



ТОРАКОСКОПИЧЕСКИЙ ВЕНТРАЛЬНЫЙ СПОНДИЛОДЕЗ В СИСТЕМЕ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ НЕСТАБИЛЬНЫХ ПОВРЕЖДЕНИЙ ГРУДНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

В.В. Рерих, К.О. Борзых, Д.С. Лукьянов, С.В. Жеребцов
Новосибирский НИИ травматологии и ортопедии

Цель исследования. Оценка эффективности эндоскопических операций в лечении повреждений грудного и груднопоясничного отделов позвоночника.

Материал и методы. Изучены истории болезни 88 пациентов, оперированных по поводу свежих нестабильных переломов грудных и поясничных позвонков. Исследованы показатели рентгенологической динамики кифотической деформации, продолжительность операции, интраоперационная кровопотеря, а также интенсивность болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде с использованием визуально-аналоговой шкалы.

Результаты. Лучшие результаты при комбинированных вмешательствах получены при использовании вентрального спондилодеза с применением имплантатов. Этап торакоскопического спондилодеза в среднем превышал по времени спондилодез, выполненный из торакотомного доступа. Кровопотеря меньше, чем при вмешательстве, выполненном открытым способом. Болевой синдром меньше выражен у пациентов, перенесших торакоскопический спондилодез.

Заключение. Двухэтапные комбинированные вмешательства позволяют добиться надежной короткоотрезной стабилизации на поврежденном уровне с минимальной потерей коррекции вследствие циркулярной фиксации. Применение метода эндоскопического спондилодеза обеспечивает формирование полноценного костного блока при малой травматичности операции. Наименьшая потеря коррекции наблюдается при использовании вентральных имплантатов.

Ключевые слова: груднопоясничные нестабильные переломы, торакоскопия, спондилодез.

THORACOSCOPICALLY ASSISTED ANTERIOR
FUSION FOR UNSTABLE THORACOLUMBAR
SPINE FRACTURES

V.V. Rerikh, K.O. Borzykh, D.S. Lukyanov, S.V. Zherebtsov

Objective. To assess the efficacy of endoscopic surgery for treatment of thoracolumbar spine fractures.

Material and Methods. Retrospective case history review of 88 patients operated on for acute unstable fractures of thoracic and lumbar vertebrae was performed. Radiological dynamics of kyphosis, operation time, intraoperation blood loss, and pain syndrome severity were assessed in the early postoperative period using visual analogue scale.

Results. The best results in combined interventions were achieved using anterior spinal fusion with implant insertion. The average operation time for thoracoscopic fusion exceeded that for thoracotomy approach. The blood loss was less than during open surgery. The pain syndrome intensity was less in patients who underwent thoracoscopic fusion.

Conclusion. A two-stage combined intervention provides a reliable short-segment stabilization at the injured level with minimal loss of correction due to a circumferential fixation. Endoscopic fusion ensures formation of a solid bone block by less invasive surgery. The smallest loss of correction is observed when anterior implants are used.

Key Words: unstable thoracolumbar fractures, thoracoscopy, spinal fusion.

Hir. Pozvonoc. 2009;(2):8–16.

Несомненно, что хирургическое лечение нестабильных переломов имеет неоспоримые преимущества перед консервативным методом, так как позволяет добиться эффективной коррек-

ции и надежной стабилизации поврежденного сегмента.

Фиксация поврежденных отделов позвоночника, характеризующихся разрушением костных и связочных

структур, должна определяться биомеханикой позвоночного сегмента. Наименьшее изменение биомеханики с позиций достижения равновесного спондилодеза достигается

В.В. Рерих, канд. мед. наук, зав. отделением патологии позвоночника; К.О. Борзых, науч. сотрудник отделения патологии позвоночника; Д.С. Лукьянов, канд. мед. наук, ст. науч. сотрудник отделения анестезиологии и реаниматологии; С.В. Жеребцов, канд. мед. наук, ст. науч. сотрудник отделения патологии позвоночника.

рациональным использованием дорсального и вентрального инструментария. Альтернативным способом выполнению вентрального спондилодеза на грудном и груднопоясничном отделах позвоночника через торакотомию является осуществление его с использованием торакоскопии, что уменьшает травматичность хирургического вмешательства и определяет его преимущества.

Цель исследования — оценка эффективности эндоскопических операций в лечении повреждений груднопоясничного отдела позвоночника.

Материал и методы

Проанализировано 88 историй болезни пациентов 17–56 лет (49 мужчин и 39 женщин), оперированных в 2001–2006 гг. по поводу свежих нестабильных переломов грудных и поясничных позвонков. Основные причины травмы: 56% падение с высоты, 22% — автодорожная травма (табл. 1). Средний возраст пациентов — 31,6 года.

При поступлении пострадавшего в клинику проводилось комплексное клинико-рентгенологическое обследование с использованием КТ поврежденного и смежных позвонков. При рутинном рентгенологическом исследовании оценивался угол сегментарного кифоза на уровне повреждения с учетом сагиттального индекса на соответствующих уровнях. Кифоз измерялся от краниальной замыкательной пластинки вышележащего и каудальной нижележащего интактных позвонков [12].

Для формирования окончательного суждения о стабильности повреж-

денных сегментов с позиции универсальной классификации повреждений грудных и поясничных позвонков при КТ-исследовании оценивалось состояние заднего остеолигаментозного комплекса на уровне повреждения и степень повреждения вентральной колонны [11].

Для оценки лигаментозной стабильности с целью выявления разрыва над- и межкостистой связок в ряде случаев использована МРТ. В исследуемой группе нестабильные повреждения локализовались на уровне D₁₁ у 47 пострадавших, на уровне D₁₂ — у 21, на уровне L₁ — у 32. Критерии отбора пациентов для исследования следующие: наличие нестабильного монолокального повреждения грудных и груднопоясничных сегментов позвоночника, нарушение целостности задних структур поврежденных позвонков, отсутствие вертеброгенной неврологической симптоматики. Всем пациентам проводилось двухэтапное оперативное лечение, включающее транспедикулярную фиксацию и вентральный спондилодез. Вентральный спондилодез проводился для стабилизации передней колонны позвоночника и достижения биомеханического равновесия в зоне спондилосинтеза поврежденного сегмента. Передняя декомпрессия в ходе второго этапа не проводилась. Первым этапом у всех пациентов проведена транспедикулярная фиксация, коррекция всех компонентов деформации, лигаментотаксис по показаниям. Вторым этапом проведены вентральный эндоскопический спондилодез (31 пациент), вентральный спондилодез торакотомическим доступом, выполненный одномоментно (22 пациента), и вентраль-

ный спондилодез торакотомическим доступом, выполненный отсроченно (35 пациентов). Исследованы время операции и интраоперационная кровопотеря у всех оперированных пациентов, а также интенсивность болевого синдрома в раннем послеоперационном периоде по визуально-аналоговой шкале (ВАШ). Сроки наблюдения составили от 4 мес. до 7 лет. Рентгенологическая динамика осевой деформации определялась в послеоперационные сроки 4–6 мес., в отдельных случаях — от 12 мес. до 7 лет.

Хирургическая техника. Дорсальный этап оперативного вмешательства (транспедикулярная фиксация) проведен по общепринятой методике коррекции всех видов посттравматической деформации, стабилизации поврежденного сегмента. Таким способом выполнен остеосинтез поврежденных структур заднего остеолигаментозного комплекса. Вентральный спондилодез торакотомным доступом осуществлен в соответствии с общепринятыми принципами торакальной хирургии. Торакоскопический спондилодез также проведен по общепринятой методике.

Операцию осуществляли в положении пациента на левом боку (рис. 1). Под рентгенологическим контролем в проекции центрального повреждения передних отделов позвоночника формировали основной рабочий порт, а также на 1–2 межреберья выше и ниже — порты для эндоскопической видеокамеры и ретрактора диафрагмы, при необходимости формировали дополнительный порт для легочного ретрактора (рис. 2). Под рентгеновским контролем локализовали уровень повреждения (рис. 3), проводили рассечение медиастинальной плевры, лигирование сегментарных сосудов с учетом анатомии их расположения и возможных вариантов, в том числе и межсегментарного кровотока.

При формировании дефекта для имплантата использовали базовый и специальный инструментарий, позволяющий контролировать положение имплантата в дефекте

Таблица 1

Распределение пациентов в зависимости от вида травмы и хирургического вмешательства (n = 88)

Вид травмы	Виды хирургических вмешательств		
	эндоскопические	одномоментные	двухэтапные
Кататравма	21	10	25
Автодорожная	4	11	7
Другие	6	1	3

в трех измерениях, с учетом двухплоскостного изображения на экране (рис. 4). В результате манипуляций определяли необходимые размеры имплантатов. В соответствии с размерами дефекта устанавливали имплантат (рис. 5) или аутотрансплантат в положении приданной экстензии на уровне сформированного дефекта при помощи экстензионного рентгенографического устройства.

Следует особо отметить необходимость постоянного рентгенологического контроля в двух проекциях в ходе операции.

Манипуляции на позвоночнике заканчивали ушиванием медиастинальной плевры. Раны портов ушивали с дренированием (рис. 6).

Эндоскопическая хирургия позвоночника предъявляет высокие требования к анестезиологическому обеспечению операции. Торакоскопические вмешательства предполагают использование общей анестезии с использованием искусственной вентиляции легких (ИВЛ) через эндотрахеальную трубку, позволяющую обеспечивать адекватную оксигенацию и в реальном времени оценивать адекватность вентиляции. Применяемая раздельная вентиляция легких представляет собой независимую друг от друга вентиляцию каждого легкого, обычно с помощью двухпросветной трубки и двух респираторов. На оперируемой стороне проводили ИВЛ в режиме IPPV с ДО = 4–5 мл/кг и МОД = 80–100 мл/кг, FiO₂ 50%. На контрлатеральной стороне проводили струйную высокочастотную ИВЛ [1].

После введения эндоскопа в плевральную полость высокочастотную ИВЛ прекращали и возобновляли после введения всего инструментария таким образом, чтобы вентилировалась только верхушка легкого. Указанная схема вентиляции обеспечивает адекватный уровень оксигенации на всех этапах вмешательства [4].

Для поддержания анестезии чаще всего используются варианты тотальной внутривенной анестезии (ТВА) на основе дормикума или пропофола. Проведение ТВА позволяет добиться-



Рис. 1

Положение пациента на операционном столе

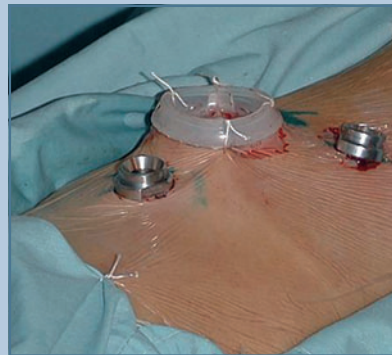


Рис. 2

Расположение портов для проведения эндоскопического спондилодеза

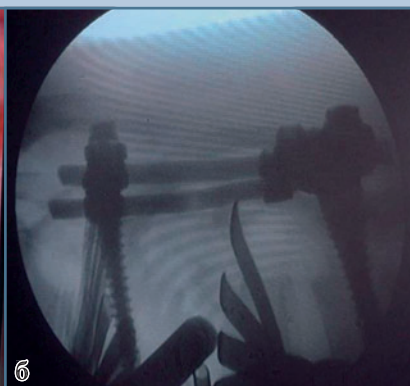
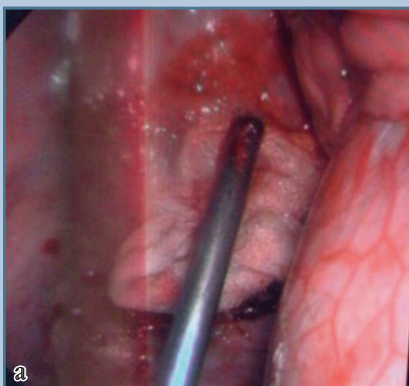


Рис. 3

Определение сломанного тела позвонка в условиях торакоскопии (а), при помощи ЭОП (б)

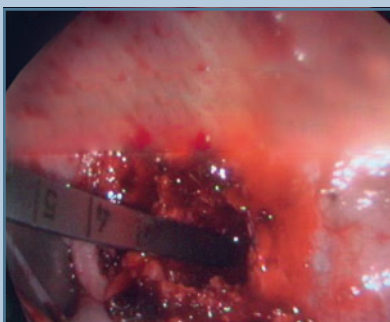
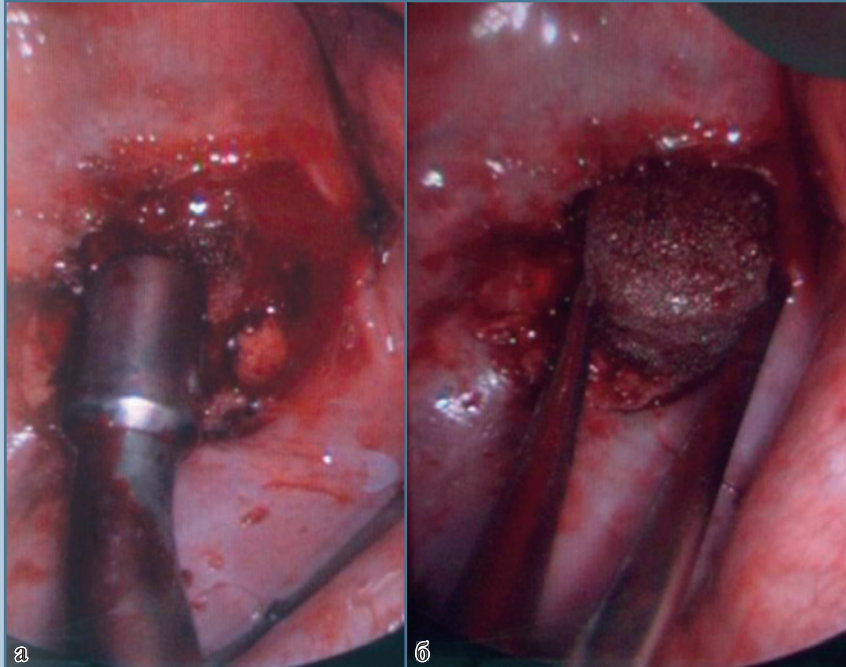


Рис. 4

Определение величины формируемого дефекта измерительной линейкой на уровне поврежденного сегмента позвоночника

ся адекватного уровня анестезии с минимальным депрессивным влиянием на гемодинамику, быстрого пробуждения больных в посленаркотическом периоде.

Тактика инфузионной терапии при данных вмешательствах стандартная, направленная на компенсацию исходных и интраоперационных потерь.

**Рис. 5**

Установка имплантата в сформированный костный дефект:

а – позиционирование имплантата из пористого никелида титана;

б – плотное погружение имплантата в дефект

**Рис. 6**

Раны грудной клетки в области удаленных портов ушиты, плевральная полость дренирована

Таблица 2

Коррекция кифотической деформации при различных видах операций ($M \pm m$)

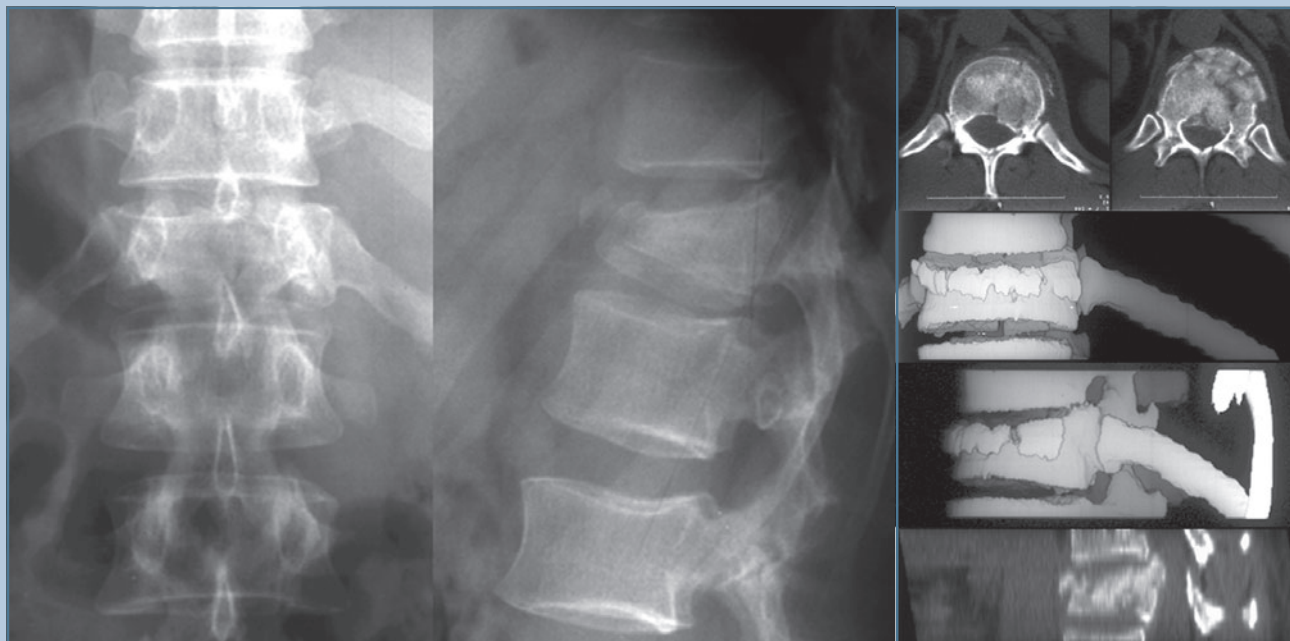
Виды операций	Величина кифотической деформации, град	
	до операции	после операции
Эндоскопические	$17,1 \pm 6,1$	$3,4 \pm 1,5$
Одномоментные с торакотомией	$21,0 \pm 9,9$	$4,3 \pm 3,9$
Двухэтапные с торакотомией	$18,0 \pm 6,1$	$6,6 \pm 0,7$

По окончании операции торакоскопического спондилодеза под контролем эндоскопа производили раздувание коллабированного легкого, сдувание бронхиальной манжеты, чтобы обеспечить вентиляцию обоих легких.

Результаты

При оценке деформаций по рентгенограммам в послеоперационном периоде отмечена их полная коррекция у всех пациентов, существенных различий при проведении торакоскопическо-

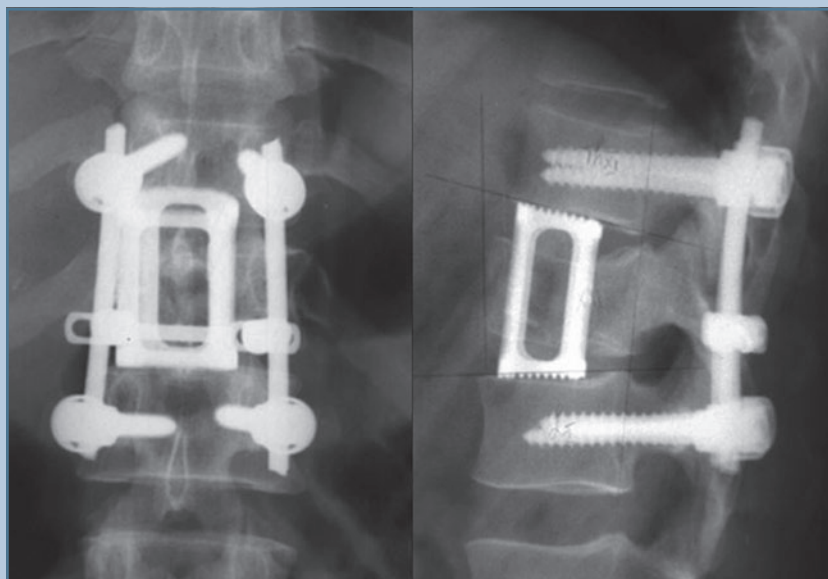
го и торакотомного спондилодезов не отмечено, поскольку коррекция деформации проведена первым этапом из дорсального доступа и не представляла собой больших трудностей при острой травме позвоночника (табл. 2). Более подробно исследована динамика изменений кифотической деформации при применении костных аутографтов и имплантатов при торакоскопическом спондилодезе. Костные аутографты при торакоскопическом спондилодезе применены в 16 случаях, имплантаты из пористого никелида титана, адаптированные моносегментарные и бисегментарные эндофиксаторы позвоночника — в 15.

**Рис. 7**

Рентгенограммы и КТ позвоночника пациента Л., 35 лет, до операции

Клинический пример. Пациент Л., 35 лет, получил травму в результате падения с высоты. После обследования установлен диагноз: закрытый неосложненный нестабильный взрывной перелом L₁ позвонка со смещением фрагментов в позвоночный канал (рис. 7). Выполнено оперативное лечение — трансдидулярная фиксация и вентральный спондилодез эндофиксатором и аутокостью. Через восемь дней после операции пациент выписан на амбулаторное лечение. При этапном контрольном обследовании через 8 мес. выявлен состоятельный костный блок, потери коррекции нет (рис. 8).

Несмотря на стабильную дорсальную фиксацию, при применении костных аутооттрансплантатов в отдаленном периоде отмечена потеря достигнутой коррекции в среднем до $27,5 \pm 3,5\%$, а при применении имплантатов потеря коррекции была значительно ниже — в среднем $14,5 \pm 2,4\%$ (рис. 9).

**Рис. 8**

Рентгенограммы позвоночника пациента Л., 35 лет, в прямой и боковой проекциях через 8 мес. после двухэтапного хирургического лечения (вентральный спондилодез эндофиксатором и аутокостью проведен эндоскопическим способом)

Анализ длительности операции и кровопотери показал, что длительность торакоскопического спондилодеза в среднем на 15,5% превышала длительность открытой методики спондилодеза. Общее время обоих

этапов операции также было больше — на 12,6% (табл. 3).

Кровопотеря при торакоскопическом спондилодезе была ниже на 59,7%, чем при открытой методике и составила в среднем $162,0 \pm 77,8$

мл. Общая кровопотеря обоих этапов при применении эндоскопии также была существенно ниже, чем при традиционных двухэтапных вмешательствах, как одномоментных, так и разведенных во времени (табл. 4).

В ходе исследования интенсивности болевого синдрома по ВАШ в раннем послеоперационном периоде при торакокопии отмечен более приемлемый пациентами уровень послеоперационной боли в сравнении с торакотомией в течение первых семи дней после операции (рис. 10). Разница нивелировалась только к 10–14 дню. Меньшая интенсивность боли отмечена больными, которым после проведенной задней внутренней фиксации осуществлялся второй этап — вентральный спондилодез эндоскопическим способом через 5–8 дней после транспедикулярной фиксации (рис. 11).

Осложнения после торакоскопического спондилодеза – два случая экссудативного плеврита, купированного консервативно в период госпитализации пациентов. В одном случае при возникновении кровотечения из варикозно расширенной межсегментарной вены проведена торакотомия, гемостаз. Этот пациент отнесен в группу больных с торакотомиями.



Рис. 9

Изменение сегментарного кифоза при применении имплантатов и аутоотрансплантатов: 1 – кифотическая деформация до операции; 2 – после операции; 3 – в отдаленном периоде; $p < 0,05$

Таблица 3

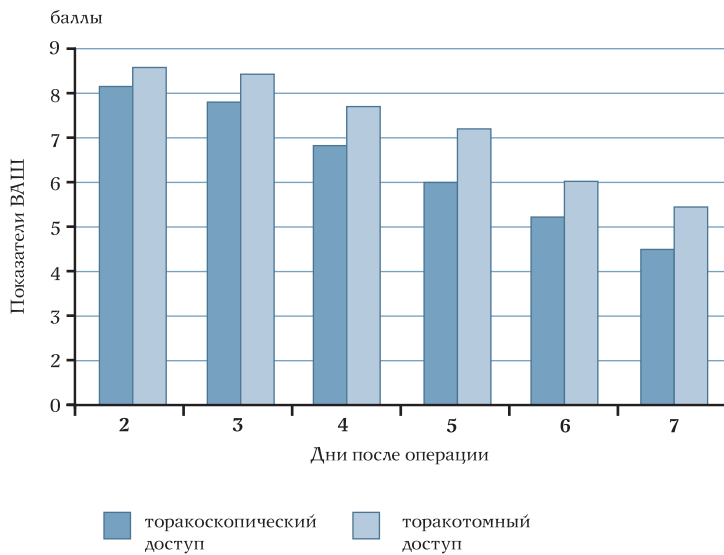
Длительность этапов хирургических вмешательств, мин ($M \pm m$)

Виды операций	Этап транспедикулярной фиксации	Этап вентрального спондилодеза	Общая длительность
Эндоскопические	$129,3 \pm 42,6$	$163,4 \pm 41,8$	$247,0 \pm 32,5$
Одномоментные с торакотомией	$148,3 \pm 43,6$	$130,6 \pm 44,2$	$219,0 \pm 25,5$
Двухэтапные с торакотомией	$131,4 \pm 42,7$	$151,0 \pm 61,7$	$217,0 \pm 16,7$

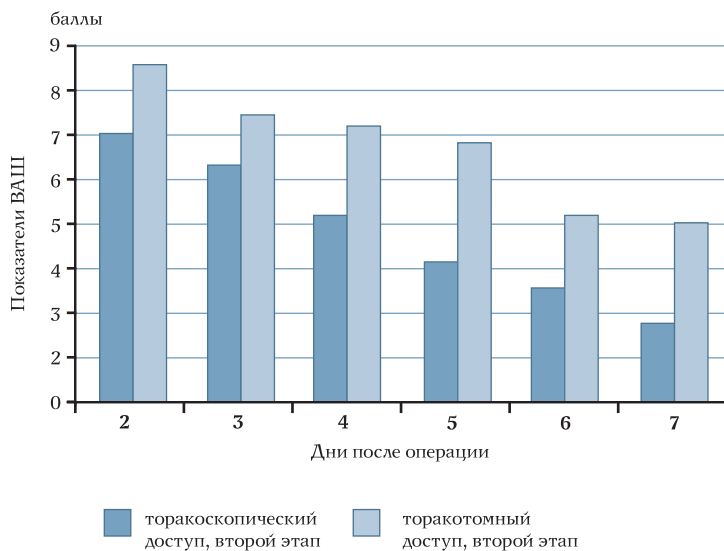
Таблица 4

Объем общей кровопотери на разных этапах хирургических вмешательств, мл ($M \pm m$)

Виды операций	Этап транспедикулярной фиксации	Этап вентрального спондилодеза
Эндоскопические	$208,0 \pm 108,0$	$162,0 \pm 77,8$
Одномоментные с торакотомией	$205,0 \pm 104,0$	$406,0 \pm 43,6$
Двухэтапные с торакотомией	$215,0 \pm 104,0$	$380,0 \pm 350,0$

**Рис. 10**

Сравнение показателей боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) в послеоперационном периоде при двухэтапных одномоментных вмешательствах у пациентов, оперированных с использованием эндоскопического и торакотомного доступов

**Рис. 11**

Сравнение показателей боли по визуально-аналоговой шкале (ВАШ) в послеоперационном периоде при неодномоментных двухэтапных вмешательствах у пациентов, оперированных с использованием торакоскопического и торакотомного доступов

Обсуждение

По материалам литературы [6, 16] и нашим данным [2, 3], лучшие результаты лечения нестабильных повреждений, преимущественно типов В и С по универсальной классификации повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника, достигаются при этапных комбинированных вмешательствах — короткоsegmentарной транспедикулярной фиксации и коррекции посттравматической деформации из дорсального доступа и вентральной стабилизации для достижения равновесия в зоне спондилодеза. Комбинированные операции, выполненные на уровне поврежденных грудных и поясничных позвонков, позволяют добиться прочной циркулярной фиксации поврежденного сегмента, а в последующем — состоятельного костного блока.

Применение костных ауто трансплантатов во время торакоскопической вентральной стабилизации привело к более выраженной степени потери полученной коррекции, чем применение вентральных металлических имплантатов. Эти данные в последующем позволили нам ограничить применение аутокости в качестве основного пластического материала из-за низких прочностных качеств в пользу использования металлических фиксаторов в сочетании с костным пластическим материалом. В этом наши данные согласуются с данными литературы [13].

Проведение двухэтапного оперативного лечения связано с необходимостью сочетания как дорсального доступа, так и обширных доступов к вентральным отделам позвоночника. В грудном и грудно-поясничном отделах позвоночника, где наиболее часто локализуется повреждение передней колонны, для достижения вентральной стабилизации применяют метод торакоскопического вентрального спондилодеза [2, 3, 5, 7–9, 14, 15].

Условиями для проведения эндоскопического вентрального спондило-

деза являются уровень центрального повреждения тел позвонков от средне- и нижнегрудного отделов позвоночника до краниальной части L₁ позвонка, отсутствие выраженной кифотической деформации на уровне перелома, относительно низкий уровень стояния диафрагмы. Противопоказания к торакокопии – плевродез вследствие заболеваний органов грудной полости, перенесенные ранее торакотомии, эмпиемы, наличие тяжелой бронхолегочной и сердечной патологий, обструктивный синдром [8, 10, 15]. Методика торакокопического спондилодеза при тщательном отборе пациентов [9] и соблюдении хирургической технологии позволяет добиться надежной стабилизации ventральных отделов позвоночника и является менее инвазивной процедурой по сравнению с торакотомией [7]. Применение торакокопии позволяет избежать таких последствий открытых операций на ventральных отделах грудных сегментов позвоночника, как выраженный послеоперационный болевой синдром, сердечно-легоч-

ные нарушения, длительная реабилитация, связанная с обширностью вмешательства, пересечением плоских мышц грудной клетки, резекцией ребер, кровопотерей [14].

Торакокопические операции являются технически сложными вмешательствами, требующими как обеспечения специальным эндоскопическим, хирургическим и анестезиологическим оборудованием, так и подготовки хирургической бригады и анестезиолога [5, 8]

Осложнения, описанные Т.Н. Huang et al. [9], Н. Hertlein et al. [7], являются типичными и достигают, по их данным, 25%. Эти же авторы указывают, что число осложнений уменьшается по мере накопления опыта применения эндоскопических вмешательств на ventральных отделах позвоночника.

Осложнение, зафиксированное нами у одного пациента, явилось не следствием технических ошибок, а результатом ограниченных возможностей способа осуществления гемостаза. Не во всех случаях используемый для проведения торакоко-

пического спондилодеза инструментарий позволяет осуществить надежный гемостаз, в таких случаях переход на торакотомию является вынужденным.

Гидроторакс у двух пациентов причинно-следственных связей с торакокопией, по нашему мнению, не имеет.

Заключение

Эндоскопическая хирургия представляет собой перспективное направление оперативной вертебрыологии, она позволяет уменьшить травматичность оперативных вмешательств. Спондилодез, выполненный с использованием эндоскопии в сочетании с задней внутренней фиксацией, является адекватным способом достижения равновесия в зоне поврежденного сегмента при лечении пациентов с нестабильными переломами позвонков грудного и грудопоясничного отделов позвоночника. Использование имплантатов при выполнении ventрального спондилодеза предпочтительно для проведения данного вида операций.

Литература

1. Агесенко А.М., Шевченко В.П., Симонович А.Е. Анестезиологическое обеспечение лапароскопического спондилодеза // Науч.-практ. конф. травматологов-ортопедов Республики Беларусь: Тез. докл. Минск, 2000. Т.2. С. 5–7.
2. Рерих В.В., Борзых К.О., Жеребцов С.В. Эндоскопический спондилодез в системе хирургического лечения нестабильных повреждений груднопоясничного отдела позвоночника // VII съезд травматологов-ортопедов России: Тез. докл. Новосибирск, 2002. С. 104.
3. Рерих В.В., Борзых К.О., Жеребцов С.В. Современные технологии при лечении тяжелых повреждений позвоночника // Актуальные вопросы травматологии и ортопедии. Красноярск, 2004. С. 164–165.
4. Рид А.П., Каплан Дж.А. Клинические случаи в анестезиологии. М., 1995.
5. Усиков В.Д., Фадеев Е.М., Пташников Д.А. и др. Опыт выполнения эндоскопических операций в хирургическом лечении повреждений грудного отдела позвоночника // Травматология и ортопедия XXI века: Тез. докл. 8-го съезда травматологов-ортопедов России. Самара, 2006. Т. 2. С. 752–753.
6. Esses S.L., Botsford D.J., Kostuik J.P. Evaluation of surgical treatment for burst fractures // Spine. 1990. Vol. 15. P. 667–673.
7. Hertlein H., Hartl W.H., Piltz S., et al. Endoscopic osteosynthesis after thoracic spine trauma: a report of two cases // Injury. 2000. Vol. 31. P. 333–336.
8. Horn E.M., Henn J.S., Lemole G.M., et al. Thoracoscopic placement of dual-rod instrumentation in thoracic spinal trauma // Neurosurgery. 2004. Vol. 54. P. 1150–1154.
9. Huang T.J., Hsu R.W., Sum C.W., et al. Complications in thoracoscopic spinal surgery: a study of 90 consecutive patients // Surg. Endosc. 1999. Vol. 13. P. 346–350.
10. Kim D.H., Jahng T.A., Balabhadra R.S., et al. Thoracoscopic transdiaphragmatic approach to thoracolumbar junction fractures // Spine J. 2004. Vol. 4. P. 317–328.
11. Magerl F., Aebi M., Gertzbein S.D., et al. A comprehensive classification of thoracic and lumbar injuries // Eur. Spine J. 1994. Vol. 3. P. 184–201.
12. McLain R.F., Sparling E., Benson D.R. Early failure of short-segment pedicle instrumentation for thoracolumbar fractures // J. Bone Joint Surg. Am. 1993. Vol. 75. P. 162–167.
13. Morrison R.H., Thierolf A., Weckbach A. Volumetric changes of iliac crest autografts used to reconstruct the anterior column in thoracolumbar fractures: a follow-up using CT scans // Spine. 2007. Vol. 32. P. 3030–3035.
14. Potulski M., Beisse R., Bühren V. [Thoracoscopy-guided management of the “anterior column”. Methods and results] // Orthopade. 1999. Vol. 28. P. 723–730. German.

15. **Ringel F., Stoffel M., Stürer C., et al.** Endoscopy-assisted approaches for anterior column reconstruction after pedicle screw fixation of acute traumatic thoracic and lumbar fractures // Neurosurgery. 2008. Vol. 62. P. ONS445–ONS452.
16. **Stancic M.F., Gregorovic E., Nozica E., et al.** Anterior decompression and fixation versus posteri-

or reposition and semirigid fixation in the treatment of unstable burst thoracolumbar fracture: prospective clinical trial // Croat. Med. J. 2001. Vol. 42. P. 49–53.

Адрес для переписки:

Рерих Виктор Викторович
630091, Новосибирск, ул. Фрунзе, 17,
НИИТО,
VRerih@niito.ru

Статья поступила в редакцию 01.03.2009