

Хирургические методы стабилизации грудной клетки при множественных переломах ребер

Е.А. Тарабрин^{1,2}, В.Г. Котанджян² ✉, А.А. Офицеров²

Торакальное хирургическое отделение

¹ ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» МЗ РФ
Российская Федерация, 119991, Москва, ул. Большая Пироговская, д. 2, стр. 4

² ГБУЗ «Научно-исследовательский институт скорой помощи им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»
Российская Федерация, 129090, Москва, Б. Сухаревская пл., д. 3

✉ Контактная информация: Котанджян Вазген Гагикович, раведующий торакальным хирургическим отделением ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ». Email: dr.kotanjjan@yandex.ru

РЕЗЮМЕ

Закрытая травма груди занимает одно из лидирующих мест среди всех повреждений. Переломы ребер могут приводить к формированию флотирующих фрагментов грудной стенки – «реберному клапану». При множественных переломах ребер с начала XX века использовались хирургические методы стабилизации грудной клетки, которые в последние десятилетия стали более популярными.

Хирургическое лечение позволяет значительно уменьшить болевой синдром, ускорить восстановление респираторной функции и тем самым снизить частоту развития пневмонии, потребность в искусственной вентиляции легких и трахеостомии и сократить период нахождения в стационаре. Различают четыре основные хирургические методики лечения, использующие: 1) тракцию грудной клетки; 2) аппараты внешней фиксации; 3) постоянную внутреннюю фиксацию; 4) наkostный остеосинтез пластинами. В данном исследовании были дополнительно выделены методика, осуществляемая через торакоскопический доступ, и методика, использующая биоразлагаемые материалы. Хирургические возможности в лечении пациентов со множественными переломами ребер не исчерпаны и, вероятно, будут совершенствоваться по мере достижений в технологической сфере.

Ключевые слова:

osteosynthesis of ribs, closed chest trauma, rib fractures

Ссылка для цитирования

Тарабрин Е.А., Котанджян В.Г., Офицеров А.А. Хирургические методы стабилизации грудной клетки при множественных переломах ребер. *Журнал им. Н.В. Склифосовского неотложная медицинская помощь*. 2023;12(1):110–121. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2023-12-1-110-121>

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Благодарность, финансирование

Исследование не имеет спонсорской поддержки

ЗТГ — закрытая травма груди
ИВЛ — искусственная вентиляция легких
ОРИТ — отделение реанимации и интенсивной терапии
ОФВ1 — объем форсированного выдоха за 1 секунду
ПДКВ — положительное давление в конце выдоха

CPAP — неинвазивная искусственная вентиляция с постоянным позитивным давлением в дыхательных путях
VAS — визуальная аналоговая шкала

АКТУАЛЬНОСТЬ

Травма груди в 25% случаев является причиной летальности среди всех умерших от травмы пациентов [1]. Больше половины повреждений приходится на закрытую травму груди (ЗТГ) [2]. Переломы ребер встречаются в 39% повреждений [3]. По данным *Martin T.J. et al.* (2019), в США за 2018 г. выявлено 249 тысяч пациентов с переломами ребер с тенденцией к увеличению количества пострадавших, нуждающихся в госпитализации [4]. В Китае эта цифра приближается к 2 млн [5]. В России нет общей базы данных по переломам ребер, однако, учитывая высокий уровень травматизма вследствие дорожно-транспортных происшествий, данная проблема также актуальна [6].

Большинство пациентов с переломами ребер получают консервативную терапию с хорошими результатами. В случае множественных переломов ребер и (или) флотирующей грудной клетки смертность может достигать 22% и с каждым дополнительным сломанным ребром этот показатель растет [7]. В этом случае пациенты нуждаются в стабилизации реберного каркаса для осуществления адекватного дыхания. Начиная с 50-х годов широкое применение приобрел способ пневматической стабилизации — искусственная вентиляция легких (ИВЛ) с использованием положительного давления в конце выдоха (ПДКВ) [3]. Параллельно с начала XX века развивались хирургические методы

стабилизации грудной клетки [8], которые в последние десятилетия стали более популярными. В этой статье представлен литературный обзор различных методик фиксации ребер у пациентов с множественными переломами.

ПАТОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ПЕРЕЛОМОВ РЕБЕР И НЕСТАБИЛЬНОЙ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

При закрытой травме кинетическая энергия воздействует преимущественно на костный каркас груди, одной из главных ролей которого является защита внутренних органов. С количеством сломанных ребер растет вероятность неблагоприятного исхода. Так, при наличии переломов от 1 до 5 ребер смертность достигает 5,8–10%, а при 6 и более — до 15% [9]. Причина такого прогноза многофакторная. Развитие дыхательной дисфункции возникает вследствие болевого синдрома, парадоксального дыхания, вторичного повреждения внутренних органов отломками ребер, ушиба легких. Первым фактором, провоцирующим развитие патофизиологического каскада дыхательной дисфункции у пациентов с переломами ребер, является болевой синдром, генез развития которого связан с активацией ноцицептивной системы. При воздействии травмирующего фактора на периферические окончания ноцицепторов, расположенных в зоне удара и местах переломов ребер, формируется болевой импульс, который передается по миелинизированным А-дельта волокнам и немиелинизированным С-афферентам в дорзальные рога спинного мозга. Ноцицептивные нейроны дорзальных рогов спинного мозга формируют восходящие тракты, осуществляющие проведение ноцицептивных сигналов к различным подкорковым отделам головного мозга и к ядрам таламуса. Возникает ощущение боли [10].

В ответ на боль организм «изолирует» область повреждения путем сокращения мышц грудной стенки и ограничения движения в зоне переломов, что приводит к нарушению экскурсии грудной клетки и, как следствие, к нарушению вентиляции в прилегающей легочной паренхиме [11]. При отсутствии адекватного кашля и нарушении мукоцилиарного транспорта возможно формирование слизистых пробок, ателектаза и развитие пневмонии при бактериальной колонизации [12].

Помимо болевого синдрома переломы ребер могут приводить к формированию флотирующих фрагментов грудной стенки — «реберному клапану». При изолированной травме подобное осложнение может развиваться до 20% случаев, при сочетанной — до 70% [13]. При этом создаются условия, при которых свободный участок грудной стенки движется в противоположном направлении движению грудной стенки, что снижает эффективность дыхания и может приводить к газообменным нарушениям [14]. Нестабильность грудной клетки практически в 50% приводит к дыхательной недостаточности и необходимости пневматической стабилизации — проведению искусственной вентиляции с положительным давлением в дыхательных путях на выдохе [15]. При патологоанатомическом исследовании умерших от ЗТГ в более чем 50% случаев выявлялась флотирующая грудная клетка с гемо- и пневмотораксом [16], при этом у подавляющего большинства погибших выявлялись пластинчатые ателектазы, проекционно совпадающие с зонами флотации [17].

Нестабильность грудной стенки неразрывно связана с ушибом легкого, как одним из факторов развития дыхательной недостаточности. Механизм возникновения ушиба легкого до конца не ясен. Основываясь на физических законах, предполагается, что ускорение и замедление тела человека может вызвать повреждение легочной ткани даже без существенного столкновения, наподобие сильного сжатия [18]. Весь процесс можно разделить на три составные части. Иннерционный эффект — альвеолярная ткань повреждается в результате сдвигающей силы структур корня легкого, так как ткани разной плотности по-разному ускоряются и замедляются [19]. Эффект расслоения — мелкие разрывы в местах, где ударная волна встречается с различными граничащими поверхностями [20]. Эффект имплозии — ударная волна сжимает газ в тканях легкого. Вслед за этим газ расширяется и приводит к возникновению микровзрывов воздушной части легкого [21]. При таких смещениях легких возникает деформация и повреждение альвеол с отрывом их от бронхиол, тем самым уменьшается дыхательная поверхность [22].

В зоне удара в альвеолах накапливается кровь и интерстициальная жидкость [23]. Практически незамедлительно в ответ на повреждение в области ушиба концентрируются воспалительные белки, что дополнительно ухудшает вентиляцию [24]. Происходит уменьшение количества сурфактанта, и альвеолы в конечном итоге разрушаются, а легочная ткань теряет свою эластичность за счет скопления патологической жидкости в ней [25]. Ушибы легких при закрытой травме встречаются в диапазоне 17–75%. Учитывая вышеописанные механизмы, может присоединиться бактериальная пневмония, частота которой при ушибах легких достигает 20% [18]. Острый респираторный дистресс-синдром также может быть осложнением ушиба легкого в 17% случаев, а при повреждении более чем 20% легочной ткани достигает 82% [26].

Отломки ребер могут повреждать различные структуры груди с формированием гемо- или пневмоторакса. Пневмоторакс наблюдается практически в половине случаев травмы груди [27], а гемоторакс — в 1/3 [28]. При множественных и флотирующих переломах такие интраплевральные осложнения определяются в 80–90% случаев [14]. Пневмоторакс возникает вследствие повреждения легочной ткани или воздухоносных путей. Наличие воздуха в плевральной полости приводит к компрессии легкого как на стороне повреждения, так и контрлатерального легкого в связи со смещением средостения в здоровую сторону, что нарушает адекватный газообмен.

Попадание крови в плевральную полость может быть связано как с повреждением легкого, так и с повреждением сосудов грудной стенки (наиболее часто межреберных) и сосудов средостения. Функциональные нарушения дыхания при гемотораксе практически не отличаются от таковых при пневмотораксе, за исключением геморрагической анемии [29]. Кроме этого, гемоторакс может развиваться при повреждении диафрагмы, которое встречается в 3% наблюдений ЗТГ [30]. Помимо гемоторакса, разрыв диафрагмы может привести к развитию диафрагмальной грыжи [31] с ущемлением и некрозом различных органов живота [32].

Таким образом, важным направлением лечения пациента с тяжелой травмой груди является восста-

новление адекватной экскурсии грудной клетки, предотвращение повреждения легкого отломками ребер и купирование последствия контузии легких.

ОСНОВНЫЕ МЕТОДЫ ЛЕЧЕНИЯ

В лечении переломов ребер, осложненных флотирующей грудной клеткой, выделяют два принципиально разных подхода: консервативный и хирургический [33]. Консервативный метод заключается в стабилизации отломков ребер путем создания повышенного внутригрудного давления за счет ПДКВ. Респираторная поддержка в данном случае может осуществляться с помощью инвазивной искусственной вентиляции или неинвазивной с постоянным позитивным давлением в дыхательных путях (CPAP) [34]. По результатам исследований CPAP позволяет сократить время пребывания пациентов в отделении реанимации и интенсивной терапии (ОРИТ), общую длительность госпитализации, а также способствует уменьшению вероятности развития нозокомиальной инфекции и снижает необходимость интубации пациента [35]. Также в 70-е годы в исследовании продемонстрированы методика ИВЛ с перемежающейся вентиляцией и ПДКВ, которая позволила сократить длительность ИВЛ и пребывания в отделении реанимации [36].

Несмотря на положительные результаты консервативного лечения с использованием «положительной пневматизации», пациентам приходилось длительное время находиться на ИВЛ. Это приводило к развитию ряда ИВЛ-ассоциированных осложнений. Стремление минимизировать вероятность развития осложнений, снизить длительность госпитализации привело к поиску более совершенных и эффективных методов лечения. В том числе хирургических.

При сравнении с хирургическими методиками, консервативное лечение связано с длительной ИВЛ, риском развития пневмонии, продолжительным пребыванием в отделении интенсивной терапии [37]. Хирургическое же лечение позволяет значительно уменьшить болевой синдром, ускорить восстановление респираторной функции. Что в свою очередь уменьшает частоту развития пневмонии, снижает потребность в ИВЛ и трахеостомии, сокращает период нахождения в ОРИТ и в стационаре в целом [38].

Решение о выборе того или иного способа лечения основывается на двух показателях: эффективности и безопасности метода. Эффективность метода лечения можно оценить по уменьшению или увеличению длительности госпитализации, длительности ИВЛ. Безопасность оценивается количеством осложнений и летальных исходов.

Различают четыре основные хирургические методики лечения: 1) использование методов тракции грудной клетки; 2) использование аппаратов внешней фиксации; 3) использование способов постоянной внутренней фиксации; 4) использование накостного остеосинтеза пластинами [39]. Также отдельно выделена группа методик, осуществляемой через торакоскопический доступ и группа методик с использованием биоразлагаемых материалов.

СТАБИЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДОВ ТРАКЦИИ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

История метода берет свое начало с 1928 года, когда Jones T. впервые опубликовал методику лечения множественных переломов ребер у ребенка. Метод

заключался в тракции реберного клапана при помощи пулевых щипцов, что позволяло уменьшить компрессию легочной ткани и риск развития ателектазов и воспалительных изменений [40]. Надо отметить, что эта методика появилась ранее, чем методика стабилизации грудной клетки посредством ИВЛ. В 1946 г. *Jaslow I.* описал методику вытяжения грудины при формировании переднего грудино-реберного клапана. Он использовал крючок от обычной вешалки, который через небольшой доступ под местной анестезией вкручивал в грудину не более чем на 5 оборотов, что позволяло не пройти за задний кортикальный слой грудины. Затем подвешивал груз к крючку через блок. Пациент должен был находиться в таком положении в течение 8 суток [41]. Вешалка стала прототипом винтов Шанца. В начале 50-х годов XX столетия американский хирург *Heroy W.* при рулевых переломах ребер вкручивал 2 металлических винта в грудину, за которые выполнял вытяжение в положении Фавлера. Обычно в течение 24 часов винты выламывались из грудины и тракция продолжалась посредством редукционных щипцов через отверстия, оставшиеся от винтов (рис. 1) [42].

Методика тракции грудной клетки приобретала различные модификации; так, венгерский хирург *Constantinescu O.* смоделировал крючок, который при разворачивании в тканях превращался в T-образный и фиксировался к металлической пластине над кожей, за счет чего и осуществлялось вытяжение (рис. 2) [43]. Существовали работы хирургов по использованию бельевых цапок, штопоров, но суть их заключалась в создании условий, при которых уменьшалась компрессия легочной ткани, увеличивалась жизненная емкость легких, уменьшался риск развития ателектазов [39].

Грязнухин Э.Г. в 2004 г. предложил вводить 4 спицы под местной анестезией при помощи дрели в тело и рукоятку грудины через межреберья с разных сторон (в плоскости грудины). Выстоящие хвостовые концы спиц изгибали у выхода из кости к центру грудины и фиксировали к одной пластинке, за которую осуществляли тракцию [44]. В 2004 г. *Balci A. et al.* продемонстрировал и сравнительные результаты лечения пациентов, которым проводилось скелетное вытяжение и лечение посредством создания ПДКВ. Было отмечено уменьшение длительности потребности в ИВЛ в 2 раза и снижение летальности в группе хирургического лечения более чем на 10% [45]. Н.Г. Ушаков (2010) также добился



Рис. 1. Тракция за грудину после наложения редукционных щипцов. (Фотография заимствована из статьи *Heroy W.W.*)
Fig. 1. Traction of sternum after the installation of reduction forceps. (The photo from the article of *Heroy W.W.*)



Рис. 2. Оригинальная методика фиксации ребер Константинуеску. (Фотографии заимствованы из статьи Constantinescu O.)
Fig. 2. The original Constantinescu's method of fixing ribs. (The photos from the article of Constantinescu O.)

положительных результатов, используя данный метод. Отметил уменьшение длительности вентиляции на 9 суток и снижение летальности на 14,7% [46].

СТАБИЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АППАРАТОВ ВНЕШНЕЙ ФИКСАЦИИ

Методика использования аппаратов внешней фиксации развивалась одновременно с методами тракции грудной клетки. В 1967 г. Н.К. Голобородько предложил методику подшивания отломков ребер к фиксирующей шине, расположенной на коже пациента и выступающей за линию переломов более чем на 5 см. Но этот способ не представлялось возможным применить у пациентов с двусторонними переломами ребер и переломом грудины [47].

В 1977 г. А.П. Паниотов предложил методику остеосинтеза при помощи введения в плевральную полость через центр флотирующего участка грудной клетки специального троакара, имеющего на конце складывающийся шарнирный четырехзвенник. После заведения троакара в плевральную полость плечики раскрывались, упираясь во внутреннюю поверхность пораженных ребер. Снаружи троакар фиксировался к пластмассовой панели дугообразной формы гайками, а концы панели должны были выступать за пределы флотирующего участка [48].

В 2001 г. хорватский хирург *M. Glavas* предложил фиксировать флотирующий фрагмент с помощью протеза из костного цемента *Pallacos*. Протез располагался над флотирующим сегментом грудной стенки по касательной с уровня от верхнего до неповрежденных ребер. Ребра крепились к протезу посредством швов или проволоки [49]. По эффективности хорошо зарекомендовал себя внеочаговый экстраплевральный остеосинтез. Аппарат наружной фиксации включает в себя заклепочные элементы или реберные крючки, несущую штангу, кронштейны и стабилизирующую штангу. Стабилизирующая штанга прикрепляется к груди, а флотирующий фрагмент к несущей штанге. Система скрепляется при помощи кронштейнов и гаек [50].

В НИИ СП им. Н.В. Склифосовского в 2016 г. был запатентован аппарат для наружной фиксации множественных и флотирующих переломов ребер, ключицы и грудины. Конструкция представляла собой стержни, которые на внутреннем конце имели резьбу, посредством которой ввинчивались в наружный кортикальный слой кости ребра, а наружные концы прикреплялись к пластинчатой штанге гайками (патент № RU 02637834 C2 20171207, автор Шарипов И.А., Хубутия М.Ш., Тарабрин Е.А., Шахшаев М.К.).

В 2018 г. В.Д. Шатохин и соавт. опубликовали статью, в которой также представлены результаты использования аппарата наружной фиксации, который фиксировали при помощи анкеров к стабильным участкам ребер, ключицы, таза [51]. Таким образом, имеющиеся способы внешней фиксации при множественных и флотирующих переломах ребер доказали свою эффективность и могут рассматриваться в качестве методов временной или окончательной стабилизации.

СТАБИЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ СПОСОБОВ ПОСТОЯННОЙ ВНУТРЕННЕЙ ФИКСАЦИИ

Эта методика подразумевает расположение стабилизирующих устройств внутри организма без наружных фиксирующих основ. Одной из первых публикаций, посвященных этому виду стабилизации грудной клетки, принадлежит французскому хирургу *V. Dor* (1967). Стабилизация производилась через торакотомный доступ при помощи спиц Киршнера [52]. *Guernelli N. et al.* (1979) описали подобный метод, при котором стабилизация флотирующих переломов достигалась путем введения двух длинных спиц Киршнера под зоны реберного клапана по завершению торакотомии. Спицы удалялись через 30 дней. Авторы отметили хорошие результаты [53].

В 1991 г. *Landreneau R. et al.* описали методику с использованием металлических стержней для внешней фиксации системой *Lunque*. Стержни вводили в ребра через торакотомический доступ в область флотирующего участка и фиксировали с помощью наружного механизма, располагающегося в мягких тканях грудной стенки [54] (рис. 3).

Отечественный хирург Ю.Б. Шапот с коллегами (1985) предложили свою модификацию фиксации

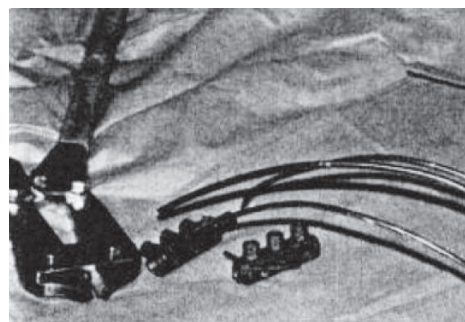


Рис. 3. Удаленный из организма фиксатор *Lunque*. (Фотография заимствована из статьи Landreneau R.S.)
Fig. 3. Removed Lunque fixator. (The photo from the article of Landreneau R.S.)

множественных переломах ребер, используя спицы Киршнера. Спицы изгибались по форме ребра и устанавливались над ним и фиксировались с помощью танталовых скобок, удаление производилось через 10 месяцев [55].

Спицы Киршнера также легли в основу интрамедуллярного остеосинтеза ребер. Металлическая спица вводилась через кортикальный слой отломка ребра в мозговой канал и проводилась через зону перелома во второй отломок. Спицы Киршнера используются для интрамедуллярного остеосинтеза более 50 лет, однако с их использованием связаны такие осложнения, как прорезывание имплантата через костную ткань, его миграция, ротационная нестабильность [8, 55].

По результатам одного из биомеханических исследований было показано, что при нагрузке спица может дислоцироваться из ткани ребра ввиду своей прочности и сниженной эластичности, что ведет к возможному повреждению мягких тканей и потере каркасной прочности [56]. С целью уменьшения описанных осложнений были разработаны интрамедуллярные фиксаторы (*ribs splints*). Согласно биомеханическим исследованиям *Bottlang M. et al.* (2010) данные фиксаторы стабилизируют место перелома в 2 раза лучше, чем спицы [57]. Кроме того, очень редко наблюдается дислокация импланта при данном методе фиксации. Описаны единичные случаи миграции имплантов, которые могут вызвать болезненные ощущения [58]. Основным преимуществом интрамедуллярного остеосинтеза перед другими методиками является простота постановки устройства и минимальная инвазивность, которая обеспечивается небольшими кожными доступами, что снижает вероятность послеоперационных осложнений [59].

Также немаловажным является значительное уменьшение болевого синдрома, что продемонстрировал *Ali Akil* (2019), выполняя интрамедуллярный остеосинтез под видеоторакоскопической ассистенцией ($2,6 \pm 0,3$ после операции против $8 \pm 1,15$ до операции, $p < 0,0001$ по визуальной аналоговой шкале — VAS) [60]. Аналогичные результаты получил *Redwan B.* (2015) [61]. Другим преимуществом интрамедуллярного фиксатора является возможность стабилизации переломов в труднодоступных участках грудной клетки, например, под лопаткой [62], на заднем отрезке ребер или при переломах первых ребер [56]. Однако, согласно наблюдениям *Marasco S. et al.*, несмотря на вышеуказанные преимущества, лишь у 9% пациентов наблюдалась полная консолидация костных структур спустя 3 месяца после операции [63].

СТАБИЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НАКОСТНОГО ОСТЕОСИНТЕЗА ПЛАСТИНАМИ

Наиболее популярной системой для наkostного остеосинтеза является *MatrixRIB*. Она представляет собой титановые пластины, механически устойчивые на сгиб, четко повторяющие реберную анатомию. Толщина пластин составляет 1,5 мм, длина варьируется от 15 до 18), предназначенных для крепления пластин к ребру с помощью 2,9 мм фиксирующих винтов [64].

При сравнении спиц Киршнера с системой наkostной фиксации в биомеханическом эксперименте было установлено, что динамическая нагрузка вызвала в среднем в 3 раза больше деформации спиц ($1,2 \pm 1,4$ мм, $p = 0,09$), чем наkostных конструкций ($0,4 \pm 0,2$ мм,



Рис. 4. Остеосинтез ребер пластиной *MatrixRIB*. (Фотография заимствована из статьи Беняна А.С.)

Fig. 4. Osteosynthesis of ribs with *MatrixRIB* plate. (The photo from article of Benyan A.S.)

$p = 0,09$). Также было показано, что общая прочность фиксации с помощью наkostных винтовых конструкций на 48% больше, чем с использованием спиц ($p = 0,001$) [57].

Винтовой наkostный остеосинтез широко применяется и в зарубежной, и в российской практике у пациентов с множественными переломами ребер и нестабильной грудной клеткой [65] (рис. 4).

Основными показателями эффективности проведения наkostного остеосинтеза является восстановление удовлетворительных значений функции внешнего дыхания. Так, Пушкин С.Ю. и соавт. (2014) показали, что нарастание объема форсированного выдоха за 1 секунду (ОФВ1) к моменту выписки пациента составляет более 25% [66]. Данные результаты были сделаны на основании наблюдения за 5 пациентами с ЗТГ. Согласно *Bottlang M. et al.* (2013), спустя 3 месяца после оперативного вмешательства у 84% пациентов отмечалось восстановление должных значений ОФВ1 [67].

Немаловажным аспектом использования остеосинтеза ребер является уменьшение болевого синдрома, что подтвердило исследование *Wu W.-M.* (2015), где балльная оценка боли уменьшилась с 5,8 до 3,3 ($p < 0,05$) по VAS [68]. Этот анальгетический эффект подтвержден в систематическом обзоре *de Jong M.B.* (2014) [62]. Улучшение показателей внешнего дыхания и адекватная анальгезия способствуют снижению потребности в ИВЛ [69]. Так, в статье *Pieracci F.M.* (2016) продемонстрировал статистически значимое уменьшение продолжительности ИВЛ с 5 (0–18) до 0 (0–8) дней ($p < 0,01$), более того, — это привело к снижению количества трахеостомий с 45,7% до 14,3% ($p = 0,01$) [70]. *Jing-Qing Xu* (2015) отметил, что использование хирургической стабилизации ребер посредством наkostного остеосинтеза не только уменьшает потребность в ИВЛ, но и снижает частоту развития пневмонии на 20–45% ($p < 0,05$) [71].

В совокупности: лучшая анальгетическая способность, отсутствие потребности в длительной ИВЛ, снижение частоты инфекционных легочных осложнений приводит к сокращению койко-дня в отделении реанимации в среднем на 3–4 сут ($p < 0,016$) и общей длительности госпитализации на 8–9 сут [72]. Однако стоит отметить, что есть литературные источники, демонстрирующие отсутствие положительного эффекта от применения хирургической стабилизации ребер [73]. Возникновение осложнений в раннем пос-

леоперационном периоде описано у 8,9 пациентов (11,8%) [74], по некоторым результатам — у 7,4 (37%) [75]. Среди возможных осложнений различные авторы описывают развитие сепсиса, эмпиемы плевры, нагноение послеоперационной раны [74]. Кроме этого, возможны осложнения, связанные с техническими неисправностями имплантата — перелом пластины фиксатора, его смещение, в связи с чем возникает необходимость повторной операции [75]. Несмотря на это, есть публикации, в которых авторы описывают неосложненное течение раннего послеоперационного периода, а также оптимальное купирование болевого синдрома [67, 69].

Еще одна винтовая система, завоевавшая свое место в клинической практике, носит название *RibLoc* и представляет собой U-образный фиксатор, меньшей длины по сравнению с другими имплантатами, скрепляющий ребро по верхнему краю посредством винтов, прикрепляемых к поверхности ребра в переднезаднем направлении.

Система *RibLoc* позволяет уменьшить размеры операционного доступа за счет своих малых размеров по сравнению с другими имплантами [76] (рис. 5). В одном из биомеханических исследований при сравнении данных фиксаторов с наkostным остеосинтезом пластинами было показано, что при моделировании нагрузки, возникающей при дыхательных движениях, U-образный фиксатор потерял $0,12 \pm 0,03$ Н/мм (1,9%) своей жесткости, тогда как пластинчатый — $0,72 \pm 0,13$ Н/мм (9,9%) ($p=0,001$), что позволяет делать вывод о большей износоустойчивости системы *RibLoc*, по сравнению с наkostными пластинами [77]. При применении у пациентов с переломами ребер данная система показала удовлетворительные результаты фиксации, купирования болевого синдрома, а также неосложненное течение послеоперационного периода [78]. Также, согласно *Said S.*, после применения описанной фиксационной методики отмечаются положительные изменения ОФВ1 по сравнению с предоперационным значением и дальнейшим улучшением в течение последующих 3 месяцев [79].

Среди возможных осложнений описаны: образование гематомы, поломка фиксатора, выраженный болевой синдром, которые могут являться показанием к удалению фиксатора [80].

Таким образом, основным преимуществом системы U-образного фиксатора является возможность его установления из мини-инвазивного доступа. При этом данный фиксатор не уступает по своим биомеханическим характеристикам пластинам наkostной системе и может эффективно использоваться у пациентов с переломами ребер.

Помимо винтовых наkostных конструкций существуют и безвинтовые. Одной из первых таких систем стала пластина *Judet*, которая представляет собой наkostный фиксатор из крепежных клипс, соединенный планкой между ними. Клипсы загибаются и таким образом обжимают ребро по обе стороны от перелома, фиксируя отломки друг к другу [81]. Способ стал прародителем системы реберной фиксации *Stracos*, которая успешно используется для фиксации ребер в настоящее время [82] (рис. 6).

Безвинтовые наkostные фиксаторы также демонстрируют эффективные показатели. Так, в исследовании, проведенном французскими специалистами, отмечается простота выполнения хирургического вмешательства



Рис. 5. Система *RibLoc*. (Фотография заимствована из статьи *De Palma A.*)

Fig. 5. *RibLoc* system. (The photo from the article of *De Palma A.*)

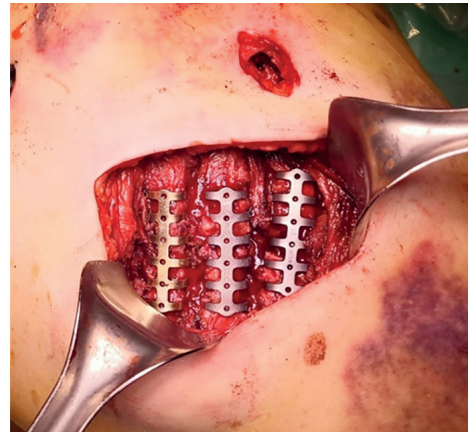


Рис. 6. Остеосинтез с использованием пластин *Stracos*

Fig. 6. Osteosynthesis with *Stracos* plates

ства, гибкость конструкции, что позволяет предотвратить излом пластины. Также отмечается значительное уменьшение времени ИВЛ в сравнении с контрольной группой, которую лечили консервативно (142 ± 224 против 74 ± 125 часов, $p=0,026$). Аналогичный положительный результат достигнут и в отношении длительности госпитализации ($32,3 \pm 19,3$ против $21,7 \pm 7,8$ сут, $p=0,024$) [82]. Сопоставимые результаты получил японский хирург *Tanaka*, использовавший пластины *Judet* для фиксации переломов ребер. Он отметил уменьшение длительности ИВЛ ($10,8 \pm 3,4$ сут против $18,3 \pm 7,4$ сут, $p<0,05$), уменьшения частоты развития пневмонии (24% против 77%; $p<0,05$) [83]. Поломка аппарата фиксации наблюдалась в 20% наблюдений [84].

РОЛЬ ВИДЕОТОРАКОСКОПИИ В СТАБИЛИЗАЦИИ РЕБЕРНОГО КАРКАСА

С начала 2000 г. для снижения травматичности остеосинтеза ребер разрабатываются методики с использованием видеоторакоскопии. Жестков К.Г. (2006) предложил методику фиксации ребер при помощи спиц под видеоторакоскопическим контролем. Для фиксации перелома им накладывались перикостальные швы на стабильные и флотирующий участки ребер. После репозиции субфасциально проводились спицы. Затягивание перикостальных швов приводило к фиксации отломков ребер к спице и предотвращало флотацию [85].

Sunkui K. (2013) выполнил 3 торакоскопические операции пациентам с флотирующей грудной клеткой. Он использовал пластину Насса, которую располагал так, что концы ее выходили за пределы флотирующего

участка и фиксировались к стабильной части грудной клетки, таким образом не возникало парадоксального движения грудной клетки. Была отмечена безопасность и эффективность этой методики [86].

Накостный остеосинтез, также выполненный под контролем видеоторакоскопа, позволяет более четко локализовать переломы ребер, при репозиции и фиксации избежать повреждения межреберных сосудов и внутренних органов [87]. Кроме того, видеоторакоскопическая поддержка остеосинтеза позволила ускорить реабилитацию и улучшить показатели функции внешнего дыхания, уменьшить частоту раневой инфекции с 18 до 2,9 % ($p=0,044$) и ускорить выписку из стационара ($5,64 \pm 1,11$ против $7,58 \pm 1,15$ сут, $p < 0,001$) [88]. *Pieracci F.* (2019) выполнил несколько операций, в которых использовалась полностью торакоскопическая фиксация ребер пластинами *MatrixRIB*. Пластины фиксировались с внутренней стороны ребер при помощи винтов, вкручиваемых специально разработанными эндоскопическими шурупвертами (рис. 7). Автор сообщает о хороших результатах и отсутствии инфекционных осложнений, однако сравнительного анализа в настоящий момент не проводилось [89]. В 2021 г. *Zachary M. Bauman et al.* продемонстрировали результаты лечения пациента с множественными переломами ребер. Отломки ребер были фиксированы специально разработанной металлоконструкцией для интраплевральной фиксации под видеоторакоскопическим контролем [90].

ФИКСАЦИЯ РЕБЕР ПОСРЕДСТВОМ БИОРАЗЛАГАЕМЫХ СИСТЕМ

Особенностью описанных систем остеосинтеза является их изготовление из нерезорбируемых материалов. Пациент пожизненно носит конструкцию в своем организме, либо требуется повторная операция по ее удалению. Однако существуют конструкции, разработанные из материалов, подвергающихся резорбции. Так, *Mayberry J.C.* (2003) использовал пластины и винты из биоразлагаемого материала — *poly (L-lactide-co-D, L-lactide)*. Было отмечено минимальное количество хирургических осложнений (в одном случае из десяти отмечено нагноение операционной раны, потребовавшее дренирования) и удовлетворительная консолидация переломов [91].

Эти импланты могут фиксироваться как к наружной, так и к внутренней поверхности ребер при помощи рассасывающихся нитей (рис. 8). Они сохраняют достаточную жесткость в течение времени, необходимого для консолидации переломов. Кроме того, медленное рассасывание конструкции приводит к постепенному повышению механической нагрузки на кость, что предотвращает “*stress-shielding*” (локальный остеопороз) — снижение плотности кости и повышение ломкости в связи с отсутствием нагрузки [92]. Подобные осложнения могут возникать после удаления металлоконструкций [93].

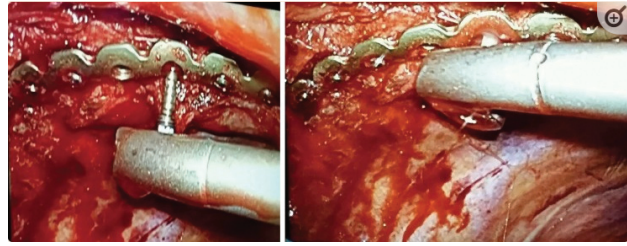


Рис. 7. Остеосинтез торакоскопическим доступом.

(Фотография заимствована из статьи *Pieracci F.M.*)

Fig. 7. Osteosynthesis via thoracoscopic access. (The photo from the article of *Pieracci F.M.*)

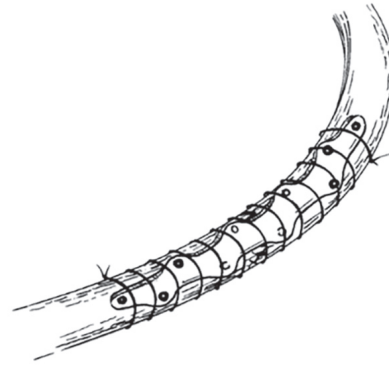


Рис. 8. Изображение биоразлагаемой пластины, фиксированной к ребру швами. (Фото заимствовано из статьи *Mayberry J.C.*)

Fig. 8. Image of a biodegradable plate fixed to the rib with sutures. (The photo from the article of *Mayberry J.C.*)

Marasco S.F. et al. в 2013 г. провели и сравнительный анализ результатов лечения пациентов, перенесших хирургическое лечение рассасывающимися пластинами из полилактидного кополимера (*poly(lactide copolymer)*) и получавших консервативную терапию. Он отметил положительный эффект в виде сокращения средней потребности в неинвазивной вентиляции с 50 до 3 часов ($p=0,01$) и уменьшение времени нахождения в реанимационном отделении в среднем с 359 до 285 часов ($p=0,03$) [63].

ВЫВОД

Представленный обзор демонстрирует разнообразность хирургических методов стабилизации грудной клетки. Универсального способа, который можно было бы использовать при всех видах переломов и осложнений, в настоящий момент не разработано. Таким образом, хирургические возможности в лечении пациентов с множественными переломами ребер не исчерпаны и, вероятно, будут совершенствоваться по мере достижений в технологической сфере.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

- LoCicero J, Mattox KL. Epidemiology of chest trauma. *Surg Clin*. 1989;69:15–19. PMID: 2911786 [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)44730-4](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(16)44730-4)
- Harrison M. Traumatic pneumothorax: a review of current practices. *Br J Hosp Med*. 2014;75:132–135. PMID: 24621627 <https://doi.org/10.12968/hmed.2014.75.3.132>
- Vana PG, Neubauer DC, Luchette FA. Contemporary management of flail chest. *Am Surg*. 2014;80:527–535. PMID: 24887787 <https://doi.org/10.1177/000313481408000613>
- Martin TJ, Eltorai AS, Dunn R, Varone A, Joyce MF, Kheirbekt T, al. Clinical management of rib fractures and methods for prevention of pulmonary complications: a review. *Injury*. 2019;50:1159–1165. PMID: 31047683 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.04.020>
- He WW, Yang Y, Wu WM, Zhao T, Guo X, Li Y, et al. Chest wall stabilization (CWS) in China: current situation and prospect. *J Thorac Dis*. 2019;11(Suppl 8):S1104–S1148. PMID: 31205761 <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.03.31>
- Познанский С.В. Евтихов Р.М., Кутырев Е.А., Колбашова Ю.Н., Кукушкин А.В. Видеоторакокопическая стабилизация каркаса грудной клетки. *Современные технологии в медицине*. 2010;(1–2):72–75.
- Bulger EM, Arneson MA, Mock CN, Jurkovich GJ. Rib fractures in the elderly. *J Trauma*. 2000;48:1040–1047. PMID: 10866248 <https://doi.org/10.1097/00005373-200006000-00007>
- Bemelman M, Poeze M, Blokhuis TJ, Leenen LPH. Historic overview of treatment techniques for rib fractures and flail chest. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2010;36:407–415. PMID: 21841952 <https://doi.org/10.1007/s00068-010-0046-5>
- Fligel BT, Luchette FA, Reed RL, Esposito TJ, Davis KA, Santaniello JM, et al. Half-a-dozen ribs: the breakpoint for mortality. *Surgery*. 2005;138:717–725. PMID: 16269301 <https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.07.022>
- Кукушкин М.Л., Табеева Г.Р., Подчуфарова Е.В. *Болевой синдром: патофизиология, клиника, лечение*. Москва: ИМАпресс; 2011.
- May L, Hillermann C, Patil S. Rib fracture management. *BJA Educ*. 2016;16:26–32. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkv011>
- Van Lieshout EMM, Verhofstad MHJ, Van Silfhout DJT, Dubois EA. Diagnostic approach for myocardial contusion: a retrospective evaluation of patient data and review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2021;47(4):1259–1272. PMID: 31982920 <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01305-4>
- Багненко С.Ф., Тулупов А.Н. Актуальные проблемы диагностики и лечения тяжелой закрытой травмы груди. *Скорая медицинская помощь*. 2009;10(2):4–10.
- Вагнер Е.А., Рогоцкий В.А., Черешнев В.А. *Патологическая физиология травмы груди*. Пермь; 1990.
- Velmahos GC, Vassiliou P, Chan LS, Murray JA, Berne TV, Demetriades D. Influence of flail chest on outcome among patients with severe thoracic cage trauma. *Int Surg*. 2002;87(4):240–244. PMID: 12575808
- Dehghan N, De Mestral C, McKee MD, Schemitsch EH, Nathens A. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank. *J Trauma Acute Care Surg*. 2014;76(2):462–468. PMID: 24458051 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000086>
- Moreno De La Santa, Magdalena P, Polo Otero MD, Delgado C, Leal S, Trinidad C, et al. Rib fractures: mortality risk factors. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2013;17(Is suppl 1):19–20, abs 0–074. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt288.74>
- Rendeki S, Molnár TF. Pulmonary contusion. *J Thorac Dis*. 2019;11(Suppl 2): S141–S151. PMID: 30906578 <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.11.53>
- Boyd AD. Lung injuries. In: Hood RM, Boyd AD, Culliford AT. (ed.) *Thoracic Trauma*. Philadelphia: Saunders; 1989. p. 153–155.
- Allen GS, Coates NE. Pulmonary contusion: A collective review. *Am Surg*. 1996;62:895–900. PMID: 8895709
- Allen GS, Cox CS. Pulmonary contusion in children: Diagnosis and management. *South Med J*. 1998;91:1099–1106. PMID: 9853720 <https://doi.org/10.1097/00007611-199812000-00002>
- Ganie FA, Lone H, Lone GN, Wani ML, Singh S, Dar AM, et al. Lung Contusion: A Clinico-Pathological Entity with Unpredictable Clinical Course. *Bull Emerg Trauma*. 2013;1:7–16. PMID: 27162815
- Cohn SM. Pulmonary contusion: Review of the clinical entity. *J Trauma*. 1997;42:973–979. PMID: 9191684 <https://doi.org/10.1097/00005373-199705000-00033>
- Livingston DH, Hauser CJ. Trauma to the chest wall and lung. McGraw-Hill Professional, 2003. In: Moore EE, Feliciano DV, Mattox KL. (eds.) *Trauma*. 5th ed. New York, McGraw-Hill Professional; 2004. p. 507–538.
- Bader A, Rahman U, Morris M, McCormack JE, Huang EC, Zawin M, et al. Pulmonary contusions in the elderly after blunt trauma: incidence and outcomes. *J Surg Res*. 2018;230:110–116. PMID: 30100025 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.04.049>
- Haynes D, Baumann M. Management of pneumothorax. *Semin Respir Crit Care Med*. 2010;31:769–780. PMID: 21213209 <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269837>
- Ramanathan R, Wolfe LG, Duane TM. Initial suction evacuation of traumatic hemothoraces: a novel approach to decreasing chest tube duration and complications. *Am Surg*. 2012;78:883–887. PMID: 22856496
- Athanassiadi K, Gerazounis M, Theakos N. Management of 150 flail chest injuries: analysis of risk factors affecting outcome. *Eur J Cardiothorac Surg*. 2004;26:373–376. PMID: 15296899 <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.04.011>
- Karmy-Jones R, Jurkovich G. Management of Blunt Chest and Diaphragm Injuries. In: Patterson GA, Pearson FG, Cooper JD, Deslauriers J, Luketich JD, Lerut AEMR. (eds.) *Pearson's Thoracic and Esophageal Surgery*. 3rd ed. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone Elsevier; 2008. p. 1768–1776.
- Liu Q, Luan L, Zhang G, Li B. Treatment of Chronic Traumatic Diaphragmatic Hernia Based on Laparoscopic Repair: Experiences From 23 Cases. *Front Surg*. 2021;8:706824. PMID: 34336921 <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.706824>
- Tessely H, Journé S, Therasse A, Hossey D, Lemaitre J. A case of colon necrosis resulting from a delayed traumatic diaphragmatic hernia. *J Surg Case Rep*. 2020;2020:rjaa101. PMID: 32582428 <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa101>
- Granetzny A, Abd El-Aal M, Emam E, Shalaby A, Boseila A. Surgical versus conservative treatment of flail chest. Evaluation of the pulmonary status. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2005;4(6):583–587. PMID: 17670487 <https://doi.org/10.1510/icvts.2005.111807>
- Richter T, Ragaller M. Ventilation in chest trauma. *J Emerg Trauma Shock*. 2011;4(2):251–259. PMID: 21769213 <https://doi.org/10.4103/0974-2700.82215>
- Duggal A, Perez P, Golan E, Tremblay L, Sinuff T. Safety and efficacy of noninvasive ventilation in patients with blunt chest trauma: a systematic review. *Crit Care*. 2013;17(4):R142. PMID: 23876230 <https://doi.org/10.1186/cc12821>
- Бенян А.С. Внутренняя пневматическая стабилизация в лечении переднего реберного клапана. *Вестник анестезиологии и реаниматологии*. 2014;(6):66–68.
- Cullen P, Modell JH, Kirby RR, Klein Jr EF, Long W. Treatment of flail chest. *Arch Surg*. 1975;110:1099–1103. PMID: 1098616 <https://doi.org/10.1001/archsurg.1975.01360150043008>
- Fowler TT, Taylor BC, Bellino MJ, Althausen PL. Surgical Treatment of Flail Chest and Rib Fractures. *J Am Acad Orthop Surg*. 2014;22(12):751–760. PMID: 25425610 <https://doi.org/10.5435/JAAOS-22-12-751>
- Leinicke JA, Elmore L, Freeman BD, Colditz GA. Operative Management of Rib Fractures in the Setting of Flail Chest: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Surg*. 2013; 258(6):914–921. PMID: 23511840 <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3182895bb0>
- Бенян А.С. Хирургическая стабилизация грудной клетки при множественных и флотирующих переломах ребер. *Вестник травматологии и ортопедии им.Н.Н. Приорова*. 2015;(3):86–92.
- Jones T, Richardson E. Traction on the sternum in the treatment of multiple fractured ribs. *Surg Gynec Obstet*. 1926;42:285.
- Jaslovic I. Skeletal traction in the treatment of multiple fractures of the thoracic cage. *Am J Surg*. 1946;72(5):753–755. PMID: 21003141 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(46\)90358-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(46)90358-3)
- Heroy WW, Eggleston FC. A method of skeletal traction applied through the sternum in «steering wheel» injury of the chest. *Ann Surg*. 1951;133(1):135–138. PMID: 14800268 <https://doi.org/10.1097/0000658-195101000-00016>
- Constantinescu O. A new method of treating the flail chest wall. *Am J Surg*. 1965;109:604–610. PMID: 14281884 [https://doi.org/10.1016/s0002-9610\(65\)80014-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(65)80014-9)
- Корнилов Н.В., Грязнухин Э.Г. *Травматология и ортопедия*. Санкт-Петербург; 2004.
- Balci AE, Eren S, Cakir O, Eren MN. Open fixation in flail chest: review of 64 patients. *Asian Cardiovasc Thorac Ann*. 2004;12(1):11–15. PMID: 14977734 <https://doi.org/10.1177/021849230401200104>
- Ушаков Н.Г. Алгоритм диагностики и тактики лечения пострадавших с множественными клапанными переломами ребер при закрытой травме груди. *Аспирантский вестник Поволжья*. 2010;(3–4):116–119.
- Голобородько Н.К., Булага В.В. Общие принципы работы специализированного центра политравмы и шока. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова*. 1989;(6):139–141.
- Греджев А.Ф., Паниотов А.П. Панельная фиксация при множественных переломах ребер. *Клиническая хирургия*. 1977;(8):69–78.
- Glavas M, Altarac S, Vukas D, Ivancic A, Drazinic I, Gusic N, et al. Flail chest stabilization with palacos prosthesis. *Acta Med Croatica*. 2001;55(2):91–95. PMID: 11505635
- Вишневский Д.А., Рудаков С.С., Миланов Н.О. *Хирургия грудной стенки*. Москва: Видар-М; 2005.
- Шатохин В.Д., Пушкин С.Ю., Дьячкова Г.В., Губа А.Д., Шатохин Д.В., Камеев И.Р. Результаты оперативного лечения флотирующих переломов грудинно-реберного комплекса. *Гений ортопедии*. 2018;24(3):290–295.

52. Dor V, Paoli J, Noirclerc M, Malmejac C, Chauvin G, Pons R. Lysteosynthese des volets thoraciques technique, resultants et indications apropos de 19 observations. *Ann Chir.* 1967;2(15):983–996. PMID: 5619289
53. Guernelli N, Bragaglia RB, Briccoli A, Mastrotrilli M, Vecchi R. Technique for the management of anterior flail chest. *Thorax.* 1979;34(2):247–248. PMID: 483193 <https://doi.org/10.1136/thx.34.2.247>
54. Landreneau RS, Hinson JM, Hazlerigg SR, Johnson JA, Boley TB, Curtis JJ. Strut fixation of an extensive flail chest. *Ann Thorac Surg.* 1991;51(3):473–475. PMID: 1998429 [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(91\)90871-m](https://doi.org/10.1016/0003-4975(91)90871-m)
55. Шапот Ю.Б., Бесаев Г.М., Кашанский Ю.Б., Зайцев Е.Н. Техника остеосинтеза при переломах ребер, грудины и ключицы. *Вестник хирургии им. И.И. Грекова.* 1985;(11):83–87.
56. Forward DP, Olliviere BJ, Ng JWG, Coughlin TA, Rollins KE. Current concepts in rib fracture fixation. *Bone Jt.* 360. 2016;5(5):2–7. <https://doi.org/10.1302/2048-0105.55.360464>
57. Bottlang M, Helzel I, Long W, Fitzpatrick D, Madey S. Less-Invasive Stabilization of Rib Fractures by Intramedullary Fixation: A Biomechanical Evaluation. *J Trauma.* 2010;68(5):1218–1224. PMID: 20068479 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181bb9df1>
58. Bottlang M, Walleiser S, Noll M, Honold S, Madey SM, Fitzpatrick D, et al. Biomechanical rationale and evaluation of an implant system for rib fracture fixation. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2010;36(5):417–426. PMID: 21841953 <https://doi.org/10.1007/s00068-010-0047-4>
59. Zaidenberg EE, Rossi LA, Bongiovanni SL, Tanoira I, Maignon G, Ranalletta M. Snapping scapular syndrome secondary to rib intramedullary fixation device. *Int J Surg Case Rep.* 2015;17:158–160. PMID: 26629853 <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2015.11.010>
60. Akil A, Ziegeler S, Reichelt J, Semik M, Müller MC, Fischer S. Rib osteosynthesis is a safe and effective treatment and leads to a significant reduction of trauma associated pain. *Eur J Trauma Emerg Surg.* PMID: 30989244 <https://doi.org/10.1007/s00068-018-01062-5>
61. Redwan B, Reichelt J, Freermann S, Semik M, Fischer S. Video-assisted minimally invasive rib osteosynthesis using intramedullary titanium splints in patients with unstable rib fractures: treatment algorithm and first clinical results. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2015;21(Suppl 1):S60. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv204.220>
62. De Jong MB, Kokke MC, Hietbrink F, Leenen LPH. Surgical Management of Rib Fractures: Strategies and Literature Review. *Scand J Surg.* 2014;103(2):120–125. PMID: 24782038 <https://doi.org/10.1177/1457496914531928>
63. Marasco S, Quayle M, Summerhayes R, Šutalo ID, Liovic P. An assessment of outcomes with intramedullary fixation of fractured ribs. *J Cardiothorac Surg.* 2016;11(1):126. PMID: 27495253 <https://doi.org/10.1186/s13019-016-0510-3>
64. Pharaon KS, Marasco S, Mayberry J. Rib Fractures, Flail Chest, and Pulmonary Contusion. *Curr Trauma Rep.* 2015;1:237–242. <https://doi.org/10.1007/s40719-015-0026-7>
65. Беньян А.С., Пушкин С.Ю., Сызранцев Ю.В., Камеев И.Р. Остеосинтез ребер с применением технологии «MATRIX RIB» в лечении пострадавшего с множественными флотирющими переломами ребер. *Вестник хирургии им.И.И. Грекова.* 2013;172(6):78–79.
66. Pushkin S, Benyan A. Our first steps in osteosynthesis of fractured ribs using Matrix Rib technologies. *Eur Respir J.* 2012;40(Suppl 56): Annual Congress 2012: Chest wall, thoracic trauma and complications in thoracic surgery. Thematic Poster Session, #2421. URL: <https://www.ers-education.org/Tr/show-details?idP=120960> [Дата обращения 13 мая 2022 г.]
67. Bottlang M, Long WB, Phelan D, Fielder D, Madey SM. Surgical stabilization of flail chest injuries with MatrixRIB implants: A prospective observational study. *Injury.* 2013;44(2):232–238. PMID: 22910817 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.08.011>
68. Wu W-M, Yang Y, Gao Z-L, Zhao T-C, He W-W. Which is better to multiple rib fractures, surgical treatment or conservative treatment? *Int J Clin Exp Med.* 2015;8(5):7930–7936. PMID: 26221350
69. Jermin PJ, Perry J, Kalra S, Flockton E, Rourke HK. The Use of Novel Adopters for Acute Rib Fixation in Critical Chest Trauma, Undertaken by Orthopaedic Surgeons: an Observational Cohort Study. *J Crit Care Med.* 2015;1(3):96–101. <https://doi.org/10.1515/jccm-2015-0016>
70. Pieracci FM, Lin Y, Rodil M, Synder M, Herbert B, Kha Tran D, et al. A prospective, controlled clinical evaluation of surgical stabilization of severe rib fractures. *J Trauma Acute Care Surg.* 2016;80(2):187–194. PMID: 26595710 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000925>
71. Xu JQ, Qiu PL, Yu RG, Gong SR, Ye Y, Shang XL. Better short-term efficacy of treating severe flail chest with internal fixation surgery compared with conservative treatments. *Eur J Med Res.* 2015;20(1):55. PMID: 26003405 <https://doi.org/10.1186/s40001-015-0146-0>
72. Qiu M, Shi Z, Xiao J, Zhang X, Ling S, Ling H. Potential Benefits of Rib Fracture Fixation in Patients with Flail Chest and Multiple Non-flail Rib Fractures. *Indian J Surg.* 2016;78(6):458–463. PMID: 28100942 <https://doi.org/10.1007/s12262-015-1409-2>
73. Althausen PL, Shannon S, Watts C, Thomas K, Bain MA, Coll D, et al. Early surgical stabilization of flail chest with locked plate fixation. *J Orthop Trauma.* 2011;25(11):641–647. PMID: 22008858 <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318234d479>
74. Beks RB, Reetz D, de Jong MB, Groenwold RHH, Hietbrink F, Edwards MJR, et al. Rib fixation versus non-operative treatment for flail chest and multiple rib fractures after blunt thoracic trauma: a multicenter cohort study. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2019;45(4):655–663. PMID: 30341561 <https://doi.org/10.1007/s00068-018-1037-1>
75. Ng CSH, Wong RHL, Kwok MWT, Yim APC. Delayed fracture of MatrixRIB precontoured plate system. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2014;19(3):512–514. PMID: 24876218 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv175>
76. De Palma A, Sollitto F, Loizzi D, Di Gennaro F, Scarascia D, Carlucci A, et al. Chest wall stabilization and reconstruction: short and long-term results 5 years after the introduction of a new titanium plates system. *J Thorac Dis.* 2016;8(3):490–498. PMID: 27076945 <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.02.64>
77. Sales JR, Ellis TJ, Gillard J, Liu Q, Chen JC, Ham B, Mayberry JC. Biomechanical Testing of a Novel, Minimally Invasive Rib Fracture Plating System. *J Trauma Inj Infect Crit Care.* 2008;64(5):1270–1274. PMID: 18469649 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31804a7fd5>
78. Deb SJ. Rib Fracture Stabilization Reduces Chest Wall Pain following Blunt Thoracic Trauma. *J Trauma Treat.* 2014;S2:1–4. <https://doi.org/10.4172/2167-1222.S2-004>
79. Said SM, Goussous N, Zielinski MD, Schiller HJ, Kim BD. Surgical stabilization of flail chest: the impact on postoperative pulmonary function. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2014;40(4):501–505. PMID: 26816247 <https://doi.org/10.1007/s00068-013-0344-9>
80. Petsavage JM, Ha AS, Khorashadi L, Perrich K, Chew FS. New and Improved Orthopedic Hardware for the 21st Century: Part 2, Lower Extremity and Axial Skeleton. *Am J Roentgenol.* 2011;197(3):W434–444. PMID: 21862770 <https://doi.org/10.2214/AJR.10.5354>
81. Judet R. Costal osteosynthesis. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot.* 1973;59(Suppl 1):334–335. PMID: 4268839
82. Jayle CP, Allain G, Ingrand P, Laksiri L, Bonnin E, Hajj-Chahine J, et al. Flail Chest in Polytraumatized Patients: Surgical Fixation Using Stracos Reduces Ventilator Time and Hospital Stay. *Biomed Res Int.* 2015;2015:624723. PMID: 25710011 <https://doi.org/10.1155/2015/624723>
83. Tanaka H, Yukioka T, Yamaguti Y, Shimizu S, Goto H, Matsuda H, et al. Surgical stabilization of internal pneumatic stabilization? A prospective randomized study of management of severe flail chest patients. *J Trauma.* 2002;52(4):727–732. PMID: 11956391 <https://doi.org/10.1097/00005373-200204000-00020>
84. Berthet J-P, Caro AG, Solovei L, Gilbert M, Bommart S, Gaudard P, et al. Titanium Implant Failure After Chest Wall Osteosynthesis. *Ann Thorac Surg.* 2015;99(6):1945–1952. PMID: 25916874 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.02.040>
85. Жестков К.Г., Барский Б.В., Воскресенский О.В. Мини-инвазивная хирургия в лечении флотирующих переломов ребер. *Тихоокеанский медицинский журнал.* 2006;1(23):62–66.
86. Ke S, Duan H, Cai Y, Kang J, Feng Z. Thoracoscopy-Assisted Minimally Invasive Surgical Stabilization of the Anterolateral Flail Chest Using Nuss Bars. *Ann Thorac Surg.* 2014;97(6):2179–2182. PMID: 24882301 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.08.066>
87. Schots JP, Vissers YL, Hulswé KW, Meesters B, Hustinx PA, Pijnenburg A, et al. Addition of video-assisted thoracoscopic surgery to the treatment of flail chest. *Ann Thorac Surg.* 2017;103(3):940–944. PMID: 27939010 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.09.036>
88. Xia H, Zhu P, Li J, Zhu D, Sun Z, Deng L, et al. Thoracoscope combined with internal support system of chest wall in open reduction and internal fixation for multiple rib fractures. *Exp Ther Med.* 2018;16(6):4650–4654. PMID: 30542416 <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6817>
89. Pieracci FM. Completely thoracoscopic surgical stabilization of rib fractures: can it be done and is it worth it? *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 8):S1061–S1069. PMID: 31205763 <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.01.70>
90. Bauman ZM, Beard R, Cemaj S. When less is more: A minimally invasive, intrathoracic approach to surgical stabilization of rib fractures. *Trauma Case Rep.* 2021;32:100452. PMID: 33778146 <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2021.100452>
91. Mayberry JC, Terhes JT, Ellis TJ, Wanek S, Mullins RJ. Absorbable plates for rib fracture repair: preliminary experience. *J Trauma.* 2003;55(5):835–839. PMID: 14608152 <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000090037.72142.33>
92. Lafferty PM, Anavian J, Will RE, Cole PA. Operative treatment of chest wall injuries: indications, Technique, and outcomes. *J Bone Joint Surg Am.* 2011;93(1):97–110. PMID: 21209274 <https://doi.org/10.2106/JBJS.100696>
93. Hollinger JO, Battistone GC. Biodegradable bone repair materials. Synthetic polymers and ceramics. *Clin Orthop Relat Res.* 1986;(207):290–305. PMID: 3522015

REFERENCES

- LoCicero J, Mattox KL. Epidemiology of chest trauma. *Surg Clin.* 1989;69:15–19. PMID: 2911786 [https://doi.org/10.1016/S0039-6109\(16\)44730-4](https://doi.org/10.1016/S0039-6109(16)44730-4)
- Harrison M. Traumatic pneumothorax: a review of current practices. *Br J Hosp Med.* 2014;75:132–135. PMID: 24621627 <https://doi.org/10.12968/hmed.2014.75.3.132>
- Vana PG, Neubauer DC, Luchette FA. Contemporary management of flail chest. *Am Surg.* 2014;80:527–535. PMID: 24887787 <https://doi.org/10.1177/000313481408000613>
- Martin TJ, Eltorai AS, Dunn R, Varone A, Joyce MF, Kheirbekt T, et al. Clinical management of rib fractures and methods for prevention of pulmonary complications: a review. *Injury.* 2019;50:1159–1165. PMID: 31047683 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.04.020>
- He WW, Yang Y, Wu WM, Zhao T, Guo X, Li Y, et al. Chest wall stabilization (CWS) in China: current situation and prospect. *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 8):S1104–S1148. PMID: 31205761 <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.03.31>
- Poznanskiy SV, Evtikhov RM, Kutuyev EA, Kolbashova YuN, Kukushkin AV. Videotorakoskopicheskaya stabilizatsiya karkasa grudnoy kletki. *Sovremennye tehnologii v medicine.* 2010;(1–2):72–73 (In Russ.).
- Bulger EM, Arneson MA, Mock CN, Jurkovich GJ. Rib fractures in the elderly. *J Trauma.* 2000;48:1040–1047. PMID: 10866248 <https://doi.org/10.1097/00005373-200006000-00007>
- Bemelman M, Poeze M, Blokhuis TJ, Leenen LPH. Historic overview of treatment techniques for rib fractures and flail chest. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2010;36:407–415. PMID: 21841952 <https://doi.org/10.1007/s00068-010-0046-5>
- Fligel BT, Luchette FA, Reed RL, Esposito TJ, Davis KA, Santaniello JM, et al. Half-a-dozen ribs: the breakpoint for mortality. *Surgery.* 2005;138:717–725. PMID: 16269301 <https://doi.org/10.1016/j.surg.2005.07.022>
- Kukushkin ML, Tabeeva GR, Podchufarova EV. Bolevoy sindrom: patofiziologiya, klinika, lechenie. Moscow: IMApress; 2011. (In Russ.)
- May L, Hillermann C, Patil S. Rib fracture management. *BJA Educ.* 2016;16:26–32. <https://doi.org/10.1093/bjaceaccp/mkv011>
- Van Lieshout EMM, Verhofstad MHJ, Van Silfhout DJT, Dubois EA. Diagnostic approach for myocardial contusion: a retrospective evaluation of patient data and review of the literature. *Eur J Trauma Emerg Surg.* 2021;47(4):1259–1272. PMID: 31982920 <https://doi.org/10.1007/s00068-020-01305-4>
- Bagnenko SF, Tulupov AN. Current Problems In Diagnostics and Treatment of Closed Chest Trauma. *Emergency Medical Care.* 2009;10(2):4–10. (In Russ.).
- Vagner EA, Rogatskiy VA, Chereshev VA. *Patologicheskaya fiziologiya travmy grudni.* Perm', 1990. (In Russ.).
- Velmahos GC, Vassiliu P, Chan LS, Murray JA, Berne TV, Demetriades D. Influence of flail chest on outcome among patients with severe thoracic cage trauma. *Int Surg.* 2002;87(4):240–244. PMID: 12575808
- Dehghan N, De Mestral C, McKee MD, Schemitsch EH, Nathens A. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank. *J Trauma Acute Care Surg.* 2014;76(2):462–468. PMID: 24458051 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000086>
- Moreno De La Santa P, Magdalena P, Polo Otero MD, Delgado C, Leal S, Trinidad C, et al. Rib fractures: mortality risk factors. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2013;17(1s suppl 1):19–20, abs 0-074. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivt288.74>
- Rendeki S, Molnár TF. Pulmonary contusion. *J Thorac Dis.* 2019;11(Suppl 2):S141–S151. PMID: 30906578 <https://doi.org/10.21037/jtd.2018.11.53>
- Boyd AD. Lung injuries. In: Hood RM, Boyd AD, Culliford AT. (ed.) *Thoracic Trauma.* Philadelphia: Saunders; 1989:153–155.
- Allen GS, Coates NE. Pulmonary contusion: A collective review. *Am Surg.* 1996;62:895–900. PMID: 8895709
- Allen GS, Cox CS. Pulmonary contusion in children: Diagnosis and management. *South Med J.* 1998;91:1099–1106. PMID: 9853720 <https://doi.org/10.1097/00007611-199812000-00002>
- Ganie FA, Lone H, Lone GN, Wani ML, Singh S, Dar AM, et al. Lung Contusion: A Clinico-Pathological Entity with Unpredictable Clinical Course. *Bull Emerg Trauma.* 2013;1:7–16. PMID: 27162815
- Cohn SM. Pulmonary contusion: Review of the clinical entity. *J Trauma.* 1997;42:973–979. PMID: 9191684 <https://doi.org/10.1097/00005373-199705000-00033>
- Livingston DH, Hauser CJ. Trauma to the chest wall and lung. McGraw-Hill Professional, 2003. In: Moore EE, Feliciano DV, Mattox KL. (eds.) *Trauma.* 5th ed. New York, McGraw-Hill Professional; 2004:507–538.
- Bader A, Rahman U, Morris M, McCormack JE, Huang EC, Zawin M, et al. Pulmonary contusions in the elderly after blunt trauma: incidence and outcomes. *J Surg Res.* 2018;230:110–116. PMID: 30100025 <https://doi.org/10.1016/j.jss.2018.04.049>
- Haynes D, Baumann M. Management of pneumothorax. *Semin Respir Crit Care Med.* 2010;31:769–780. PMID: 21213209 <https://doi.org/10.1055/s-0030-1269837>
- Ramanathan R, Wolfe LG, Duane TM. Initial suction evacuation of traumatic hemothoraces: a novel approach to decreasing chest tube duration and complications. *Am Surg.* 2012;78:883–887. PMID: 22856496
- Athanassiadi K, Gerazounis M, Theakos N. Management of 150 flail chest injuries: analysis of risk factors affecting outcome. *Eur J Cardiothorac Surg.* 2004;26:373–376. PMID: 15296899 <https://doi.org/10.1016/j.ejcts.2004.04.011>
- Karmy-Jones R, Jurkovich G. Management of Blunt Chest and Diaphragm Injuries. In: Patterson GA, Pearson FG, Cooper JD, Deslauriers J, Luketich JD, Lerut AEMR. (eds.) *Pearson's Thoracic and Esophageal Surgery.* 3rd ed. Philadelphia, PA: Churchill Livingstone Elsevier; 2008:1768–1776.
- Liu Q, Luan L, Zhang G, Li B. Treatment of Chronic Traumatic Diaphragmatic Hernia Based on Laparoscopic Repair: Experiences From 23 Cases. *Front Surg.* 2021;8:706824. PMID: 34336921 <https://doi.org/10.3389/fsurg.2021.706824>
- Tessely H, Journé S, Therasse A, Hossey D., Lemaitre J. A case of colon necrosis resulting from a delayed traumatic diaphragmatic hernia. *J Surg Case Rep.* 2020;2020:rjaa101. PMID: 32582428 <https://doi.org/10.1093/jscr/rjaa101>
- Granetzny A, Abd El-Aal M, Emam E, Shalaby A, Boseila A. Surgical versus conservative treatment of flail chest. Evaluation of the pulmonary status. *Interact Cardiovasc Thorac Surg.* 2005;4(6):583–587. PMID: 17670487 <https://doi.org/10.1510/icvts.2005.111807>
- Richter T, Ragaller M. Ventilation in chest trauma. *J Emerg Trauma Shock.* 2011;4(2):251–259. PMID: 21769213 <https://doi.org/10.4103/0974-2700.82215>
- Duggal A, Perez P, Golan E, Tremblay L, Sinuff T. Safety and efficacy of noninvasive ventilation in patients with blunt chest trauma: a systematic review. *Crit Care.* 2013;17(4):R142. PMID: 23876230 <https://doi.org/10.1186/cc12821>
- Benyan AS. Vnutrennyaya pnevmaticheskaya stabilizatsiya v lechenii perednego rebrnogo klapana. *Messenger of Anesthesiology and Resuscitation.* 2014;(6):66–68. (In Russ.).
- Cullen P, Modell JH, Kirby RR, Klein Jr EF, Long W. Treatment of flail chest. *Arch Surg.* 1975;110:1099–1103. PMID: 1098616 <https://doi.org/10.1001/archsurg.1975.01360150043008>
- Fowler TT, Taylor BC, Bellino MJ, Althausen PL. Surgical Treatment of Flail Chest and Rib Fractures. *J Am Acad Orthop Surg.* 2014;22(12):751–760. PMID: 25425610 <https://doi.org/10.5435/AAOS-22-12-751>
- Leinicke JA, Elmore L, Freeman BD, Colditz GA. Operative Management of Rib Fractures in the Setting of Flail Chest: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Ann Surg.* 2013; 258(6):914–921. PMID: 23511840 <https://doi.org/10.1097/SLA.0b013e3182895bb0>
- Benyan AS. Surgical Stabilization of the Chest in Multiple and Floating Rib Fractures. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics.* 2015;22(3):86–92. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/vto201522386-92>
- Jones T, Richardson E. Traction on the sternum in the treatment of multiple fractured ribs. *Surg Gynec Obstet.* 1926;42:283.
- Jasloiv I. Skeletal traction in the treatment of multiple fractures of the thoracic cage. *Am J Surg.* 1946;72(5):753–755. PMID: 21003141 [https://doi.org/10.1016/0002-9610\(46\)90358-3](https://doi.org/10.1016/0002-9610(46)90358-3)
- Heroy WW, Eggleston FC. A method of skeletal traction applied through the sternum in «steering wheel» injury of the chest. *Ann Surg.* 1951;133(1):135–138. PMID: 14800268 <https://doi.org/10.1097/00000658-195101000-00016>
- Constantinescu O. A new method of treating the flail chest wall. *Am J Surg.* 1965;109:604–610. PMID: 14281884 [https://doi.org/10.1016/s0002-9610\(65\)80014-9](https://doi.org/10.1016/s0002-9610(65)80014-9)
- Kornilov NV, Gryaznukhin EG. *Travmatologiya i ortopediya.* Saint Petersburg, 2004. (In Russ.).
- Balci AE, Eren S, Cakir O, Eren MN. Open fixation in flail chest: review of 64 patients. *Asian Cardiovasc Thorac Ann.* 2004;12(1):11–15. PMID: 14977734 <https://doi.org/10.1177/021849230401200104>
- Ushakov NG. The algorithm of diagnostics and tactics of treatment of victims with the multiple ribs fracture at the closed chest injury. *Aspirantskiy Vestnik Povolzhya.* 2010;10(3–4):116–119. (In Russ.) <https://doi.org/10.17816/2072-2354.2010.03-4.116-119>
- Goloborodko NK, Bulaga VV. General principles of the activities of a specialized center of polytrauma and shock. *Grekov's Bulletin of Surgery.* 1989;142(6):139–141. PMID: 2815465. (In Russ.).
- Gredzhev AF, Paniotov AP. Panel'naya fiksatsiya pri mnozhestvennykh perelomakh reber. *Klinicheskaja khirurgiya.* 1977;(8):69–78. (In Russ.).
- Glavas M, Altarc S, Vukas D, Ivancic A, Drazinic I, Gusic N, et al. Flail chest stabilization with palacos prosthesis. *Acta Med Croatica.* 2001;55(2):91–95. PMID: 11505635
- Vishnevskiy DA, Rudakov CC, Milanov NO. *Khirurgiya grudnoy stenki.* Moscow: Vidar-M Publ.; 2005. (In Russ.).
- Shatokhin VD, Pushkin SYu, Diachkova GV, Guba AD, Shatokhin DV, Kameev IR. Outcomes of operative treatment of floating sternocostal fractures. *Genij Ortopedii.* 2018;24(3):290–295. <https://doi.org/10.18019/1028-4427-2018-24-3-290-295>
- Dor V, Paoli J, Noirclerc M, Malmejac C, Chauvin G, Pons R. Lysteosynthese des volets thoraciques technique, resultants et indications apropos de 19 observations. *Ann Chir.* 1967;2(15):983–996. PMID: 5619289

53. Guernelli N, Bragaglia RB, Briccoli A, Mastrorilli M, Vecchi R. Technique for the management of anterior flail chest. *Thorax*. 1979;34(2):247–248. PMID: 483193 <https://doi.org/10.1136/thx.34.2.247>
54. Landreneau RS, Hinson JM, Hazerlrigg SR, Johnson JA, Boley TB, Curtis JJ. Strut fixation of an extensive flail chest. *Ann Thorac Surg*. 1991;51(3):473–475. PMID: 1998429 [https://doi.org/10.1016/0003-4975\(91\)90871-m](https://doi.org/10.1016/0003-4975(91)90871-m)
55. Shapot IuB, Besaev GM, Kashanskii IuB, Zaitsev EI. A method of osteosynthesis in fractures of the ribs, sternum and clavicle. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 1985;135(11):83–7. PMID: 4095871
56. Forward DP, Olliviere BJ, Ng JWG, Coughlin TA, Rollins KE. Current concepts in rib fracture fixation. *Bone Jt*. 360. 2016;5(5):2–7. <https://doi.org/10.1302/2048-0105.55.360464>
57. Bottlang M, Helzel I, Long W, Fitzpatrick D, Madey S. Less-Invasive Stabilization of Rib Fractures by Intramedullary Fixation: A Biomechanical Evaluation. *J Trauma*. 2010;68(5):1218–1224. PMID: 20068479 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181bb9df1>
58. Bottlang M, Walleser S, Noll M, Honold S, Madey SM, Fitzpatrick D, et al. Biomechanical rationale and evaluation of an implant system for rib fracture fixation. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2010;36(5):417–426. PMID: 21841953 <https://doi.org/10.1007/s00068-010-0047-4>
59. Zaidenberg EE, Rossi LA, Bongiovanni SL, Tanoira I, Maignon G, Ranalletta M. Snapping scapular syndrome secondary to rib intramedullary fixation device. *Int J Surg Case Rep*. 2015;17:158–160. PMID: 26629853 <https://doi.org/10.1016/j.ijscr.2015.11.010>
60. Akil A, Ziegeler S, Reichelt J, Semik M, Müller MC, Fischer S. Rib osteosynthesis is a safe and effective treatment and leads to a significant reduction of trauma associated pain. *Eur J Trauma Emerg Surg*. PMID: 30989244 <https://doi.org/10.1007/s00068-018-01062-5>
61. Redwan B, Reichelt J, Freermann S, Semik M, Fischer S. Video-assisted minimally invasive rib osteosynthesis using intramedullary titanium splints in patients with unstable rib fractures: treatment algorithm and first clinical results. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2015;21(Suppl 1):S60. <https://doi.org/10.1093/icvts/ivv204.220>
62. De Jong MB, Kokke MC, Hietbrink F, Leenen LPH. Surgical Management of Rib Fractures: Strategies and Literature Review. *Scand J Surg*. 2014;103(2):120–125. PMID: 24782038 <https://doi.org/10.1177/1457496914531928>
63. Marasco S, Quayle M, Summerhayes R, Štalo ID, Liovic P. An assessment of outcomes with intramedullary fixation of fractured ribs. *J Cardiothorac Surg*. 2016;11(1):126. PMID: 27495253 <https://doi.org/10.1186/s13019-016-0510-3>
64. Pharaon KS, Marasco S, Mayberry J. Rib Fractures, Flail Chest, and Pulmonary Contusion. *Curr Trauma Rep*. 2015;1:237–242. <https://doi.org/10.1007/s40719-015-0026-7>
65. Benyan AS, Pushkin SYu, Syzrantsev YuV, Kameev IR. Osteosintez reber s primeneniem tekhnologii «MATRIX RIB» v lechenii postradavshogo s mnozhestvennymi flotiruyushchimi perelomami reber. *Grekov's Bulletin of Surgery*. 2013;172(6):078–079. (In Russ.) <https://doi.org/10.24884/0042-4625-2013-172-6-078-079>
66. Pushkin S, Benyan A. Our first steps in osteosynthesis of fractured ribs using Matrix Rib technologies. *Eur Respir J*. 2012;40(Suppl 56): Annual Congress 2012: Chest wall, thoracic trauma and complications in thoracic surgery. Thematic Poster Session, #2421. Available at: <https://www.ers-education.org/tr/show-details/?idP=120960> [Accessed May 13, 2022]
67. Bottlang M, Long WB, Phelan D, Fielder D, Madey SM. Surgical stabilization of flail chest injuries with MatrixRIB implants: A prospective observational study. *Injury*. 2013;44(2):232–238. PMID: 22910817 <https://doi.org/10.1016/j.injury.2012.08.011>
68. Wu W-M, Yang Y, Gao Z-L, Zhao T-C, He W-W. Which is better to multiple rib fractures, surgical treatment or conservative treatment? *Int J Clin Exp Med*. 2015;8(5):7930–7936. PMID: 26221350
69. Jermin PJ, Perry J, Kalra S, Flockton E, Rourke HK. The Use of Novel Adopters for Acute Rib Fixation in Critical Chest Trauma, Undertaken by Orthopaedic Surgeons: an Observational Cohort Study. *J Crit Care Med*. 2015;1(3):96–101. <https://doi.org/10.1515/jccm-2015-0016>
70. Pieracci FM, Lin Y, Rodil M, Synder M, Herbert B, Kha Tran D, et al. A prospective, controlled clinical evaluation of surgical stabilization of severe rib fractures. *J Trauma Acute Care Surg*. 2016;80(2):187–194. PMID: 26595710 <https://doi.org/10.1097/TA.0000000000000925>
71. Xu JQ, Qiu PL, Yu RG, Gong SR, Ye Y, Shang XL. Better short-term efficacy of treating severe flail chest with internal fixation surgery compared with conservative treatments. *Eur J Med Res*. 2015;20(1):55. PMID: 26003405 <https://doi.org/10.1186/s40001-015-0146-0>
72. Qiu M, Shi Z, Xiao J, Zhang X, Ling S, Ling H. Potential Benefits of Rib Fracture Fixation in Patients with Flail Chest and Multiple Non-flail Rib Fractures. *Indian J Surg*. 2016;78(6):458–463. PMID: 28100942 <https://doi.org/10.1007/s12262-015-1409-2>
73. Althausen PL, Shannon S, Watts C, Thomas K, Bain MA, Coll D, et al. Early surgical stabilization of flail chest with locked plate fixation. *J Orthop Trauma*. 2011;25(11):641–647 PMID: 22008858 <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318234d479>
74. Beks RB, Reetz D, de Jong MB, Groenwold RHH, Hietbrink F, Edwards MJR, et al. Rib fixation versus non-operative treatment for flail chest and multiple rib fractures after blunt thoracic trauma: a multicenter cohort study. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2019;45(4):655–663. PMID: 30341561 <https://doi.org/10.1007/s00068-018-1037-1>
75. Ng CSH, Wong RHL, Kwok MWT, Yim APC. Delayed fracture of MatrixRIB precontoured plate system. *Interact Cardiovasc Thorac Surg*. 2014;19(3):512–514. PMID: 24876218 <https://doi.org/10.1093/icvts/ivu175>
76. De Palma A, Sollitto F, Loizzi D, Di Gennaro F, Scarascia D, Carlucci A, et al. Chest wall stabilization and reconstruction: short and long-term results 5 years after the introduction of a new titanium plates system. *J Thorac Dis*. 2016;8(3):490–498. PMID: 27076945 <https://doi.org/10.21037/jtd.2016.02.64>
77. Sales JR, Ellis TJ, Gillard J, Liu Q, Chen JC, Ham B, Mayberry JC. Biomechanical Testing of a Novel, Minimally Invasive Rib Fracture Plating System. *J Trauma Inj Infect Crit Care*. 2008;64(5):1270–1274. PMID: 18469649 <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e31804a7fd5>
78. Deb SJ. Rib Fracture Stabilization Reduces Chest Wall Pain following Blunt Thoracic Trauma. *J Trauma Treat*. 2014;S2:1–4. <https://doi.org/10.4172/2167-1222.S2-004>
79. Said SM, Goussous N, Zielinski MD, Schiller HJ, Kim BD. Surgical stabilization of flail chest: the impact on postoperative pulmonary function. *Eur J Trauma Emerg Surg*. 2014;40(4):501–505. PMID: 26816247 <https://doi.org/10.1007/s00068-013-0344-9>
80. Petscavage JM, Ha AS, Khorashadi L, Perrich K, Chew FS. New and Improved Orthopedic Hardware for the 21st Century: Part 2, Lower Extremity and Axial Skeleton. *Am J Roentgenol*. 2011;197(3):W434–444. PMID: 21862770 <https://doi.org/10.2214/AJR.10.5354>
81. Judet R. Costal osteosynthesis. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot*. 1973;59(Suppl 1):334–335. PMID: 4268839
82. Jayle CP, Allain G, Ingrand P, Laksiri L, Bonnin E, Hajj-Chahine J, et al. Flail Chest in Polytraumatized Patients: Surgical Fixation Using Stracos Reduces Ventilator Time and Hospital Stay. *Biomed Res Int*. 2015;2015:624723. PMID: 25710011 <https://doi.org/10.1155/2015/624723>
83. Tanaka H, Yukioka T, Yamaguti Y, Shimizu S, Goto H, Matsuda H, et al. Surgical stabilization of internal pneumatic stabilization? A prospective randomized study of management of severe flail chest patients. *J Trauma*. 2002;52(4):727–732. PMID: 11956391 <https://doi.org/10.1097/00005373-200204000-00020>
84. Berthet J-P, Caro AG, Solovei L, Gilbert M, Bommart S, Gaudard P, et al. Titanium Implant Failure After Chest Wall Osteosynthesis. *Ann Thorac Surg*. 2015;99(6):1945–1952. PMID: 25916874 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2015.02.040>
85. Zhestkov KG, Barsky BV, Voskresensky OV. Mini-invasive Surgery in Treatment of Floating Ribs. *Pacific Medical Journal*. 2006;(1):62–65. (In Russ.)
86. Ke S, Duan H, Cai Y, Kang J, Feng Z. Thoracoscopy-Assisted Minimally Invasive Surgical Stabilization of the Anterolateral Flail Chest Using Nuss Bars. *Ann Thorac Surg*. 2014;97(6):2179–2182. PMID: 24882301 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2013.08.066>
87. Schots JP, Vissers YL, Hulsewé KW, Meesters B, Hustinx PA, Pijnenburg A, et al. Addition of video-assisted thoracoscopic surgery to the treatment of flail chest. *Ann Thorac Surg*. 2017;103(3):940–944. PMID: 27939010 <https://doi.org/10.1016/j.athoracsur.2016.09.036>
88. Xia H, Zhu P, Li J, Zhu D, Sun Z, Deng L, et al. Thoracoscope combined with internal support system of chest wall in open reduction and internal fixation for multiple rib fractures. *Exp Ther Med*. 2018;16(6):4650–4654. PMID: 30542416 <https://doi.org/10.3892/etm.2018.6817>
89. Pieracci FM. Completely thoracoscopic surgical stabilization of rib fractures: can it be done and is it worth it? *J Thorac Dis*. 2019;11(Suppl 8):S1061–S1069. PMID: 31205763 <https://doi.org/10.21037/jtd.2019.01.70>
90. Bauman ZM, Beard R, Cemaj S. When less is more: A minimally invasive, intrathoracic approach to surgical stabilization of rib fractures. *Trauma Case Rep*. 2021;32:100452. PMID: 33778146 <https://doi.org/10.1016/j.tcr.2021.100452>
91. Mayberry JC, Terhes JT, Ellis TJ, Wanek S, Mullins RJ. Absorbable plates for rib fracture repair: preliminary experience. *J Trauma*. 2003;55(5):835–839. PMID: 14608152 <https://doi.org/10.1097/01.TA.0000090037.72142.33>
92. Lafferty PM, Anavian J, Will RE, Cole PA. Operative treatment of chest wall injuries: indications, Technique, and outcomes. *J Bone Joint Surg Am*. 2011;93(1):97–110. PMID: 21209274 <https://doi.org/10.2106/JBJS.100696>
93. Hollinger JO, Battistone GC. Biodegradable bone repair materials. Synthetic polymers and ceramics. *Clin Orthop Relat Res*. 1986;(207):290–305. PMID: 3522015

ИНФОРМАЦИЯ ОБ АВТОРАХ

- Тарабрин Евгений Александрович** доктор медицинских наук, заведующий кафедрой госпитальной хирургии № 2, ФГАОУ ВО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова» МЗ РФ; главный научный сотрудник отделения неотложной хирургии, эндоскопии и интенсивной терапии, ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0002-1847-711X>, t_evg_a@mail.ru; 45%: концепция статьи, редактирование текста
- Котанджян Вазген Гагикович** заведующий хирургическим торакальным отделением, ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0001-7838-4890>, dr.kotjan@yandex.ru; 35%: сбор и анализ литературных источников, написание статьи
- Офицеров Андрей Аркадьевич** научный сотрудник отделения биотехнологий и трансфузиологии, ГБУЗ «НИИ СП им. Н.В. Склифосовского ДЗМ»; <https://orcid.org/0000-0003-2170-0009>, 3930590@mail.ru; 20%: сбор и анализ литературных источников

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Surgical Methods of Chest Stabilization in Multiple Rib Fractures

E.A. Tarabrin^{1,2}, V.G. Kotanjyan² ✉, A.A. Ofitserov²

Surgical Thoracic Department

¹ I.M. Sechenov First Moscow State Medical University of the Ministry 2, bldg. 4, Bolshaya Pirogovskaya Str., Moscow, 119991, Russian Federation

² N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine 3, Bolshaya Sukharevskaya Sq., Moscow, 129090, Russian Federation

✉ **Contacts:** Vazgen G. Kotanjyan, Head of the Surgical Thoracic Department, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency. Email: dr.kotjan@yandex.ru

ABSTRACT Closed chest injury occupies one of the leading places among all injuries. Rib fractures can lead to the formation of floating fragments of the chest wall, the “costal valve”. With multiple rib fractures, surgical methods of chest stabilization have been used since the beginning of the 20th century, which have become more popular in recent decades.

Surgical treatment can significantly reduce pain, accelerate the recovery of respiratory function. In turn, a decrease in pain reduces the incidence of pneumonia, the need for mechanical ventilation and tracheostomy, and the period of hospitalization. There are four main surgical methods of treatment: 1) chest traction methods; 2) external fixation devices; 3) methods of permanent internal fixation; 4) plate osteosynthesis. We also separated the group of techniques performed via thoroscopic access and the technique using biodegradable materials. Surgical options in the treatment of patients with multiple rib fractures have not been exhausted and are likely to improve with advances in technology.

Keywords: rib osteosynthesis, closed chest injury, rib fractures

For citation Tarabrin EA, Kotanjyan VG, Ofitserov AA. Surgical Methods of Chest Stabilization in Multiple Rib Fractures. *Russian Sklifosovsky Journal of Emergency Medical Care*. 2023;12(1):110–121. <https://doi.org/10.23934/2223-9022-2023-12-1-110-121> (in Russ.)

Conflict of interest Authors declare lack of the conflicts of interests

Acknowledgments, sponsorship The study had no sponsorship

Affiliations

- | | |
|---------------------|--|
| Evgeny A. Tarabrin | Doctor of Medical Sciences, Health Department, Head of the Department of Hospital Surgery No. 2, I.M. Sechenov First Moscow State Medical University, Chief Researcher, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0002-1847-711X , t_evg_a@mail.ru ; 45%, article concept, text editing |
| Vazgen G. Kotanjyan | Head of the Surgical Thoracic Department of the N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0001-7838-4890 , dr.kotjan@yandex.ru ; 35%, collection and analysis of literary sources, writing an article |
| Andrey A. Ofitserov | Researcher, N.V. Sklifosovsky Research Institute for Emergency Medicine; https://orcid.org/0000-0003-2170-0009 , 3930590@mail.ru ; 20%, collection and analysis of literary sources |

Received on 05.06.2022

Review completed on 19.12.2022

Accepted on 27.12.2022

Поступила в редакцию 05.06.2022

Рецензирование завершено 19.12.2022

Принята к печати 27.12.2022