

ЭВОЛЮЦИЯ ПОДХОДОВ И СОВРЕМЕННЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ ИСКУССТВЕННОЙ ВЕНТИЛЯЦИИ ЛЁГКИХ В ЛЕЧЕНИИ ПОСТРАДАВШИХ С ТЯЖЁЛОЙ ТРАВМОЙ ОРГАНОВ ГРУДНОЙ КЛЕТКИ

А. С. Беньян¹, Г. Ю. Черногаева²

EVOLUTION OF APPROACHES AND CURRENT OPPORTUNITIES OF ARTIFICIAL PULMONARY VENTILATION IN THE TREATMENT OF THOSE WITH SEVERE CHEST TRAUMA

A. S. Benyan¹, G. Yu. Chernogaeva²

¹Самарская областная клиническая больница им. В. Д. Середавина, г. Самара

²ГБУЗ «Самарская городская больница № 4», г. Самара

¹V. D. Seredavin Samara Regional Clinical Hospital, Samara, RF

²Samara Municipal Hospital no.4, Samara, RF

В обзоре литературы отражены исторические контексты и современные представления о возможностях искусственной вентиляции лёгких в лечении тяжёлой травмы грудной клетки. Описаны различные режимы искусственной вентиляции, обосновано их применение с точки зрения патогенеза торакальной травмы. Приведены разные взгляды на выбор метода респираторной поддержки в зависимости от вида повреждений, и показана важная роль внутренней пневматической стабилизации. Вместе с тем отмечено, что перспективы улучшения результатов лечения пострадавших с тяжёлой травмой груди заключаются не столько в создании какого-либо одного метода вентиляции или способа операции, а лежат в направлении сочетанного использования различных методов стабилизации грудной клетки и лечения повреждения лёгочной ткани. Указано, что оптимизации лечебной тактики у пострадавших с травмой груди будут способствовать объективизация показателей эффективности искусственной вентиляции лёгких и анализ предикторов восстановления спонтанного дыхания.

Ключевые слова: травма грудной клетки, искусственная вентиляция лёгких.

The literature review covers the historical background and current concepts of the artificial pulmonary ventilation possibilities in treatment of the severe chest injury. Various regimens of artificial ventilation are described, and their application in terms of thoracic trauma pathogenesis is justified. Different views are given on the choice of the respiratory support method subject to the type of trauma, and the important role of internal pneumatic stabilization is shown. At the same time it is noted that the prospects for improvement of the treatment outcomes with the severe chest injury patients is not so much develop any single method of ventilation or any surgery technique as towards the combined use of various methods of the chest stabilization and treatment of the pulmonary tissue injury. It is stated that the objectification of success rate of the artificial pulmonary ventilation and the analysis of recovery of spontaneous respiratory predictors will contribute to optimization of the treatment policy for the patients with chest injury.

Key words: chest trauma, artificial pulmonary ventilation.

Появление метода искусственной вентиляции лёгких (ИВЛ) в своё время сыграло ключевую роль не только в анестезиологическом обеспечении хирургических вмешательств, но и явилось краеугольным камнем в комплексе реанимационных мероприятий у пострадавших с травматическими повреждениями органов грудной клетки [5, 7, 27]. При этом направление вектора ИВЛ распространялось не только на повреждение лёгких как основного дыхательного органа, но и на достижение

стабилизации всей грудной клетки в целом [10, 32]. Различные режимы вентиляции способны обеспечивать респираторную поддержку вкупе с эффектом внутренней пневматической стабилизации, тем самым выполняя функцию временного протезирования внешнего дыхания. Особенно актуальным этот факт представляется при наличии повреждений костного скелета грудной клетки в виде множественных и флотирующих переломов грудины и рёбер в сочетании с контузией лёгких,

а также острым респираторным дистресс-синдромом (ОРДС) [3, 11, 30].

Совершенно очевидно, что в настоящее время при обсуждении вопросов, связанных с диагностикой и лечением пострадавших с тяжёлой травмой грудной клетки, чётко прослеживаются две парадоксальные закономерности. Первая заключается в том, что бурное развитие автоиндустрии, несмотря на появление новых систем безопасности пассажиров, по-прежнему сопровождается высокими показателями травматизации и летальности среди трудоспособного населения [1, 2, 20]. Второй закономерностью является практически повсеместное превалирование использования ИВЛ в лечении пострадавших с нестабильной грудной клеткой, при том что все современные исследования, посвящённые сравнению эффективности этих методов, свидетельствуют о большей эффективности хирургических методик [4, 22, 35]. Так, по данным группы канадских авторов N. Denghan et al., проводивших обзорное исследование по состоянию проблемы диагностики и лечения флотирующих переломов рёбер, всего у 0,7% пострадавших была применена хирургическая фиксация переломов рёбер, тогда как потребность в проведении ИВЛ с целью стабилизации грудной клетки возникла у 59% пациентов [20].

Современные тенденции в хирургии травмы груди подразумевают расширение показаний к оперативным вмешательствам при множественных и флотирующих переломах рёбер, тем самым обозначая ведущую роль хирургических методов в достижении стабилизации грудной клетки [15]. Прембула обсуждения этого вопроса заключается в том, что ИВЛ, так или иначе, проводят всем пациентам при развитии острой дыхательной недостаточности вне зависимости от применения ресурсов хирургии и травматологии. Однако же в литературе не прослеживается никаких акцентов на то, каков же всё-таки был вклад внутренней пневматической стабилизации у тех пациентов, у которых основным методом лечения стало оперативное вмешательство [8].

Цель работы – отобразить эволюцию применения методов ИВЛ у пострадавших с тяжёлой травмой грудной клетки, а также определить оптимальную программу лечения этих пациентов с учётом современных представлений о необходимости мультидисциплинарного подхода.

Принудительная ИВЛ

Первое сообщение о применении ИВЛ при тяжёлой травме груди с множественными переломами рёбер появилось в 1951 г. в работе B. M. Carter et al. Патогенетическое обоснование предложенной методики заключалось в создании адекватного дренажа трахеобронхиального дерева за счёт трахеостомии и в обеспечении внутренней поддержки лёгких посредством их прерывистой вентиляции [18].

О сочетанном использовании трахеостомии и ИВЛ сообщено в работе A. A. Garzon et al. Авторы провели анализ лечения 12 пострадавших с множественными и флотирующими переломами рёбер в сочетании с повреждениями лёгких. У 11 пациентов была наложена трахеостома преимущественно сразу при поступлении, а 8 пострадавшим проводили ИВЛ в сроки от 3 до 21 дня. Выздоровление наступило у 8 пациентов, умерли 4 человека (преимущественно от внелёгочных причин). В данной работе дано обоснование эффективности лечебных мероприятий путём изучения газового состава артериальной крови [26].

Первые рекомендации по применению постоянной принудительной вентиляции с перемежающимся положительным давлением (IPPV) приведены в сообщении E. E. Avery et al. в 1956 г. Авторы верно представили эффект этого режима вентиляции в качестве метода внутреннего «шинирования» переломов рёбер [13].

Эффективность режима IPPV подтверждена и в работе M. Ambiaravagar et al. на опыте лечения 14 пострадавших с множественными и флотирующими переломами рёбер. Авторы декларировали широкое использование трахеостомии для проведения продлённой ИВЛ и санации трахеобронхиального дерева, а также часто применяли перидуральную анестезию и дренирование плевральной полости при внутриплевральных патологических посттравматических состояниях. Кроме того, отметили, что тяжесть дыхательной недостаточности зависит не столько от степени повреждения костного каркаса груди, сколько от выраженности контузии лёгочной ткани. Тем не менее авторам удалось снизить летальность в этой группе пострадавших до 35,7% [12].

Непрерывное совершенствование методов вентиляции и использование критериев оценки эффективности стабилизации лёгких позволили F. J. Lewis et al. в 1975 г. уменьшить летальность до 29% в группе из 24 пациентов с множественными переломами рёбер. В работе была применена ИВЛ через эндо-трахеальную или трахеостомическую трубку. Среди осложнений отмечены: пневмония – у 4 (17%) пациентов, пневмоторакс – у одного (4%) пациента [34].

Как это достаточно часто происходит в науке, после первого периода увлечённости методикой настало время критической оценки результатов и более взвешенного подхода к выбору способа вентиляции лёгких. J. K. Trinkle et al. сравнили результаты лечения двух групп пострадавших: с применением трахеостомии и ИВЛ и с использованием только консервативных методик. Авторам представили необъяснимые, на первый взгляд, результаты снижения летальности с 21 до 0%, уменьшения частоты осложнений со 100 до 20%, уменьшения сроков госпитализации с 31 до 9 сут в консервативной группе пациентов [47].

С этими данными согласуется и работа S. R. Shackford et al., которые провели ретроспективное сравнительное исследование результатов лечения пострадавших с флотирующими переломами рёбер трёх групп: с применением принудительной продлённой ИВЛ, с применением вспомогательных режимов вентиляции и без применения ИВЛ. Основным критерием для начала ИВЛ авторы считали снижение показателя PaO_2 ниже 60 мм рт. ст. и появление симптомов ОРДС. Наилучшие результаты были получены в группе пациентов без применения ИВЛ, однако авторы указали, что тяжесть повреждений и исходные показатели газообмена в этой группе были более благоприятными. Практическим результатом работы стал вывод о дифференцированном использовании ИВЛ в зависимости от степени тяжести травмы, нарушений газообмена, наличия ОРДС [43].

Со временем метод внутренней пневматической стабилизации приобрёл повсеместное распространение и стал основным в лечении пострадавших с флотирующими переломами рёбер. F. R. Rico et al. в 2007 г. провели работу по компиляции всех используемых в настоящее время способов и режимов ИВЛ при травме груди. Авторы описали основные стратегические направления механической вентиляции, пути развития метода, профилактику осложнений [40].

Неинвазивная ИВЛ

В последние годы появилось множество сообщений о применении неинвазивной вентиляции лёгких (НИВЛ) либо вспомогательного режима NIPPV при лечении пострадавших с флотирующими переломами рёбер и нестабильностью грудной клетки. В 2001 г. H. Tanaka et al. впервые продемонстрировали возможность применения неинвазивной вентиляции в режиме постоянного положительного давления в дыхательных путях (S/T, CPAP) у 59 пациентов с переломами рёбер. Кроме этого, авторы широко использовали вентиляцию с поддержкой давлением (PSV) и респираторные физиотерапевтические методы. Как результат подобного подхода, были получены сокращение сроков интубации трахеи, уменьшение необходимости в трахеостомии и снижение показателей летальности [45].

Более подробное описание этого метода и возможности его применения у пациентов с передним, боковым и задним рёберным клапанами было дано N. Nishiumi et al. в 2007 г. при анализе опыта раннего применения режима НИВЛ (NIPPV) у 43 пострадавших. В работе подчеркнуты два преимущества подобной пневматической стабилизации: отсутствие дополнительного стрессового фактора в остром периоде травмы и возможность временного переключения внимания врачей на другие повреж-

дения. Выживаемость составила 93% (40 пациентов) [39].

Преимущество режима неинвазивной вентиляции перед простой терапией увлажнённым кислородом показали в рандомизированном исследовании G. Hernandez et al. В группе неинвазивной вентиляции показания к интубации и принудительной вентиляции возникли у 12% пострадавших, тогда как в группе оксигенотерапии 40% пациентов были переведены на механическую вентиляцию. При этом статистически значимых различий в частоте пневмоторакса, пребывания в реанимации и летальности не выявлено [29].

M. Gunduz et al. в рандомизированном клиническом исследовании провели сравнение результатов при НИВЛ (CPAP) и NIPPV с режимами ИВЛ (CMV, A/C, VCV, PCV) у 43 пациентов с травмой груди, нуждающихся в респираторной поддержке. Авторы отметили, что в группе неинвазивной вентиляции показатели летальности были ниже (9% против 33%) и внутрибольничной инфекции (9% против 47%), однако эффективность оксигенации и сроки пребывания в отделении реанимации были одинаковы [28].

В 2013 г. D. Chiumello et al. провели систематический обзор литературы и метаанализ 10 научных исследований, посвящённых неинвазивной вентиляции лёгких при травме грудной клетки. Выявили отсутствие преимуществ неинвазивной вентиляции перед эндотрахеальной ИВЛ в плане уменьшения летальности, однако авторы отметили, что неинвазивная вентиляция способствует повышению оксигенации, уменьшению необходимости в интубации, снижению частоты осложнений и внутрибольничной инфекции [19].

Данные схожего исследования по сравнительному метаанализу результатов режимов ИВЛ (CMV, A/C, VCV, PCV) и НИВЛ (CPAP) опубликовали A. Duggal et al. Авторы подчеркнули уменьшение длительности пребывания в отделении реанимации, снижение частоты осложнений и летальности в когорте пациентов, которым проводили неинвазивную вентиляцию лёгких. В заключении было указано, что наилучшие результаты этого метода вентиляции получены у гемодинамически стабильных пострадавших без явлений ОРДС и травмы центральной нервной системы [23].

Подтверждение эффективности пневматической стабилизации с использованием разных режимов (PSV, CPAP) содержится также в отдельных публикациях, касающихся нестабильности грудной клетки после травмы и хирургических вмешательств [24, 38].

Высокочастотная ИВЛ

Среди других режимов вентиляции следует указать метод высокочастотной струйной и осцил-

ляторной ИВЛ (HFOV), в основу которого был положен эффект высокой частоты подачи малых порций дыхательного объёма в обе фазы дыхательного цикла. L. Kiraly et al. привели положительные эффекты этого метода и свидетельства его эффективности и безопасности [33]. D. J. Funk et al. применили высокочастотную вентиляцию у 17 пострадавших с переломами рёбер и ОРДС. Показанием к началу проведения HFOV исследователи считали снижение значения FiO_2 более 0,6. Проведение данного режима вентиляции проявилось в повышении соотношения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$, а также в восстановлении индекса оксигенации [25]. Однако в своей обзорной статье J. E. Scarborough и S. N. Vaslef говорят о том, что, несмотря на полученные позитивные результаты применения высокочастотной ИВЛ у пострадавших с тяжёлой травмой груди, нет убедительных доказательств преимущества этой методики перед неинвазивной вентиляцией лёгких [42].

В обзорной статье M. Bakowitz et al. представили современные возможности интенсивной терапии острого повреждения лёгких и ОРДС у пострадавших с множественными повреждениями. Авторы подчеркнули известные преимущества режима NIPPV, но отметили, что до сих пор не определён оптимальный уровень положительного давления в конце выдоха (ПДКВ), позволяющий минимизировать негативный эффект в виде баротравмы у ряда пациентов. В то же самое время было указано, что, несмотря на перспективные возможности режима NIPPV, интубация трахеи с последующей вентиляцией рекомендуется у пациентов с дыхательной недостаточностью тяжёлой степени, нестабильной гемодинамикой, в качестве обеспечения проведения различных диагностических процедур и с целью предупреждения прогрессирующего повреждения лёгких [14].

И. Э. Малхасян на примере лечения повреждения лёгких разных форм у пациентов с политравмой обосновал этапное применение различных режимов вентиляции, делая акцент на первоначальное применение режима CMV, с последующим плавным переходом на вспомогательные режимы SIMV и CPAP, но при условии использования приёма респираторной поддержки вдоха (PSV). Большое внимание в этом исследовании также было уделено оптимизации значений ПДКВ у пострадавших с разными преобладающими типами расстройств дыхания. Так, у пациентов с ОРДС наилучшие показатели оксигенации и гемодинамики получены при значениях ПДКВ 8–10 см вод. ст., тогда как у пациентов с синдромом острого повреждения лёгких и с нарушенной экскурсией диафрагмы оптимальными являлись значения в пределах 0–5 см вод. ст. Снижение частоты летальных исходов до 37,1% у группы пациентов с исходно несовместимой с жизнью политравмой стало значимым подтверждением применённого алгоритма диагно-

стики типа дыхательной недостаточности и выбора методов её коррекции [6].

Критерии эффективности ИВЛ и предикторы неудачной экстубации

Не менее важным, помимо выбора необходимых параметров вентиляции, является и определение оптимальных сроков перевода на вспомогательные режимы и экстубации пациентов. Исследованию этих вопросов посвящены работы J. F. Bilello et al. Авторы изучили опыт лечения 163 пострадавших с закрытой травмой грудной клетки, у которых проводили ИВЛ. В 25% случаев после экстубации в течение 72 ч потребовалась реинтубация пациентов. На основании ретроспективного анализа авторы предложили в качестве критериев успешной экстубации оценивать значения $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ (не менее 290) и альвеолярно-артериального O_2 градиента (менее 100 мм рт. ст.) [16].

C. V. Brown et al. провели проспективное научное исследование, также посвящённое изучению факторов риска ранней реинтубации у пострадавших с травмой грудной клетки. Авторы выявили такие значимые факторы, как первичная интубация по причине обструкции дыхательных путей, спинномозговая травма, наличие комы различной степени, алкогольный делирий. Частота реинтубации при наличии этих состояний составила 6%. Показатель летальности при необходимости реэкстубации равнялся 6% и существенно превышал это же значение в группе успешной экстубации, равное 0,4% [17].

Во избежание осложнений, связанных с преждевременной экстубацией, и для определения оптимальных сроков проведения ИВЛ I. Dimoroulou et al. предложили использовать в практике предикторы продлённой вентиляционной поддержки (более 7 сут). На основании проспективного наблюдения и статистической обработки (модель логистической регрессии) данных 69 пациентов были выделены такие значимые прогностические факторы продлённой вентиляции, как возраст, наличие тяжёлой черепно-мозговой травмы и двусторонний характер повреждений. В то же время иные критерии – пол, другие сочетанные повреждения, факт лапаротомии у пациентов с абдоминальной травмой, соотношение $\text{PaO}_2/\text{FiO}_2$ на момент госпитализации – не оказали должного влияния на сроки ИВЛ [21].

С этой же целью M. J. Tobin et al. оценивали наличие и выраженность парадоксальных движений грудной клетки и передней брюшной стенки в период отлучения от ИВЛ. Была проведена корреляция между субъективными признаками в виде частоты и амплитуды парадоксальных движений и данными индуктивной плетизмографии дыхательных мышц. Закономерным выводом стало заключение о том, что в группе пациентов с неудачным результатом

восстановления спонтанного дыхания были более выражены и частота, и амплитуда парадоксальных движений [46].

Резюмируя возможности и эффективность методов ИВЛ в хирургии множественных и флотирующих переломов рёбер, очевидным представляется, что популяризации этого направления послужили доступность, распространённость и вполне приемлемые результаты достижения стабилизации грудной клетки. Пред- и послеоперационная респираторная поддержка особенно актуальна у пострадавших с сочетанием множественных переломов рёбер и тяжёлых ушибов лёгочной ткани [31, 36, 44]. Однако на сегодняшний день необходимо попытаться ещё раз обозначить приоритеты в лечении этой группы пострадавших, поскольку все существующие тенденции свидетельствуют о пользе мультимодального подхода [9, 37, 41].

Заключение

Несмотря на появление новейших биомеханических систем остеосинтеза, позволяющих надёжно восстановить повреждения костного скелета грудной клетки, значение ИВЛ в качестве метода пневматической стабилизации не уменьшилось. К тому же некоторые анатомические и топографические характеристики переломов обуславливают определённые ограничения в реализации хирургического

вмешательства, и в этой ситуации роль внутренней пневматической стабилизации становится определяющей. Несомненно лишь то, что перспективы улучшения результатов лечения пострадавших с тяжёлой травмой груди заключаются не столько в создании какого-либо одного метода вентиляции или способа операции, а лежат в направлении сочетанного использования различных методов стабилизации грудной клетки и лечения повреждения лёгочной ткани.

ДЛЯ КОРРЕСПОНДЕНЦИИ:

Бенян Армен Сисакович

ГБУЗ «Самарская областная клиническая больница им. В.Д. Середавина»,

кандидат медицинских наук, заведующий хирургическим торакальным отделением,

443095, г. Самара, ул. Ташкентская, д. 159.

Тел./факс: 8 (846) 956-22-72, 8 (846) 956-13-61.

E-mail: armenbenyan@yandex.ru

Черногаева Галина Юрьевна

ГБУЗ «Самарская городская больница № 4»,

заведующая отделением анестезиологии, реанимации и интенсивной терапии,

443056, г. Самара, ул. Мичурина, д. 125.

Тел.: 8 (846) 312-55-39.

E-mail: gali-c@yandex.ru

Литература

- Афонин А. Н. Осложнения тяжёлой сочетанной травмы. Современное состояние проблемы // Новости анестезиол. и реаниматол. – 2005. – № 2. – С. 1–16.
- Бисенков Л. Н., Кочергаев О. В. Диагностика и лечение ушибов лёгких при закрытых сочетанных травмах груди // Грудная и сердеч.-сосуд. хирургия. – 1998. – № 3. – С. 43–47.
- Вагнер Е. А., Рогоцкий Г. Г., Чернышев В. А. Патологическая физиология травмы груди. – Пермь: Книжное издательство, 1990. – 192 с.
- Еременко А. А., Левиков Д. И., Зорин Д. Е. и др. Применение рекрутирующего манёвра при лечении дыхательной недостаточности у кардиохирургических больных // Анестезиол. и реаниматол. – 2006. – № 6. – С. 37–41.
- Кассиль В. Л., Выхитина М. А., Лескин Г. С. Искусственная и вспомогательная вентиляция лёгких. – М.: Медицина, 2004. – 480 с.
- Малхасян И. Э. Применение искусственной вентиляции лёгких при лечении дыхательной недостаточности у больных с политравмой // Политравма. – 2009. – № 3. – С. 35–42.
- Остапенко Д. А., Неверин В. К., Шишкина Е. В. и др. Тупая травма груди: аспекты патогенеза, клиники, лечения // Реаниматол. и интенс. терапия. – 1998. – № 1. – С. 5–12.
- Пронских А. А., Шаталин А. В., Агаларян А. Х. Раннее оперативное восстановление каркасности грудной клетки у пациентов с политравмой // Политравма. – 2015. – № 1. – С. 48–54.
- Проценко Д. Н., Игнатенко О. В., Ярошечский А. И. и др. Манёвр мобилизации альвеол (рекрутмент) – решённые и нерешённые вопросы // Анестезиол. и реаниматол. – 2006. – № 6. – С. 42–47.
- Царенко С. В. Практический курс ИВЛ. – М.: Медицина, 2007. – 154 с.
- Швайгер Д. Патфизиология, диагностика и терапия флотационного повреждения грудной клетки и ушиба лёгких // Актуал. пробл. анестезиол. и реаниматол. Освежающий курс лекций. – Архангельск, 2003. – № 8. – С. 267–277.
- Ambiavagar M., Robinson J. S., Morrison I. M. et al. Intermittent positive pressure ventilation in the treatment of severe crushing injuries of the chest // Thorax. – 1966. – Vol. 21. – P. 359–366.
- Avery E. E., Benson D. W., Morch E. T. Critically crushed chests: a new method of treatment with continuous mechanical hyperventilation to produce alkalotic apnea and internal pneumatic stabilization // J. Thorac. Cardiovasc. Surg. – 1956. – Vol. 32. – P. 291–311.
- Bakowitz M., Bruns B., McCunn M. Acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome in the injured patient // Scand. J. Trauma. Resusc. Emerg. Med. – 2012. – Vol. 20. – P. 54.
- Bemelman M., Poeze M., Blokhuis T. J. et al. Historic overview of treatment techniques for rib fractures and flail chest // Eur. J. Trauma Emerg. Surg. – 2010. – Vol. 36, № 5. – P. 407–415.
- Bilello J. F., Davis J. W., Cagle K. M. et al. Predicting extubation failure in blunt trauma patients with pulmonary contusion // J. Trauma. Acute. Care. Surg. – 2013. – Vol. 75, № 2. – P. 229–233.
- Brown C. V., Daigle J. B., Foulkrod K. H. et al. Risk factors associated with early reintubation in trauma patients: a prospective observational study // J. Trauma. – 2011. – Vol. 71, № 1. – P. 37–41.
- Carter B. M., Giuseffi J. Tracheostoma a useful operation in thoracic surgery with particular references to its employment in crushing injuries of the thorax // J. Thorac. Surg. – 1951. – Vol. 21. – P. 495.
- Chiumello D., Coppola S., Froio S. et al. Noninvasive ventilation in chest trauma: systematic review and meta-analysis // Intens. Care. Med. – 2013. – Vol. 39, № 7. – P. 1171–1180.
- Dehghan N., de Mestral C., McKee M. D. et al. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank // J. Trauma. Acute. Care. Surg. – 2014. – Vol. 76, № 2. – P. 462–468.
- Dimopoulos I., Anthi A., Lignos M. et al. Prediction of prolonged ventilatory support // Intens. Care. Med. – 2003. – № 29, № 7. – P. 1101–1105.

22. Doben A. R., Eriksson E. A., Denlinger C. E. et al. Surgical rib fixation for flail chest deformity improves liberation from mechanical ventilation // *J. Crit. Care.* – 2014. – Vol. 291. – P. 139–143.
23. Duggal A., Perez P., Golan E. et al. Safety and efficacy of noninvasive ventilation in patients with blunt chest trauma: a systematic review // *Crit. Care.* – 2013. – Vol. 17. – P. R142.
24. Dutta B., Kashyap L. Pneumatic stabilization of iatrogenic flail chest with CPAP: a case report // *Acta Anaesth. Belg.* – 2010. – Vol. 61. – P. 25–28.
25. Funk D. J., Lujan E., Moretti E. W. et al. A brief report: the use of high-frequency oscillatory ventilation for severe pulmonary contusion // *J. Trauma.* – 2008. – Vol. 65. – P. 390–395.
26. Garzon A. A., Gourin A., Seltzer B. et al. Severe blunt chest trauma: studies of pulmonary mechanics and blood gases // *Ann. Thorac. Surg.* – 1966. – Vol. 2. – P. 629–639.
27. Gregoret C., Foti G., Beltrame F. et al. Pressure control ventilation and minitracheotomy in treating severe flail chest trauma // *Intens. Care Med.* – 1995. – Vol. 21. – P. 1054–1056.
28. Gunduz M., Unlugenc H., Ozakvili M. et al. A comparative study of continuous positive airway pressure (CPAP) and intermittent positive pressure ventilation (IPPV) in patients with flail chest // *Emerg. Med. J.* – 2005. – Vol. 22, № 5. – P. 325–329.
29. Hernandez G., Fernandez R., Lopez-Reina P. et al. Noninvasive ventilation reduces intubation in chest trauma-related hypoxemia: a randomized clinical trial // *Chest.* – 2010. – Vol. 137. – P. 74–80.
30. James O., Quail A., Gibbons J. Chest injury: the indications for artificial ventilation // *Anaesth. Intens. Care.* – 1974. – Vol. 2, № 1. – P. 27–32.
31. Jayle C. P., Allain G., Ingrand P. et al. Flail chest in polytraumatized patients: surgical fixation using Stracos reduces ventilator time and hospital stay // *Biomed. Res. Int.* – 2015. – Vol. 2015. – P. 624–723.
32. Karcz M. K., Papadakis P. J. Noninvasive ventilation in trauma // *World. J. Crit. Care. Med.* – 2015. – Vol. 4, № 1. – P. 47–54.
33. Kiraly L., Schreiber M. Management of the crushed chest // *Crit. Care. Med.* – 2010. – Vol. 38, 9 Suppl. – P. S469–S477.
34. Lewis F. J., Thomas A., Schlobohm R. Control of respiratory therapy in flail chest // *Ann. Thorac. Surg.* – 1975. – Vol. 20. – P. 170–176.
35. Moreno De La Santa Barajas P., Polo Otero M. D., Delgado Sánchez-Gracián C. et al. Flail chest management: conservative vs. surgical treatment, early and late outcomes // *Interact. CardioVasc. Thorac. Surg.* – 2011. – Vol. 13, № 1. – P. S44.
36. Muhm M., Härter J., Weiss C. et al. Severe trauma of the chest wall: surgical rib stabilization versus non-operative treatment // *Eur. J. Trauma. Emerg. Surg.* – 2013. – Vol. 39, № 3. – P. 257–265.
37. Nadkarni K. M., Dasgupta D., Bhalerao R. A. Management of flail chest by intermittent positive-pressure respiration (IPPR) // *J. Postgrad. Med.* – 1981. – Vol. 2. – P. 120–122.
38. Nagahiro I., Doi Y., Sato S. et al. Flail chest rescued by mechanical ventilation with early tracheotomy and physiotherapy: report of case // *Kyobu. Geka.* – 2006. – Vol. 59, № 9. – P. 864–866.
39. Nishiumi N., Fujimori S., Katoh N., et al. Treatment with internal pneumatic stabilization for anterior flail chest // *Tokai. J. Exp. Clin. Med.* – 2007. – Vol. 32, № 4. – P. 126–130.
40. Rico F. R., Cheng J. D., Gestring M. L. et al. Mechanical ventilation strategies in massive chest trauma // *Crit. Care Clin.* – 2007. – Vol. 23. – P. 299–315.
41. Rose L. Management of critically ill patients receiving noninvasive and invasive mechanical ventilation in the emergency department // *Open. Acc. Emerg. Med.* – 2012. – Vol. 4. – P. 5–15.
42. Scarborough J. E., Vaslef S. N. Utilization of high-frequency oscillatory ventilation in blunt thoracic trauma // *Trauma.* – 2010. – Vol. 12. – P. 247–256.
43. Shackford S. R., Smith D. E., Zarins C. K. et al. The management of flail chest: a comparison of ventilatory and nonventilatory treatment // *Am. J. Surg.* – 1976. – Vol. 132. – P. 759–762.
44. Slobogean G. P., MacPherson C. A., Sun T. et al. Surgical fixation vs nonoperative management of flail chest: a meta-analysis // *J. Am. Coll. Surg.* – 2013. – Vol. 216, № 2. – P. 302–311.
45. Tanaka H., Tajimi K., Endoh Y. et al. Pneumatic stabilization for flail chest: an 11-year study // *Surg. Today.* – 2001. – Vol. 31. – P. 12–17.
46. Tobin M., Guenther S., Perez W. et al. Konno-Mead analysis of ribcage-abdominal motion during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation // *Am. Rev. Respir. Dis.* – 1987. – Vol. 135. – P. 1320–1328.
47. Trinkle J. K., Richardson J. A., Franz J. L. et al. Management of flail chest without mechanical ventilation // *Ann. Thorac. Surg.* – 1975. – Vol. 19, № 4. – P. 355–363.

References

1. Afonin A.N. Complication of concurrent severe trauma. Current state of the problem. *Novosti Anesteziol. i Reanimatol.*, 2005, no. 2, pp. 1–16. (In Russ.)
2. Bisenkov L.N., Kochergaev O.V. Diagnostics and treatment of pulmonary contusions with closed chest injury. *Grudn. i Serd.-Sosud. Khirurgiya*, 1998, no. 3, pp. 43–47. (In Russ.)
3. Vagner E.A., Rogatskiy G.G., Chernyshev V.A. *Patologicheskaya fiziologiya travmy grudn.* [Pathological physiology of chest trauma]. Perm, Knizhnoye Izdatelstvo Publ., 1990, 192 p.
4. Eremenko A.A., Levikov D.I., Zorin D.E. et al. Use of the open lung concept when managing respiratory failure in cardiac surgery patients. *Anesteziol. i Reanimatol.*, 2006, no. 6, pp. 37–41. (In Russ.)
5. Kassil' V.L., Vyzhigina M.A., Leskin G.S. *Iskusstvennaya i vspomogatel'naya ventilyatsiya lyogkikh.* [Artificial and auxiliary pulmonary ventilation]. Moscow, Meditsina Publ., 2004, 480 p.
6. Malkhasyan I.E. Use of artificial pulmonary ventilation when treating respiratory failure in patients with poly-trauma. *Politравма*, 2009, no. 3, pp. 35–42. (In Russ.)
7. Ostapchenko D.A., Neverin V.K., Shishkina E.V. et al. Crushed chest: aspects of pathogenesis, manifestations and treatment. *Reanimatol. i Intens. Terapiya*, 1998, no. 1, pp. 5–12. (In Russ.)
8. Pronskikh A.A., Shatalin A.V., Agalaryan A.Kh. Early surgical restoration of chest skeleton in patients with poly-trauma. *Politравма*, 2015, no. 1, pp. 48–54. (In Russ.)
9. Protsenko D.N., Ignatenko O.V., Yaroshetskiy A.I. et al. Alveolar mobilization concept (recruitment) - solved and pending questions. *Anesteziol. i Reanimatol.*, 2006, no. 6, pp. 42–47. (In Russ.)
10. Tsarenko S.V. *Prakticheskiy kurs IVL.* [Practical training in APV]. Moscow, Meditsina Publ., 2007, 154 p.
11. Ильяштреп Д. *Патфизиология, диагностика и терапия флотационного поврзхденія грудной клеткі і ушиба легкіх. Актуал. пробл. анестезіол. і реанімаціол. Освежувальний курс лекцій.* [Pathophysiology, diagnostics and therapy of flail chest and pulmonary contusion. Actual issues of anesthesiology and intensive care. Refreshment training course]. Arkhangelsk, 2003, no. 8, pp. 267–277.
12. Ambavagar M., Robinson J.S., Morrison I.M. et al. Intermittent positive pressure ventilation in the treatment of severe crushing injuries of the chest. *Thorax*, 1966, vol. 21, pp. 359–366.
13. Avery E.E., Benson D.W., Morsch E.T. Critically crushed chests: a new method of treatment with continuous mechanical hyperventilation to produce alkalotic apnea and internal pneumatic stabilization. *J. Thorac. Cardiovasc. Surg.*, 1956, vol. 32, pp. 291–311.
14. Bakowitz M., Bruns B., McCunn M. Acute lung injury and the acute respiratory distress syndrome in the injured patient. *Scand. J. Trauma. Resusc. Emerg. Med.*, 2012, vol. 20, pp. 54.
15. Bemelman M., Poeze M., Blokhuis T.J. et al. Historic overview of treatment techniques for rib fractures and flail chest. *Eur. J. Trauma Emerg. Surg.*, 2010, vol. 36, no. 5, pp. 407–415.
16. Bilello J.F., Davis J.W., Cagle K.M. et al. Predicting extubation failure in blunt trauma patients with pulmonary contusion. *J. Trauma. Acute. Care Surg.*, 2013, vol. 75, no. 2, pp. 229–233.
17. Brown C.V., Daigle J.B., Foulkrod K.H. et al. Risk factors associated with early reintubation in trauma patients: a prospective observational study. *J. Trauma*, 2011, vol. 71, no. 1, pp. 37–41.
18. Carter B.M., Giuseffi J. Tracheostoma a useful operation in thoracic surgery with particular references to its employment in crushing injuries of the thorax. *J. Thorac. Surg.*, 1951, vol. 21, pp. 495.

19. Chiumello D., Coppola S., Froio S. et al. Noninvasive ventilation in chest trauma: a systematic review and meta-analysis. *Intens. Care Med.*, 2013, vol. 39, no. 7, pp. 1171-1180.
20. Dehghan N., de Mestral C., McKee M.D. et al. Flail chest injuries: a review of outcomes and treatment practices from the National Trauma Data Bank. *J. Trauma. Acute. Care Surg.*, 2014, vol. 76, no. 2, pp. 462-468.
21. Dimopoulou I., Anthi A., Lignos M. et al. Prediction of prolonged ventilatory support. *Intens. Care Med.*, 2003, 29, no. 7, pp. 1101-1105.
22. Doben A.R., Eriksson E.A., Denlinger C.E. et al. Surgical rib fixation for flail chest deformity improves liberation from mechanical ventilation. *J. Crit. Care*, 2014, vol. 29, pp. 139-143.
23. Duggal A., Perez P., Golan E. et al. Safety and efficacy of noninvasive ventilation in patients with blunt chest trauma: a systematic review. *Crit. Care*, 2013, vol. 17, pp. R142.
24. Dutta B., Kashyap L. Pneumatic stabilization of iatrogenic flail chest with CPAP: a case report. *Acta. Anaesth. Belg.*, 2010, vol. 61, pp. 25-28.
25. Funk D.J., Lujan E., Moretti E.W. et al. A brief report: the use of high-frequency oscillatory ventilation for severe pulmonary contusion. *J. Trauma*, 2008, vol. 65, pp. 390-395.
26. Garzon A.A., Gourin A., Seltzer B. et al. Severe blunt chest trauma: studies of pulmonary mechanics and blood gases. *Ann. Thorac. Surg.*, 1966, vol. 2, pp. 629-639.
27. Gregoret C., Foti G., Beltrame F. et al. Pressure control ventilation and mini-tracheotomy in treating severe flail chest trauma. *Intens. Care Med.*, 1995, vol. 21, pp. 1054-1056.
28. Gunduz M., Unlugenc H., Ozalevi M. et al. A comparative study of continuous positive airway pressure (CPAP) and intermittent positive pressure ventilation (IPPV) in patients with flail chest. *Emerg. Med. J.*, 2005, vol. 22, no. 5, pp. 325-329.
29. Hernandez G., Fernandez R., Lopez-Reina P. et al. Noninvasive ventilation reduces intubation in chest trauma-related hypoxemia: a randomized clinical trial. *Chest*, 2010, vol. 137, pp. 74-80.
30. James O., Quail A., Gibbons J. Chest injury: the indications for artificial ventilation. *Anaesth. Intens. Care*, 1974, vol. 2, no. 1, pp. 27-32.
31. Jayle C.P., Allain G., Ingrand P. et al. Flail chest in polytraumatized patients: surgical fixation using Stracos reduces ventilator time and hospital stay. *Biomed. Res. Int.*, 2015, vol. 2015, pp. 624-723.
32. Karcz M.K., Papadakis P.J. Noninvasive ventilation in trauma. *World. J. Crit. Care Med.*, 2015, vol. 4, no. 1, pp. 47-54.
33. Kiraly L., Schreiber M. Management of the crushed chest. *Crit. Care Med.*, 2010, vol. 38, 9 suppl. pp. S469-S477.
34. Lewis E.J., Thomas A., Schlobohm R. Control of respiratory therapy in flail chest. *Ann. Thorac. Surg.*, 1975, vol. 20, pp. 170-176.
35. Moreno De La Santa Barajas P., Polo Otero M.D., Delgado Sánchez-Gracián C. et al. Flail chest management: conservative vs. surgical treatment, early and late outcomes. *Interact. CardioVasc. Thorac. Surg.*, 2011, vol. 13, no. 1, pp. S44.
36. Muhm M., Härter J., Weiss C. et al. Severe trauma of the chest wall: surgical rib stabilization versus non-operative treatment. *Eur. J. Trauma. Emerg. Surg.*, 2013, vol. 39, no. 3, pp. 257-265.
37. Nadkarni K.M., Dasgupta D., Bhalerao R.A. Management of flail chest by intermittent positive-pressure respiration (IPPR). *J. Postgrad. Med.*, 1981, vol. 2, pp. 120-122.
38. Nagahiro I., Doi Y., Sato S. et al. Flail chest rescued by mechanical ventilation with early tracheotomy and physiotherapy: report of case. *Kyobu. Geka.*, 2006, vol. 59, no. 9, pp. 864-866.
39. Nishiumi N., Fujimori S., Katoh N. et al. Treatment with internal pneumatic stabilization for anterior flail chest. *Tokai. J. Exp. Clin. Med.*, 2007, vol. 32, no. 4, pp. 126-130.
40. Rico F.R., Cheng J.D., Gestrung M.L. et al. Mechanical ventilation strategies in massive chest trauma. *Crit. Care Clin.*, 2007, vol. 23, pp. 299-315.
41. Rose L. Management of critically ill patients receiving noninvasive and invasive mechanical ventilation in the emergency department. *Open. Acc. Emerg. Med.*, 2012, vol. 4, pp. 5-15.
42. Scarborough J.E., Vaslef S.N. Utilisation of high-frequency oscillatory ventilation in blunt thoracic trauma. *Trauma*, 2010, vol. 12, pp. 247-256.
43. Shackford S.R., Smith D.E., Zarins C.K. et al. The management of flail chest: a comparison of ventilatory and nonventilatory treatment. *Am. J. Surg.*, 1976, vol. 132, pp. 759-762.
44. Slobogean G.P., MacPherson C.A., Sun T. et al. Surgical fixation vs nonoperative management of flail chest: a meta-analysis. *J. Am. Coll. Surg.*, 2013, vol. 216, no. 2, pp. 302-311.
45. Tanaka H., Tajimi K., Endoh Y. et al. Pneumatic stabilization for flail chest: an 11-year study. *Surg. Today*, 2001, vol. 31, pp. 12-17.
46. Tobin M., Guenther S., Perez W. et al. Konno-Mead analysis of ribcage-abdominal motion during successful and unsuccessful trials of weaning from mechanical ventilation. *Am. Rev. Respir. Dis.*, 1987, vol. 135, pp. 1320-1328.
47. Trinkle J.K., Richardson J.A., Franz J.L. et al. Management of flail chest without mechanical ventilation. *Ann. Thorac. Surg.*, 1975, vol. 19, no. 4, pp. 355-363.