторов, т.к. большинство отечественных источников ссылаются и основываются на их данных, а также в связи с тем, что количество применяемых методик и их обзор в литературе выше в зарубежных источниках.

Ключевые слова: срединная стернотомия, остеосинтез грудины, диастаз грудины.

MODERN METHODS OF STERNAL CLOSURE AFTER MEDIAN STERNOTOMY (literature review)

I.G. KARPENKO*, A.N. LISCHUK*, A.N. KOLTUNOV*, G.A. ESION*, D.V. IVANOV**

*FSBI «"3 Central Military Clinical Hospital named after A.A. Vishnevsky" of the Ministry of Defense of the Russian Federation, vil. New – hospital, Arkhangelskoe,
Krasnogorskiy district, Moscow region, 143421, Russia, e-mail: ikarpenko86@gmail.com

**Tula State University, Medical Institute, Boldin Str., 128, Tula, 300012, Russia,
e-mail: doctor_ivanov@inbox.ru

Abstract. Despite on the modern achievements in the development of medical technologies and the creation of drugs, the main cause of death worldwide is the pathology of the cardiovascular system. Diseases of the heart and coronary artery retain a leading position among other pathologies. The basis of the pathogenesis of damage to coronary vessels is the progression of the atherosclerotic process. Endothelial dysfunction becomes so rapid that pharmacological drugs are able to delay the surgical treatment, but they cannot completely protect against coronary artery surgery. Today, cardiac surgical interventions have become a daily practice all over the world, and despite the development of minimally invasive methods, median sternotomy remains the most common surgical approach for performing these surgical interventions and is the "gold standard". The reason for this lies in the good exposure and visualization of the anterior mediastinal organs and the heart, less postoperative pain syndrome (compared to other approaches that provide the same level of visualization), easy and speed of

access. However, despite the ever-increasing risk of suture failure and deep sternal wound infection, the surgeon can reduce these risks by choosing the necessary method. Therefore, the knowledge and availability of individual techniques is extremely important for the operating surgeon. The result of a correctly performed surgical operation affects the patient's recovery time and the time of his stay in the hospital. Thus, the choice of the sternotomy method directly affects the quality of life of the patient after surgery and indirectly affects the turnover of the surgical bed in the department of cardiac surgery. This article is presenting in the form of a review in which the methods of primary sternal closure were divided into six main groups according to the type of material used and the principles of application: sutures with threads, metal wire, clamps, cable systems, plates and clamps. In this review, we considered the data of foreign authors, since most domestic sources refer to and are based on their data, as well as due to the fact that the number of methods used and their review in the literature is higher in foreign sources.

Keywords: median sternotomy, sternal closure, sternal dehiscence.

Введение. Остеосинтез грудины в настоящее время является наиболее распространенным повседневным остеосинтезом в мире. Количество осложнений после срединной стернотомии составляет по данным разных авторов от 4 до 8% (13, 15, 32, 34, 37, 41, 46). Стоит отметить, что процент осложнений остается приблизительно на одном уровне за последние 20 лет. Описано несколько десятков факторов, затрудняющих заживление грудины после продольной срединной стернотомии, из которых наиболее значимыми являются: возраст, ожирение, ХОБЛ, сахарный диабет, мультифокальный атеросклероз, хроническая иммуносупрессия, эксцентрично выполненная стернотомия, остеопороз, длительное хирургическое вмешательство, длительное искусственное кровообращение, большая кровопотеря, ревизия послеоперационной раны, длительная искусственная вентиляция легких, психомоторное возбуждение в послеоперационном периоде, послеоперационные инфекции [7, 8, 19, 37]. В настоящее время в кардиохирургии используется более 40 различных вариантов первичного остеосинтеза грудины [26]. Рутинным методом – «золотым стандартом» остеосинтеза грудины служит метод остеосинтеза с помощью стальной проволоки одинарными узловыми швами или швами «восьмерками». В настоящем обзоре мы выделили по существующим на сегодняшний день материалам и принципам применения – 6 групп: швы нитями, швы металлической проволокой, хомуты, кабельные системы, пластины и зажимы.

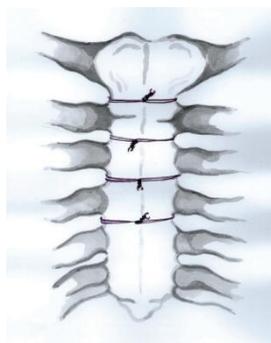


Рис. 1. Швы нитью PDS

1) **Швы нитями.** На сегодняшний день остеосинтез грудины с применением нитей используется в большинстве случаев в детской кардиохирургии, с применением рассасывающихся *полигликолевых* или *полидиоксаноновых швов (PDS)*. *Kreitmann* и *Schwab* не зарегистрировали ни одного случая диастазы грудины у детей до 30 кг [25, 44]. Также *Keçelgil* в группе из 264 педиатрических пациентов, с использованием *PDS* для остеосинтеза грудины, зарегистрировано только 4 случая (1,5%) диастазы грудины или медиастинита, и авторы оценивают данную методику как сопоставимую с другими методами (рис. 1) [23]. В кардиохирургии взрослых широкое распространение швов *PDS* или лавсана вызывает опасения по поводу прочности шва. *Casha* в своем биомеханическом исследовании прочности материалов и швов, сравнил четыре метода остеосинтеза грудины: полиэфирные швы, проволочное трансстернальноешивание по методике «восьмерки», обвивной парастернальный шов проволокой и пластины для грудины. Он обнаружил, что использованный ранее нейлон или полиэстер показали склонность к прорезыванию грудины до 4 раз выше по сравнению с проволочными швами. Авторы исследования видят причину в более высокой эластичности полиэстера и, следовательно, меньшей жесткости шва, позволяя грудиने мигрировать в зоне фиксации. Еще один негативный фактор применения полиэфирных нитей, заключается в значительно более высоком риске инфицирования различных типов полиэфирных волокон, из-за большей бактериальной адгезии к полифиламентным волокнам (до 3-х раз выше для стафилококковой инфекции). Учитывая вышеперечисленное, авторы рекомендуют не использовать нейлоновые или поли-

эфирные волокна для остеосинтеза грудины [10]. Однако при смене полиэфирных нитей на полидиоксаноновые нити (*PDS*), картина изменяется. При остеопорозе грудины у пожилых женщин шов стальной проволокой, за счет маленькой площади прилегания к кости, способствует прорезыванию кости. Используя эластичные материалы, этот риск должен быть уменьшен за счет переноса части энергии, воздействующей на грудину, на обратимую деформацию шва [9]. В своем рандомизированном исследовании *Luciani* уделил основное внимание возможности использования *PDS* у пожилых женщин (старше 70 лет) с площадью поверхности тела менее 1,5 м². В группе из 366 пациентов (181 с применением *PDS*, 185 с применением проволочных швов) зарегистрировано 7 случаев диастаза грудины или её нестабильность при использовании проволочного шва и ни одного случая при использовании *PDS* [30]. В исследовании *Mulch* у 150 оперированных пациентов со срединной стернотомией сообщается только об одном случае расхождения стернального шва нитью *PDS* [35]. *Van Sterkenburg* в своем исследовании, основываясь на своих результатах не рекомендует использовать *PDS* для остеосинтеза грудины при кардиохирургических вмешательствах у взрослых. Его пилотное исследование было прекращено после обнаружения глубокой инфекции грудины у 2 пациентов (т.е. 20%), у которых применялась нить *PDS* для остеосинтеза грудины [49]. В исследовании *Usui*, представлен анализ 350 пациентов, у которых выполнен остеосинтез по методике с применением нити *PDS*, в 3 случаях зафиксирован диастаз грудины. Несмотря на эти результаты, метод остеосинтеза с применением нити *PDS*, авторы не рекомендуют из-за повышенного риска трения нити о края кости и последующего разрыва нити. Ещё один минус применения нити *PDS* у взрослых – биоразлагаемый характер волокна, который по данным производителя показывает прочность 50-65% через 3 недели, 30-40% – через 6 недель [48].

2) **Металлические проволочные швы.** Ушивание грудины проволочными петлями было впервые использовано *Milton* в 1897 году, а с 1957 года, благодаря популяризации этой техники *Julian*, данный метод остеосинтеза считается «золотым стандартом» [38]. Его неоспоримыми преимуществами являются достижение хорошей послеоперационной стабильности грудины, техническая простота и скорость выполнения, низкая стоимость. Обычно на область грудины накладывают 2-3 проволочные петли на рукоятку грудины и 4-6 проволочных петель на тело грудины, после чего проволочные петли затягиваются, излишки проволоки удаляются, а свободные концы загибаются к надкостнице. Проволочный шов грудины может быть выполнен с помощью различных модификаций. Чаще всего используются: а) отдельные парастернальные швы (рис. 2), б) отдельные трансстернальные швы (рис. 3), в) чередование отдельных трансстернальных и парастернальных швов (рис. 4), г) парастернальные швы по типу 8 (рис.5), д) перикостальные швы по типу 8, е) техника Робичека (рис. 6), г) двойные парастернальные швы.



Рис. 2. Парастернальные швы



Рис. 3. Трансстернальные швы

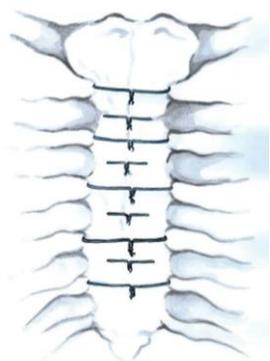


Рис. 4. Чередующиеся пара и трансстернальные швы

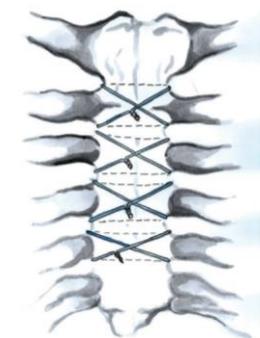


Рис. 5. Парастернальные швы восьмерки

Эффективность отдельных модификаций контролируется двумя аспектами: склонность к прорезыванию швов и прочности самого шва (например, разрыв проволоки). Общеизвестной оценкой этих методов основана на исследовании *Losanoff* и соавт., в котором они сравнивали эффективность различных методик остеосинтеза грудины с помощью металлических проволочных швов в ходе биомеханических испытаний на человеческих трупных грудинах. В ходе данного исследования наиболее оптимальным методом остеосинтеза признана методика чередования трансстернальных и парастернальных одиночных швов. Так же, в ходе исследования было установлено, что парастернальные швы на 36% имеют меньшую склонность к прорезыванию, по сравнению с трансстернальными швами [28].

Kiessling и соавт. в своем исследовании, с участием 100 пациентов с ИМТ свыше 32, сравнивали влияние использования одиночных парастернальных швов и двойных парастернальных петель на неинфекционную нестабильность грудины. В связи со статистически значимой разницей между двумя группами (12 случаев нестабильности в группе одиночных швов и 2 случая в группе двойных петель), методика применения двойных парастернальных петель, была признана эффективной для снижения риска диастаза грудины у пациентов с ожирением [24].

По результатам ряда исследований большое значение имеет количество швов, наложенных на грудину. Так, согласно ретроспективному исследованию *Shaikhrezaei* от 2012 года, в котором включили 2672 пациента, существует значительно более высокий риск несостоятельности швов грудины при использовании менее 8 проволочных швов [45]. *Kamiya* в своем исследовании пришел к аналогичному заключению, проведя анализ 4466 пациентов, и рекомендуя наложение 8 и более проволочных швов для снижения риска диастаза грудины у пациентов из группы высокого риска [22]. Результаты приведенных исследований подтверждают выводы *Casha*, который в своем исследовании биомеханической модели обнаружил, что сила, необходимая для ослабления одиночного проволочного шва составляет от 20 до 22 кг. При обильном кашле тяговые силы, действующие на окклюзию грудины, достигают 150 кг, поэтому рекомендуется использование 8 и более индивидуальных проволочных швов или 4 и более проволочных швов по типу восьмерок [9]. *Glennie* в своем исследовании сосредоточил внимание на отношениях между усилием затяжки проволочного шва и его прочностью. В ходе исследования было установлено, что после третьего витка затяжки, прочность шва увеличивается незначительно и уменьшается прочность проволоки в месте затяжки проволоки, что может привести к разрыву проволоки в месте затяжки [16]. Проволочные петли обычно накладываются и затягиваются вручную, что требует некоторого опыта хирурга. Некоторые исследования утверждают, что одним из факторов риска разрыва проволочного шва, среди прочих, является неадекватность затяжки швов менее опытными хирургами [43]. Разработаны специализированные инструменты, разработанные для оптимизации сил, действующих на отдельные проволочные швы, цель которых обеспечить максимальную стабильность шва (например, устройство *TORQ, Cardium*). Однако учитывая их высокую стоимость и определенные сложности использования, широкого распространения данные инструменты не получили.

Для улучшения результатов остеосинтеза у пациентов с множественным риском несостоятельности швов после срединной стернотомии выполняются различные способы сшивания, основанные на предотвращении прорезывания основных швов с помощью дополнительных швов или приспособлений. Основной и наиболее распространенный метод этой группы – техника остеосинтеза по Робичеку (рис. 6) [41], суть которой заключается в наложении дополнительных швов вдоль грудины, способствующих в перераспределении нагрузки на кость от основных швов.

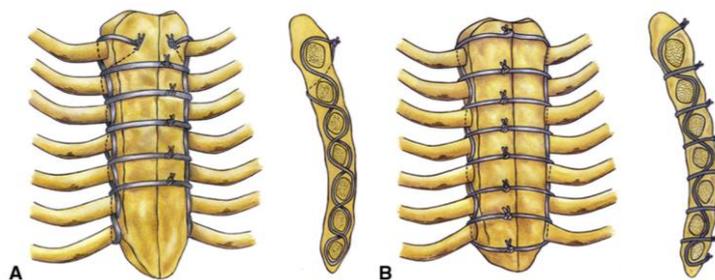


Рис. 6. Техника Робичека (А) и ее модификация (В)

Zurbrügg и соавт. в своем исследовании предложили использовать скрепки хирургического степлера для предотвращения прорезывания проволочного шва по латеральному его краю (рис. 7) [52].

В России различными коллективами авторов предложены свои уникальные методики [1-3].

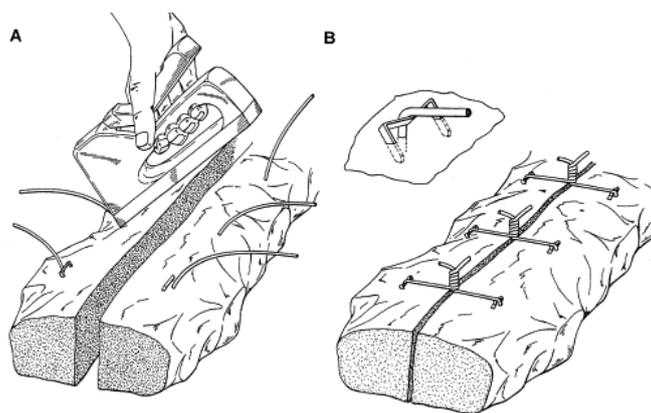


Рис. 7. Методика Zurbrügg H.R.

Появились разработки биоразлагаемых материалов, призванных улучшить результаты остеосинтеза. Например, материалы из *поли-L-лактида (PLLA)*, применяемые непосредственно в область сопоставления грудины, улучшающие скорость и адгезию костных отломков, и интрастернальные штифты из данного материала, увеличивающие прочность проволочного остеосинтеза в биомеханических исследованиях в продольном и поперечном направлении [26, 30, 42].

3) **Хомуты.** Недостатком большинства методов остеосинтеза с помощью стальной проволоки является воздействие высокого давления проволоки на узкую область грудины, что может привести к прорезыванию кости грудины и, как следствие, привести к ее нестабильности. При минимальном прорезывании проволоки отмечается ее повышенная подвижность, и на кость грудины она начинает действовать подобно ножу или пиле. В результате происходит постепенное увеличение прорезывания грудины с образованием фрагментации грудины и глубоким нарушением её заживления. Наиболее выражено данное свойство проволочных швов у осложненной категории пациентов. В своей работе 1992 года *Cheng* сравнил на трупной человеческой грудине устойчивость швов металлической проволокой (стальная проволока № 5) и три типа 5-миллиметровых стерильных хомутов (мерсилен, сталь и пластик). По результатам исследования меньшую степень диастаза грудины продемонстрировал шов из металлической проволоки (0,012 мм / Н), а швы с помощью хомутов продемонстрировали результат ниже. Так для хомутов из мерсилаена результат составил 0,017 мм / Н, для стального хомута – 0,017 мм / Н и пластикового хомута - 0,014мм / Н [11]. Однако с появлением и началом применением новых материалов при изготовлении хомутов, удалось добиться значительно лучших результатов, чем в исследовании *Cheng*. В исследовании *Grapow* и соавт., сравнивали хомуты из *PEEK (полиэфир-эфир-кетон, рис. 8)* и 8 одиночных швов стальной проволокой №5. По результатам в группе хомутов из *PEEK* склонность к прорезыванию кости оказалась в три раза меньше, что авторы связывают с большей площадью контакта с костью (распределение приложенного давления), а также не отмечено ни одного случая диастаза грудины в послеоперационном периоде на исследуемом промежутке времени в 30 дней [18]. *Franco* и соавт. [15] в своем исследовании продемонстрировали снижение частоты серьезных нарушений заживления грудины и медиастинита в группе пациентов с техникой комбинированного остеосинтеза грудины с помощью трансстернального шва рукоятки грудины стальной проволокой и хомутов из *PEEK* по сравнению с группой остеосинтеза только стальной проволокой (6 случаев против 18 для диастаза грудины и 5 случаев против 12 случаев медиастинита, всего 621 пациент). *Bhattacharya* в своем исследовании сравнил 370 пациентов с остеосинтезом грудины классическим швом стальной проволокой и 395 пациентов, у которых использовался метод остеосинтеза с помощью хомутов *PEEK*. По результатам исследования в группе остеосинтеза с помощью хомутов операция реостеосинтеза по поводу несостоятельности швов выполнена в 3 случаях, а в группе остеосинтеза по классической методике – в 14 случаях [6]. *Soroff* в своем исследовании с участием 48 пациентов, продемонстрировал сокращение сроков госпитализации и выраженности болевого синдрома у пациентов с остеосинтезом с помощью хомутов из *PEEK* [47]. *Casha* в своем биомеханическом исследовании, оценил различные материалы применяемые для остеосинтеза грудины, по данным автора лучший результат продемонстрировали хомуты и парастернальные швы стальной проволокой [10].

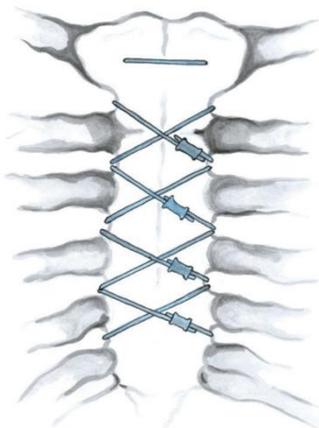


Рис. 8. Хомуты из PEEK (ZipFix)

Стандартная методика выполнения швов с помощью хомутов заключается в наложении швов в области рукоятки грудины трансстернально, в области тела швы накладываются парастернально, до мечевидного отростка. В этой области рекомендуется имплантация как можно ближе к латеральному краю грудины, чтобы избежать травмы внутренней грудной артерии или легких. Фиксация хомутов происходит через фиксаторы, которыми обычно оснащены имеющиеся системы. Исключения составляют хомуты *Mersilene*, у которых фиксация осуществляется путем завязывания узлов [39]. Также стандартную методику комбинируют с другими техниками. Часто в область рукоятки накладывают 2-3 шва стальной проволокой для исключения травматизации внутренней грудной артерии и легкого, а на теле грудины применяют уже хомуты. Примеры серийно выпускаемых хомутовых систем остеосинтеза представлены в табл. 1.

Таблица 1

Основные производимые хомутовые системы для остеосинтеза грудины

Наименование	Производитель	Материал
<i>Sterna-Band</i>	<i>Cardio Medical, Langenhagen, Germany</i>	Нержавеющая сталь
<i>Sternumband</i>	<i>Ethicon, Sommerville, New Jersey, USA</i>	Нержавеющая сталь
<i>Sternal ZipFix System</i>	<i>Sternal ZipFix System DePuy Synthes, Solothurn, Switzerland</i>	Поли-эфир-эфир-кетон
<i>Mersilene Tape</i>	<i>Ethicon, Sommerville, New Jersey, USA</i>	Полиэстер

4) **Кабельные системы.** Согласно большинству исследований кабельные системы (рис. 9) представляют собой другой метод, демонстрирующий более высокое сопротивление, чем швы стальной проволокой. Кабель, как и хомуты, имеет преимущество в большей площади контакта с костью (меньшая склонность к прорезыванию) и показывают большую прочность, чем стальная проволока. *Cohen* [12] в своем исследовании сравнивал три вида остеосинтеза грудины с помощью искусственного моделирования (парастернальные швы восьмерки стальной проволокой, парастернальные восьмерки кабельной системой и *DSF – Dynamic Sternal Fixation*) постепенно увеличивая силу. Его результаты показывают, что *DSF* имеет приоритет над другими методами, при этом кабельная система продемонстрировала немного большее сопротивление, чем швы стальной проволокой. Однако, сравнение кабельной системы и проволоки не было расценено как статистически значимое. Впоследствии против данной работы, в 2002 г. выступил *Losanoff* [29], указавший на сходство результатов *Cohen* с данными компании производителя *DSF (Pectofix Inc, США)*, отсутствие сил фактического воздействия на грудину в тестируемой модели и ограниченном количестве сравниваемых методик. Несмотря на эти оговорки, он соглашается с *Cohen*, что и *DSF*, и кабельные системы с точки зрения прочности шва грудины выше шва стальной проволокой. *Wangsgard* в своем исследовании сравнил те же техники, что и *Cohen*, но применял к ним циклически повторяющиеся силы, которые более точно отражают послеоперационное состояние пациента (т.е. движение, кашель, дыхание). В отличие от исследования *Cohen*, в этом исследовании, с точки зрения устойчивости шва, лучшие показатели продемонстрировали кабельные системы, затем *DSF* и далее шов стальной проволокой [50].

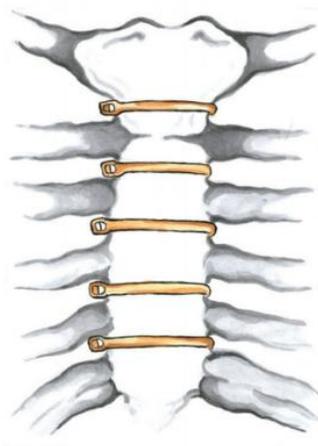


Рис. 9. Кабельные системы

В зависимости от используемой кабельной системы методика имплантации также несколько различаются. Парастернальные восьмерки – наиболее часто используемый метод (примеры серийно выпускаемых кабельных систем см. табл. 2) [14] для стабилизации фрагментированной грудины, можно использовать сочетание парастернально или перикостально имплантированных кабелей и продольных пластин (т.е. сочетание тросовой системы и пластинчатого остеосинтеза). Также предлагается использование кабельных систем, для предотвращения нестабильности грудины у пациентов которым выполнена двухплевральная переднелатеральная торакотомия [33].

Таблица 2

Основные производимые кабельные системы для остеосинтеза грудины

Наименование	Производитель
<i>BMP Cable System</i>	<i>Biomet, Warsaw, Indiana, USA</i>
<i>Dall-Miles Cables System</i>	<i>Stryker, Kalamazoo, Michigan, USA</i>
<i>Acromed Cable System</i>	<i>DePuy Acromed, Raynham, Massachusetts, USA</i>
<i>Pioneer Sternal Cable System</i>	<i>Pioneer Surgical, Marquette, Michigan, USA</i>

Новая модификация – кабели из *UHMWPE* (Полиэтилен сверхвысокой молекулярной массы). Этот материал с высокой биосовместимостью, сочетающий в себе свойства нитей, такие как гибкость, позволяющую создание хирургического узла, и провода – крупного диаметра (около 1 мм и более). Однако, данный материал показывает гораздо более высокий уровень критической нагрузки по сравнению с проволокой [31].

5) **Пластины.** Около 25 лет назад в челюстно-лицевой хирургии был введен метод пластинчатого остеосинтеза. Со временем он распространился на ортопедию, оториноларингологию и нейрохирургию, в это же время во всех этих областях частота диастаза костей, выраженность болевого синдрома, время сращения костных отломков были значительно уменьшены, и, таким образом, сократилось время послеоперационной госпитализации. Благодаря этим результатам пластинчатый остеосинтез вытеснил остеосинтез стальной проволокой из большинства дисциплин, кроме кардиохирургии [38, 46]. Для фиксации костных отломков грудины, кардиохирургии позаимствовали опыт челюстно-лицевых хирургов, ортопедов и нейрохирургов, т.к. частота осложнений сопоставима во всех вышеперечисленных областях. Хотя ни один из существующих методов остеосинтеза грудины полностью не лишен риска осложнений, остеосинтез с помощью пластин имеет наибольшую прочность (его также называют методом жесткой фиксации) и наименьший риск несостоятельности. *Ozaki* [38] в своем биомеханическом исследовании на трупных человеческих грудинах сравнил короткие (с четырьмя отверстиями) прямые пластины, Н-образные пластины и шов стальной проволокой. По результатам этого исследования наивысшая прочность и наименьший риск диастаза имеют Н-образные пластины по сравнению с другими методами. Лучшее заживление костных фрагментов, стабилизированных остеосинтезом с помощью пластин, объясняется меньшим нарушением кровоснабжения (фактор компрессии, ухудшающий кровоснабжение, в случае применения стальной проволоки). *Song* ретроспективно проанализировал результаты первичного остеосинтеза с помощью пластин (система *SternaLock*) у пациентов из группы крайне высокого риска. К факторам повышенного риска несостоятельности остеосинтеза автор отнес ХОБЛ, повторная операция, почечная не-

достаточность, сахарный диабет, остеопороз, постоянный прием глюкокортикостероидов, ИМТ свыше 30, как предоперационные факторы риска, эксцентрично выполненную стернотомию, поперечный перелом грудины, экстракорпоральное кровообращение более 2 часов. Для включения в категорию пациентов крайне высокого риска необходимо было сочетание 3 и более факторов риска. Из 45 пациентов, у которых остеосинтез грудины был выполнен с помощью системы *SternalLock*, произошло 4 случая послеоперационной смерти (1 аспирационная пневмония, 1 тромбоэмболия легочной артерии, 1 сепсис, 1 эндокардит и 1 гиповентиляционная пневмония). В 1 случае стерильное расхождение грудины произошло из-за разрыва пластин у пациента с площадью поверхности тела $2,81\text{м}^2$ и ИМТ 43,4. В среднем время наблюдения составило 15 недель, на протяжении которого случаев медиастинита выявлено не было. В контрольную группу, в которой остеосинтез выполнялся с помощью стальной проволоки было включено 207 пациентов. В данной группе медиастинит на фоне несостоятельности швов развился в 14,8% случаев. На основании полученных результатов, авторы рекомендуют первичный остеосинтез грудины у пациентов из группы крайне высокого риска с использованием техники пластинчатого остеосинтеза [46]. К такому же выводу в своей работе пришли *Jirasek* и соавт., которые проанализировали результаты первичного и вторичного остеосинтеза грудины с помощью пластин у пациентов из группы высокого риска [20]. В группе из 20 пациентов с первичным остеосинтезом был зарегистрирован 1 случай стерильного механического диастаза, другие пациенты зажили без осложнений. В группе из 20 пациентов с вторичным остеосинтезом, послеоперационный свищ развился в 2 случаях, и в 1 случае развился некроз мягких тканей при сохранении стабильности грудины. Из всех 40 пациентов, кому был выполнен остеосинтез с применением пластин, только 1 пациенту потребовалась эксплантация системы. Из-за экономических, финансовых и временных затрат (по сравнению со стальной проволокой), в настоящее время, остеосинтез с помощью пластин, как метод первичного остеосинтеза, в основном применяется у пациентов с множественными факторами риска несостоятельности остеосинтеза грудины, а также, в случае вторичного шва грудины при несостоятельности первичных проволочных швов, с фрагментацией отломков, т. е. сложные вторичные швы грудины [51]. *Kalab* продемонстрировал возможность применения пластин при вторичном остеосинтезе не только для прямого сближения грудины. В случаях с большими дефектами грудины, авторы достигли хороших клинических результатов за счет фиксации пластинами аллогенных костных имплантов [21].

Среди потенциальных негативных факторов остеосинтеза с помощью пластин, является риск развития пневмоторакса, травм сердца, шунтов, легких, за счет неадекватного подбора длины фиксирующих винтов во время имплантации. Этот риск значительно снижается при использовании специализированных измерителей, измеряющих толщину грудины, для подбора адекватной длины фиксирующих винтов. Еще один негативный фактор применения пластин является сложная ревизия средостения при неотложных состояниях и их эксплантация. Поэтому некоторые производители оснастили свои продукты системами аварийного раскрытия (например, *Titanium Sternal Fixation System*, *DePuy Synthes*), позволяющие произвести быстрый доступ по линии исходной стернотомии (рис.10). Третий негативный фактор применения пластин – высокая цена данных систем. Разница стоимости остеосинтеза с применением пластин и стальной проволоки может достигать сотен раз. Однако *Graf* [17] в своем исследовании демонстрирует, что абсолютные затраты на лечение пациентов после реваскуляризации миокарда с глубокой раневой инфекцией в три раза больше по сравнению с пациентами, пролечившимися без осложнений. Использование пластин в группах крайне высокого риска (с точки зрения послеоперационных осложнений) могут привести к общей экономии средств. Однако исследований, точно сравнивающих экономическую составляющую применения пластин – в настоящее время нет.

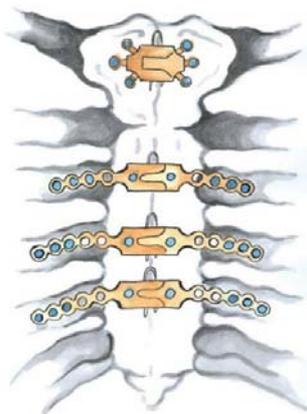


Рис. 10. Система остеосинтеза пластинами *Titanium Sternal Fixation System*

б) *Зажимы*. Системы грудных зажимов обычно упоминают среди методов так называемой жесткой фиксации. По этой причине некоторые авторы причисляют их к методам пластинчатого остеосинтеза [27]. В отличие от пластин, они устанавливаются парастернально и не фиксируются с помощью шурупов. Грудные зажимы обычно делятся на две подгруппы, различающиеся способом фиксации. Механические зажимы оснащены центральным винтом, который затягивается для стабилизации зажима. Представителем этой группы является, например, *Talon* система (*Rapid Sternal Closure, KLS Martin*, рис.11).

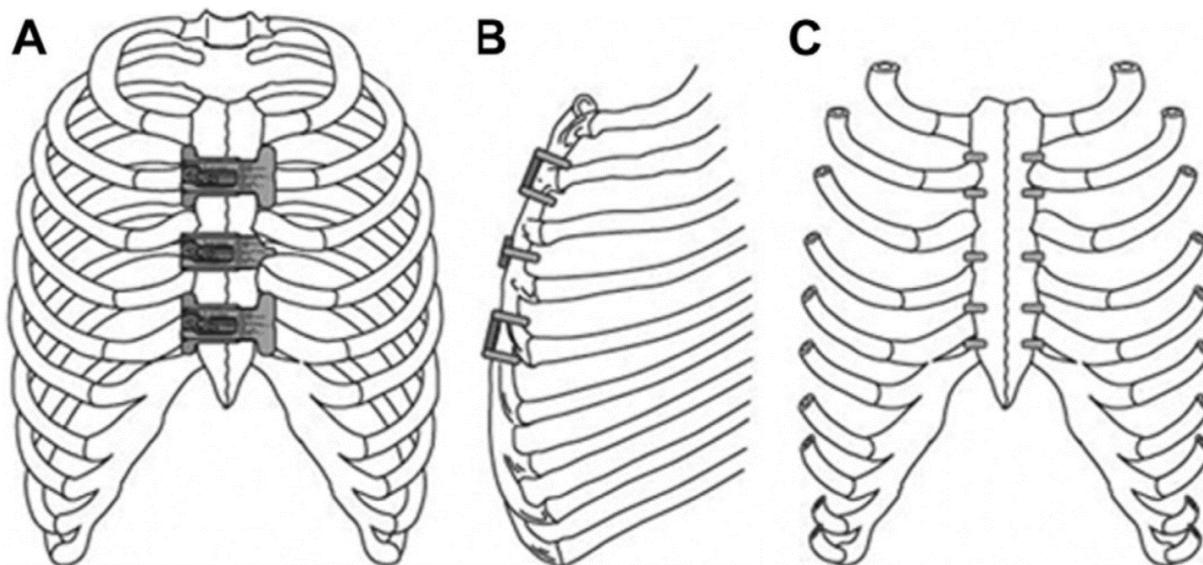


Рис.11. Система фиксации *Talon*

Вторая подгруппа представлена термореактивными (нитиноловыми) зажимами (например, *Flexigrip, Praesidia SRL, Bologna*, Италия, рис.12), которые являются гибкими и моделируемыми при охлаждении и нагревании. Для имплантации зажимы охлаждаются что приводит к их расширению, после имплантации, зажимы нагреваются до температуры тела и принимают изначальную форму и, таким образом, происходит фиксация и стабилизация грудины [36].

Bennet-Guerrero [5] в своем исследовании разделил 51 пациента с высоким риском осложнений после стернотомии на группу с остеосинтезом системой *Talon* (28 пациентов) и группу остеосинтеза с применением стальных проволочных швов (23 пациента). По результатам сравнения оказалось, что пациенты с системой *Talon* показали лучшие параметры вентиляции легких, меньшую послеоперационную боль и большую мышечную силу, что привело к сокращению продолжительности госпитализации. *Levin* описывает применение системы *Talon* в группе из 42 человек с высоким риском осложнений. Ни в предыдущем исследовании, ни в этом исследовании случаев нестабильности грудины или медиастинита зафиксировано не было [27].



Рис. 12. Нитиноловые зажимы *Flexigrips*

Bejko сравнил 1072 пациента с остеосинтезом выполненным по методике парастернального шва стальной проволокой, с группой из 572 пациентов, у которых для остеосинтеза грудины использовались зажимы из нитинола *Flexigrips*. Количество несостоятельности грудины было значительно выше в группе пациентов с проволочным швом (4,1% против 1,7%). *Bejko* в своем исследовании также оценил эко-

номические факторы и пришел к заключению, что использование нитиновых зажимов *Flexigrips* привело к абсолютным экономическим затратам в размере 510 864 евро [4]. Преимущество зажимов грудины перед пластинами, как метода жесткой фиксации, заключается в более простой методике имплантации и отсутствии значительного выделения тканей для подготовки операционного поля при имплантации, что снижает наносимую хирургическую травму.

Заключение. В данном обзоре была поставлена цель – осветить основные современные базовые методы первичного остеосинтеза грудины, представленные в настоящее время на рынке и, имеющие опубликованные результаты применения в литературе. Однозначной рекомендации единственного универсального рутинного метода, позволяющего устранить риск развития нестабильности и глубокой раневой инфекции и одновременно технически и финансово нетребовательного, – на сегодняшний день не существует. Очевидно, что чем выше надежность метода, тем выше его техническая сложность и / или финансовая составляющая. Тем не менее, даже методы с наибольшей надежностью остеосинтеза не исключают рисков развития нестабильности грудины и глубокой раневой инфекции. На основании данных обзора и с учетом технической сложности и экономической стоимости отдельных методов, можно сформулировать следующие рекомендации: 1) Применение нитей для остеосинтеза является нежелательным. Кроме случаев применения *PDS* нитей у детей и у астенических пожилых пациентов с остеопорозом грудины; 2) Для большинства пациентов метод остеосинтеза грудины с помощью стальной проволоки остается вариантом выбора, предпочтительно применение парастеральных швов или чередующихся парастеральных и трансстеральных швов с минимальным количеством петель 8 или более; 3) Для пациентов с множественными факторами риска несостоятельности грудины, подходит использование кабельных систем или хомутовых систем, или комбинации этих методов с проволочным швами; 4) В случаях пациентов с крайне высоким риском несостоятельности грудины с ожирением и полиморбидными заболеваниями, рассмотренные исследования дают четкие рекомендации применения при первичном остеосинтезе грудины жестких методов фиксации (пластины для остеосинтеза или стеральные зажимы); 5) В случаях тяжелых вторичных остеосинтезов с фрагментацией грудины и / или значимых дефектов грудины предпочтительно применение пластин для остеосинтеза.

Выбор метода первичного остеосинтеза грудины обычно всегда находится в компетенции оператора. Он должен выбрать наиболее подходящую методику с точки зрения факторов риска, максимально обеспечивающую стабильность грудины после остеосинтеза. Однако, хотелось бы рекомендовать к ознакомлению работу *McGregor* [34], в которой он, основываясь на результатах биомеханического исследования сил, воздействующих на грудину, подчеркивает необходимость максимального укрепления грудины в области мечевидного отростка, где влияние воздействующих сил наиболее велико.

Также стоит отметить крайнюю важность работы с пациентом в послеоперационном периоде, разъяснения (часто неоднократного) правил и режима для пациентов после срединной стернотомии, важность применения послеоперационного бандажа на грудную клетку, т.к. даже самая надежная методика предполагает соблюдение этих правил, и в случаи их несоблюдения не сможет обеспечить искомым клинический результат.

Литература

1. Варламов А.Г. Способ сшивания остеопорозной грудины после срединного стернотомического доступа. Патент RU 2745239 C1 МПК А61В17/00 (2021.03)
2. Далинин В.В. Способ ушивания грудины после срединной стернотомии. Патент RU 2735985 C1 МПК А61В17/56 (2020.11)
3. Шумаков Д.В., Зыбин Д.И., Донцов В.В., Попов М.А., Агафонов Е.Г. Способ восстановления целостности грудины после стернотомии. Патент RU 2753389 C1 МПК А61В 17/82 (2021.02)
4. Bejko J., Tarzia V., De Franceschi M. Nitinol flexigrip sternal closure system and chest wound infections: Insight from a comparative analysis of complications and costs // *The Annals of Thoracic Surgery* 2012. №94. P. 1848–1853.
5. Bennett-Guerrero E., Phillips-Bute B., Waweru P.M. Pilot study of sternal plating for primary closure of the sternum in cardiac surgical patients. *Innovations // Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery*. 2011. №6. P. 382–388.
6. Bhattacharya S., Sau I., Mohan M. Bands for closure of midline sternotomy leads to better wound healing // *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*. 2007. №15. P. 59–63.
7. Borger M.A., Rao V., Weisel R.D. Deep sternal wound infection: Risk factors and outcomes // *The Annals of Thoracic Surgery*. 1998. №65. P. 1050–1056.
8. Careaga Reyna G., Aguirre Baca G.G., Medina Concebida L.E. Risk factors for mediastinitis and sternal dehiscence after cardiac surgery // *Revista Española de Cardiología (English Edition)*. 2006. №59. P. 130–135.

9. Casha A. A biomechanical study of median sternotomy closure techniques // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 1999. №15. P. 365–369.
10. Casha A. Fatigue testing median sternotomy closures // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2001. №19. P. 249–253.
11. Cheng W., Cameron D.E., Warden K.E. Biomechanical study of sternal closure techniques // *The Annals of Thoracic Surgery*. 1993. №55. P. 737–740.
12. Cohen C.D.J., Griffin L.V. A biomechanical comparison of three sternotomy closure techniques // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2002. №73. P. 563–568.
13. Dogan O.F., Oznur A., Demircin M. A new technical approach for sternal closure with suture anchors (Dogan Technique) // *The Heart Surgery Forum*. 2004. №7. P. E328–E332.
14. Eich B.S., Heinz T.R. Treatment of sternal nonunion with the Dall-Miles cable System // *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2000. №106. P. 1075–1078.
15. Franco S., Herrera A.M., Atehortua M. Use of steel bands in sternotomy closure: implications in high-risk cardiac surgical population // *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2008. №8. P. 200–205.
16. Glennie S., Shepher D., Jutley R. Strength of wired sternotomy closures: effect of number of wire twists // *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2003. №2. P. 3–5.
17. Graf K., Ott E., Vonberg R-P. Economic aspects of deep sternal wound infections // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2010. №37. P. 893–896.
18. Grapow M.T., Melly L.F., Eckstein F.S. A new cable-tie based sternal closure system: description of the device, technique of implantation and first clinical evaluation // *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2012. №7. P. 59.
19. Immer F.F., Durrer M., Mühlemann K.S. Deep sternal wound infection after cardiac surgery: Modality of treatment and outcome // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005. №80. P. 957–961.
20. Jirásek V., Škuřil A., Marounek J., a kol. Výsledky primárních a sekundárních sutur sternu s použitím dlahové osteosyntézy – soubor 40 pacientů. Abstrakt. 63. V. sjezd České společnosti kardiologické chirurgie, Brno, 2012.
21. Kaláb M., Molitor M., Kubešová B. Use of allogeneous bone graft and osteosynthetic stabilization in treatment of massive post-sternotomy defects // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012. №41. P. e182–e184.
22. Kamiya H., Al-maisary S.S.A., Akhyari P. The number of wires for sternal closure has a significant influence on sternal complications in high-risk patients // *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2012. №15. P. 665–670.
23. Keçeligil H.T., Kolbakır F., Akar H., Konuralp C., Demir Z. Sternal closure with resorbable synthetic loop suture material in children // *Journal of Pediatric*. 2000. №35. P. 1309–1311.
24. Kiessling A.-H., Isgro F., Weisse U. Advanced sternal closure to prevent dehiscence in obese patients // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005. №80. P. 1537–1539.
25. Kreitmann B., Riberi A., Metras D. Evaluation of an absorbable suture for sternal closure in pediatric cardiac surgery // *J Cardiac Surgery*. 1992. №7. P. 254–256.
26. Kun H., Xiubin Y. Median sternotomy closure: review and update research // *Journal of Medical Colleges of PLA*. 2009. №24. P. 112–117.
27. Levin L.S., Miller A.S., Gajjar A.H. An Innovative Approach for Sternal Closure // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2010. №89. P. 1995–1999.
28. Losanoff J.E., Collier A.D., Wagner-Mann C.C. Biomechanical comparison of median sternotomy closures // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2004. №77. P. 203–209.
29. Losanoff J.E., Richman B.W., Jones J.W. Which is the best sternotomy closure technique? // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2003. №75. P. 1065.
30. Luciani N., Anselmi A., Gandolfo F. Polydioxanone sternal sutures for prevention of sternal dehiscence // *J Cardiac Surgery*. 2006. №21. P. 580–584.
31. Marissen R. A comparison between the mechanical behaviour of steel wires and ultra high molecular weight polyethylene cables for sternum closure // *MSA*. 2011. №02. P. 1367–1374.
32. Mauermann W.J., Sampathkumar P., Thompson R.L. Sternal wound infections // *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2008. №22. P. 423–436.
33. McGiffin D.C., Alonso J.E., Zorn G.L. Sternal approximation for bilateral anterolateral transsternal thoracotomy for lung transplantation // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005. №79. P. e19–e20.
34. McGregor W.E., Trumble D.R., Magovern J.A. Mechanical analysis of midline sternotomy wound closure // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 1999. №117. P. 1144–1150
35. Mulch J., Stertmann W., Kling D. Closure of longitudinal sternotomy with absorbable sutures // *Thorac Cardiovasc Surg*. 1986. №34. P. 191–193.
36. Negri A., Manfredi J., Terrini A., Rodella G., Bisleri G., El Quarra S. Prospective evaluation of a newsternal closure method with thermoreactive clips // *Eur J Cardiothorac Surg*. 2002. № 22. P. 571–575.
37. Orgill DP. Surgical management of sternal wound complications. URL: <http://www.uptodate.com/contents/surgical-management-of-sternal-wound-complications>.

38. Ozaki W., Buchman S.R., Iannetoni M.D. Biomechanical study of sternal closure using rigid fixation techniques in human cadavers // *The Annals of Thoracic Surgery*. 1998. №65. P. 1660–1665.
39. Puc M.M., Antinori C.H., Villanueva D.T. Ten-year experience with Mersilene-reinforced sternal wound closure // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2000. №70. P. 97–99.
40. Rainer A., Spadaccio C., Sedati P. Electrospun hydroxyapatite-functionalized PLLA scaffold: Potential applications in sternal bone healing // *Annals of Biomedical Engineering*. 2011. №39. P. 1882–1890.
41. Robicsek F., Dangherty H., Cook J. The prevention and treatment of sternum separation following open heart surgery // *J Thorac Cardiovasc Surg*. 1977. №73. P. 267–268.
42. Saito T., Iguchi A., Sakurai M. Biomechanical study of a poly-L-lactide (PLLA) sternal pin in sternal closure after cardiothoracic surgery // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2004. №77. P. 684–687.
43. Schimmer C., Reents W., Berneder S. Prevention of sternal dehiscence and infection in high-risk patients: A prospective randomized multicenter trial // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2008. №86. P. 1897–1904.
44. Schwab R., Hähnel J., Paek S. Sternal Closure with Resorbable Synthetic Suture Material in Children // *Thorac Cardiovasc Surg*. 1994. №42. P. 185–186.
45. Shaikhezai K., Robertson F.L., Anderson S.E. Does the number of wires used to close a sternotomy have an impact on deep sternal wound infection? // *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2012. №15. P. 219–222.
46. Song D.H., Lohman R.F., Renucci J.D. Primary sternal plating in high-risk patients prevents mediastinitis // *European Journal of Cardio-Thoracic*. 2004. №26. P. 367–372.
47. Soroff H.S., Hartman A.R., Pak E. Improved sternal closure using steel bands: Early experience with three-year follow-up // *The Annals of Thoracic Surgery*. 1996. №61. P. 1172–1176.
48. Usui A., Oshima H., Akita T. Polydioxane (PDS) cord has insufficient reliability to securely close the sternum // *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 2006. №131. P. 1174–1175.
49. Van Sterkenburg S., Delariviere A., Vermeulen F. Sternal fixation with resorbable suture material // *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 1990. №4. P. 345.
50. Wangsgard C., Cohen D.J., Griffin L.V. Fatigue testing of three peristernal median sternotomy closure techniques // *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2008. №3. P. 52.
51. Wu L.C., Renucci J.D., Song D.H. Sternal nonunion: A review of current treatments and a new method of rigid fixation // *Annals of Plastic Surgery*. 2005. №54. P. 55–58.
52. Zurbrugg H.R., Freestone T., Bauer M. Reinforcing the conventional sternal closure // *The Annals of Thoracic Surgery*. 2000. №69. P. 1957–1958.

References

1. Varlamov A.G. Sposob sshivaniya osteoporoznoj grudiny posle sredinnogo sternotomi-cheskogo dostupa [Method of stitching the osteoporotic sternum after median sternotomic access]. Patent Russian Federation RU 2745239 C1 MPK A61B17/00 (2021.03)
2. Dalinin V.V. Sposob ushivaniya grudiny posle sredinnoj sternotomii [Method of suturing the sternum after median sternotomy]. Patent Russian Federation RU 2735985 C1 MPK A61B17/56 (2020.11) Russian
3. Shumakov D.V., Zybin D.I., Doncov V.V., Popov M.A., Agafonov E.G. Sposob vosstanovleniya celostnosti grudiny posle sternotomii [Method of restoring the integrity of the sternum after sternotomy]. Patent Russian Federation RU 2753389 S1 MPK A61V 17/82 (2021.02) Russian
4. Bejko J, Tarzia V, De Franceschi M. Nitinol flexigrip sternal closure system and chest wound infections: Insight from a comparative analysis of complications and costs. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2012;94:1848-53.
5. Bennett-Guerrero E, Phillips-Bute B, Waweru PM. Pilot study of sternal plating for primary closure of the sternum in cardiac surgical patients. *Innovations: Technology and Techniques in Cardiothoracic and Vascular Surgery* 2011;6:382-8
6. Bhattacharya S, Sau I, Mohan M. Bands for closure of midline sternotomy leads to better wound healing. *Asian Cardiovascular and Thoracic Annals*. 2007;15:59-63.
7. Borger MA, Rao V, Weisel RD. Deep sternal wound infection: Risk factors and outcomes. *The Annals of Thoracic Surgery*. 1998;65:1050-6.
8. Careaga Reyna G, Aguirre Baca GG, Medina Concebida LE. Risk factors for mediastinitis and sternal dehiscence after cardiac surgery. *Revista Española de Cardiología (English Edition)*. 2006;59:130-5
9. Casha A. A biomechanical study of median sternotomy closure techniques. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 1999;15:365-9.
10. Casha A. Fatigue testing median sternotomy closures. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2001;19:249-53.
11. Cheng W, Cameron DE, Warden KE. Biomechanical study of sternal closure techniques. *The Annals of Thoracic Surgery*. 1993;55:737-40.

12. Cohen CDJ, Griffin LV. A biomechanical comparison of three sternotomy closure techniques. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2002;73:563-8.
13. Dogan OF, Oznur A, Demircin M. A new technical approach for sternal closure with suture anchors (Dogan Technique). *The Heart Surgery Forum*. 2004;7:E328-E32.
14. Eich BS, Heinz TR. Treatment of sternal nonunion with the Dall-Miles cable System. *Plastic and Reconstructive Surgery*. 2000;106:1075-8.
15. Franco S, Herrera AM, Atehortua M. Use of steel bands in sternotomy closure: implications in high-risk cardiac surgical population. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2008;8:200-5.
16. Glennie S, Shepher D, Jutley R. Strength of wired sternotomy closures: effect of number of wire twists. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2003;2:3-5.
17. Graf K, Ott E, Vonberg R-P. Economic aspects of deep sternal wound infections. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery*. 2010;37:893-6.
18. Grapow MT, Melly LF, Eckstein FS. A new cable-tie based sternal closure system: description of the device, technique of implantation and first clinical evaluation. *Journal of Cardiothoracic Surgery*. 2012;7:59.
19. Immer FF, Durrer M, Mühlemann KS. Deep sternal wound infection after cardiac surgery: Modality of treatment and outcome. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005;80:957-61.
20. Jirásek V, Škuřil A, Marounek J, a kol. Výsledky primárních a sekundárních sutur sternu s použitím dlahové osteosyntézy – soubor 40 pacientů. Abstrakt. 63. V. sjezd České společnosti kardiologické chirurgie, Brno; 2012.
21. Kaláb M, Molitor M, Kubešová B. Use of allogeneous bone graft and osteosynthetic stabilization in treatment of massive post-sternotomy defects. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2012;41: e182-e4.
22. Kamiya H, Al-maisary SSA, Akhyari P. The number of wires for sternal closure has a significant influence on sternal complications in high-risk patients. *Interact CardioVasc Thorac Surg*. 2012;15:665-70.
23. Keçeligil HT, Kolbakır F, Akar H, Konuralp C, Demir Z. Sternal closure with resorbable synthetic loop suture material in children. *Journal of Pediatric*. 2000;35:1309-11.
24. Kiessling A-H, Isgro F, Weisse U. Advanced sternal closure to prevent dehiscence in obese patients. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005;80:1537-9.
25. Kreitmam B, Riberi A, Metras D. Evaluation of an absorbable suture for sternal closure in pediatric cardiac surgery. *J Cardiac Surgery*. 1992;7:254-6.
26. Kun H, Xiubin Y. Median sternotomy closure: review and update research. *Journal of Medical Colleges of PLA*. 2009;24:112-7.
27. Levin LS, Miller AS, Gajjar AH. An Innovative Approach for Sternal Closure. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2010;89:1995-9
28. Losanoff JE, Collier AD, Wagner-Mann CC. Biomechanical comparison of median sternotomy closures. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2004;77:203-9.
29. Losanoff JE, Richman BW, Jones JW. Which is the best sternotomy closure technique? *The Annals of Thoracic Surgery*. 2003;75:1065.
30. Luciani N, Anselmi A, Gandolfo F. Polydioxanone sternal sutures for prevention of sternal dehiscence. *J Cardiac Surgery*. 2006;21:580-4.
31. Marissen R. A comparison between the mechanical behaviour of steel wires and ultra high molecular weight polyethylene cables for sternum closure. *MSA* 2011;02:1367-74.
32. Mauermann WJ, Sampathkumar P, Thompson RL. Sternal wound infections. *Best Practice & Research Clinical Anaesthesiology*. 2008;22:423-36.
33. McGiffin DC, Alonso JE, Zorn GL. Sternal approximation for bilateral anterolateral transsternal thoracotomy for lung transplantation. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2005;79:e19-e20.
34. McGregor WE, Trumble DR, Magovern JA. Mechanical analysis of midline sternotomy wound closure. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery*. 1999;117:1144-50
35. Mulch J, Stertmann W, Kling D. Closure of longitudinal sternotomy with absorbable sutures. *Thorac Cardiovasc Surg*. 1986;34:191-3.
36. Negri A, Manfredi J, Terrini A, Rodella G, Bisleri G, El Quarra S. Prospective evaluation of a new sternal closure method with thermoreactive clips. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2002; 22: 571-5
37. Orgill DP. Surgical management of sternal wound complications. Available from: <http://www.uptodate.com/contents/surgical-management-of-sternal-wound-complications>.
38. Ozaki W, Buchman SR, Iannetoni MD. Biomechanical study of sternal closure using rigid fixation techniques in human cadavers. *The Annals of Thoracic Surgery*. 1998;65:1660-5.
39. Puc MM, Antinori CH, Villanueva DT. Ten-year experience with Mersilene-reinforced sternal wound closure. *The Annals of Thoracic Surgery*. 2000;70:97-9.
40. Rainer A, Spadaccio C, Sedati P. Electrospun hydroxyapatite-functionalized PLLA scaffold: Potential applications in sternal bone healing. *Annals of Biomedical Engineering*. 2011;39:1882-90.

41. Robicsek F, Dangherty H, Cook J. The prevention and treatment of sternum separation following open heart surgery. *J Thorac Cardiovasc Surg.* 1977;73:267-68
42. Saito T, Iguchi A, Sakurai M. Biomechanical study of a poly-L-lactide (PLLA) sternal pin in sternal closure after cardiothoracic surgery. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2004;77:684-7.
43. Schimmer C, Reents W, Berneder S. Prevention of sternal dehiscence and infection in high-risk patients: A prospective randomized multicenter trial. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2008;86:1897-904.
44. Schwab R, Hähnel J, Paek S. Sternal Closure with Resorbable Synthetic Suture Material in Children. *Thorac Cardiovasc Surg.* 1994;42:185-6.
45. Shaikhrezai K, Robertson FL, Anderson SE. Does the number of wires used to close a sternotomy have an impact on deep sternal wound infection? *Interact CardioVasc Thorac Surg.* 2012;15:219-22.
46. Song DH, Lohman RF, Renucci JD. Primary sternal plating in high-risk patients prevents mediastinitis. *European Journal of Cardio-Thoracic.* 2004;26:367-2.
47. Soroff HS, Hartman AR, Pak E. Improved sternal closure using steel bands: Early experience with three-year follow-up. *The Annals of Thoracic Surgery.* 1996;61:1172-6.
48. Usui A, Oshima H, Akita T. Polydioxane (PDS) cord has insufficient reliability to securely close the sternum. *The Journal of Thoracic and Cardiovascular Surgery.* 2006;131:1174-5.
49. Van Sterkenburg S, Delariviere A, Vermeulen F. Sternal fixation with resorbable suture material. *European Journal of Cardio-Thoracic Surgery.* 1990;4:345.
50. Wangsgard C, Cohen DJ, Griffin LV. Fatigue testing of three peristernal median sternotomy closure techniques. *Journal of Cardiothoracic Surgery.* 2008;3:52.
51. Wu LC, Renucci JD, Song DH. Sternal nonunion: A review of current treatments and a new method of rigid fixation. *Annals of Plastic Surgery.* 2005;54:55-8.
52. Zurbrugg HR, Freestone T, Bauer M. Reinforcing the conventional sternal closure. *The Annals of Thoracic Surgery.* 2000;69:1957-8.

Библиографическая ссылка:

Карпенко И.Г., Лишук А.Н., Колтунов А.Н., Есион Г.А., Иванов Д.В. Современные методы остеосинтеза грудины после продольной срединной стернотомии (обзор литературы) // Вестник новых медицинских технологий. Электронное издание. 2022. №2. Публикация 1-4. URL: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/1-4.pdf> (дата обращения: 28.03.2022). DOI: 10.24412/2075-4094-2022-2-1-4*

Bibliographic reference:

Karpenko IG, Lischuk AN, Koltunov AN, Esion GA, Ivanov DV. Sovremennyye metody osteosinteza grudiny posle prodol'noj sredinnoj sternotomii (obzor literatury) [Modern methods of sternal closure after median sternotomy (literature review)]. *Journal of New Medical Technologies, e -edition.* 2022 [cited 2022 Mar 28];2 [about 14 p.]. Russian. Available from: <http://www.medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/1-4.pdf>. DOI: 10.24412/2075-4094-2022-2-1-4

* номера страниц смотреть после выхода полной версии журнала: URL: <http://medtsu.tula.ru/VNMT/Bulletin/E2022-2/e2022-2.pdf>