

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ВЗРЫВНЫХ ПЕРЕЛОМОВ ТЕЛ ПОЗВОНКОВ ГРУДНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛОВ ПОЗВОНОЧНИКА

Рерих В.В.^{1,2}, Синявин В.Д.¹

¹ФГБУ «ННИИТО им. Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: niito@niito.ru; VRerih@niito.ru;

²ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный медицинский университет» Минздрава России, Новосибирск

Выбор эффективного хирургического лечения взрывных переломов тел позвонков и их последствий в грудном и поясничном отделах позвоночника не имеет определенности. Цель: провести анализ эффективности способов хирургического лечения взрывных переломов тел позвонков (типов А3, А4 по классификации AO/Spine грудного и поясничного отделов позвоночника). Для настоящего обзора поиск подходящих исследований проводился в базе PubMed, социальной сети Research Gate, научной электронной библиотеке eLIBRARY. Были использованы следующие ключевые слова (на английском языке): «позвонок», «перелом» или «перелом позвонка»; «аугментация», «стабилизация позвонка», «задняя стабилизация»; «кифоз», «циркулярная стабилизация». Хронологические границы поиска составили с 2011 по 2021 гг. На втором шаге отобраны только полнотекстовые источники. На третьем этапе выбраны работы, содержащие в себе клинические исследования, метаанализы, систематические обзоры по данной теме. На последнем этапе исключены источники, содержащие данные об оперативных методах лечения нестабильных, и/или осложненных, и/или патологических переломов тел позвонков. Работы оценивались по следующим параметрам: по степени коррекции кифотической деформации по методу Cobb после оперативного вмешательства, степени потери коррекции не менее чем через 12 месяцев послеоперационного наблюдения, а также по разнице VAS (Visual Analog Scales), разнице функциональных исходов по ODI (Oswestry Disability Index). В ходе обзора выявлено, что преобладающим методом лечения у пациентов с неполными и полными взрывными переломами тел позвонков грудного и поясничного отделов являются методы задней фиксации. По результатам коррекции кифоза имеются отличия, однако для снижения рисков потери коррекции необходима дополнительная аугментация винтов, особенно у пациентов с низкой минеральной плотностью костной ткани. Для этой же группы пациентов такой результат возможен и может быть достигнут при применении гибридной стабилизации как альтернативы вентральному спондилодезу.

Ключевые слова: взрывной перелом, позвонок, задняя стабилизация, гибридная стабилизация, циркулярная стабилизация, аугментация.

SURGICAL TREATMENT OF BURST FRACTURES OF THE VERTEBRAL BODIES OF THE THORACIC AND LUMBAR SPINE (LITERATURE REVIEW)

Rerikh V.V.^{1,2}, Sinyavin V.D.¹

¹Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail: clinic@niito.ru;

²Novosibirsk State Medical University, Novosibirsk

The choice of effective surgical treatment of explosive fractures of the vertebral bodies and their consequences in the thoracic and lumbar spine has no certainty. To analyze the effectiveness of methods of surgical treatment of explosive fractures of vertebral bodies (types A3, A4 according to the AO/Spine classification of the thoracic and lumbar spine). Materials and methods. For this review, the search for suitable studies was carried out in the PubMed database, the ResearchGate social network, and the eLibrary scientific electronic library. The following keywords were used (in English): «vertebra», «fracture» or «vertebral fracture»; «augmentation», «vertebral stabilization», «posterior stabilization»; «kyphosis», «circular stabilization». The chronological boundaries of the search were from 2011 to 2021. In the second step, only full-text sources are selected. At the third stage, papers containing clinical studies, meta-analyses, and systematic reviews on this topic were selected. At the last stage, sources containing data on surgical methods of treatment of unstable and/or complicated and/or pathological fractures of vertebral bodies are excluded. The work was evaluated according to the following parameters: the degree of correction of kyphotic deformity by the Cobb method after surgery, the degree of loss of correction after at least 12 months of postoperative follow-up, as well as the difference in VAS (Visual Analog Scales), the difference in functional outcomes by ODI (Oswestry Disability Index). The review revealed that the predominant method in patients with incomplete and complete explosive fractures of the thoracic and lumbar vertebral bodies is the posterior fixation methods. According to the results of correction of kyphosis, there are differences, however, to reduce the risks of loss of correction, additional augmentation of screws is necessary, especially in

patients with low bone mineral density. For the same group of patients, such a result is possible and can be achieved with the use of hybrid stabilization as an alternative to ventral fusion.

Keywords: burst fracture, vertebrae, posterior stabilization, hybrid stabilization, circular stabilization, augmentation.

Взрывные переломы тел позвонков грудного и поясничного отделов составляют от 10% до 20% всех переломов позвоночника [1]. Оптимальная стратегия лечения менее тяжелых типов переломов позвонков (A0-A2) была описана как консервативная с наилучшим соотношением пользы и риска и хирургическая – для тяжелых типов повреждений (B и C), особенно осложненных [2, 3]. Однако не существует консенсуса в отношении переломов типа A3 (неполный взрывной) и A4 (полный взрывной) без неврологического дефицита. Во многих исследованиях, включая большие метаанализы, до сих пор не прекращаются споры о способах лечения данных типов повреждений [4, 5]. В целом ряде крупных обзоров говорится о недостаточных доказательствах и отсутствии статистически значимых различий с точки зрения функциональных результатов не только между консервативным и оперативным вариантами, но и между способами хирургических методов [6].

В настоящем литературном обзоре была поставлена следующая цель: провести анализ эффективности способов хирургического лечения неполных и полных взрывных переломов тел позвонков (типов A3, A4 по классификации AO/Spine) грудного и поясничного отделов позвоночника. В работе приведены хирургические методы лечения неосложненных переломов тел позвонков: задняя фиксация, гибридная и циркулярная стабилизации.

Для настоящего обзора поиск подходящих исследований проводился в базе PubMed, социальной сети Research Gate, научной электронной библиотеке eLIBRARY. Были использованы следующие ключевые слова (на английском языке): «позвонок», «взрывной перелом» или «перелом позвонка»; «аугментация», «стабилизация позвонка», «задняя стабилизация; «кифоз», «циркулярная стабилизация». Хронологические границы поиска составили с 2011 по 2021 гг. На втором шаге отобраны только полнотекстовые источники. На третьем этапе выбраны работы, содержащие в себе клинические исследования, метаанализы, систематические обзоры по данной теме. На последнем этапе исключены источники, содержащие данные об оперативных методах лечения нестабильных, и/или осложненных, и/или патологических переломов тел позвонков (рис. 1).



Рис. 1. Блок-схема поиска литературы

Для удобства все отобранные работы были разделены по следующим группам: исследования в области протяженности задней фиксации; исследования в области цементной аугментации винтов; исследования в области гибридной и циркулярной стабилизаций. Список освещенных в данном обзоре исследований и их ключевые позиции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Ключевые позиции включенных в анализ исследований

Автор, год	Пациенты (n)	Методы лечения	Наблюдение (мес.)	Дизайн исследования	Положения	Учет сагиттального баланса
Girardo 2021	37	кТПФ*/ пТПФ	24	IIb	Преимущества протяженной фиксации (8 винтов) перед короткоsegmentарной (4-6 винтов)	нет
Filho 2016	188		12	Ia		нет
Aly 2017	365		18	Ia		да
Waqar 2017	28		18	IIb		нет
Sallam 2018	91			IIb		да
Chang MC 2013	86	пТПФ +А/ГС	16	IIb	Аугментация винтов повышает стабильность	нет
Saman 2015	24	пТПФ +А/пТПФ	15	IIb	транспедикулярных винтов	нет
Scholz 2018	21	пТПФ/ ВС+кТПФ	24	IIa	Преимущества циркулярной стабилизации	нет
Takenaka 2014	8	ВС+кТПФ		IIb		нет

Hoffmann 2013	23	BC+кТПФ	18	IIa	Преимущества гибридной стабилизации перед циркулярной стабилизацией	нет
Spiegel 2018	20	ГС / BC +кТПФ	18	IIb		нет
Uchida 2010	83	ГС/ BC/пТПФ	12	IIb		нет
Xiang-Yao Sun 2017		ГС/ пТПФ		Ia		нет
Li 2020	166	ГС/ВП	24	Ia		нет

* Примечание:

кТПФ (SSI) – короткосегментарная транспедикулярная фиксация (Short Segment Instrumentation);

пТПФ (LSI) – протяженная транспедикулярная фиксация (Long Segment Instrumentation);

+А – дополнительная аугментация винтов (augmentation of pedicle screws);

ГС – гибридная стабилизация (ТПФ + вертебропластика) (hybrid stabilization);

BC – вентральный спондилодез (anterior spondylodesis)

Статистические методы

Общие оценки коррекций кифоза, разницы VAS и изменения ODI для разных методов хирургических вмешательств вычислялись как групповые средние (СРЕД) разностей значений до и после вмешательств (PCРЕД или MD (англ.)) с 95%-ным доверительным интервалом (95%-ный ДИ, или 95% CI (англ.)). Для оценки величины относительного эффекта (относительно стандартного отклонения коррекции) в исследуемых группах вычислялись групповые стандартизованные средние разности и 95%-ный ДИ. Общие средние потери коррекций кифоза в группах оценивались как групповые средние потери коррекций кифоза [7, 8].

Коррекции кифоза, потери коррекции кифоза, разница VAS и изменения ODI в общей группе и в подгруппах разных методов хирургических вмешательств исследованы на неоднородность с вычислением статистик гетерогенности Q, I² и достигнутого уровня значимости p методом χ -квадрат, проведена оценка квадрата среднего отклонения коррекций τ^2 . Неоднородными являются все общие группы (во всех моделях $p < 0,001$). По величине относительного эффекта коррекции кифоза однородной является группа BC+кТПФ ($p=0,142$), по разнице VAS однородны группы BC+кТПФ ($p=0,084$) и кТПФ ($p=0,959$), по остальным оценкам выявлена неоднородность групп хирургических вмешательств. Ввиду выявленной неоднородности групп для сравнения и описания количественных оценок использовались модели со случайными эффектами (RE) [8, 9].

Для исследования ассоциации исходного кифоза с коррекцией кифоза, с потерей коррекции кифоза, с разницей VAS и с изменениями ODI в общей группе всех хирургических вмешательств строились однофакторные регрессионные модели со случайными эффектами [10]. Ввиду отсутствия данных о корреляционных коэффициентах исходного кифоза с исследуемыми значениями в статьях как грубая оценка степени выраженности ассоциаций рассчитывались коэффициенты корреляции Спирмена и уровни значимости p, для визуального анализа строились диаграммы рассеяния.

Расчеты произведены в программе RStudio (версия 1.4.1106 © 2009-2021 RStudio, PBC) на языке R (версия 4.0.5) с помощью пакета metafor [8].

Результаты исследования и их обсуждение. Работы оценивались по следующим параметрам: по степени коррекции кифотической деформации по методу Cobb после оперативного вмешательства, степени потери коррекции не менее чем через 12 месяцев послеоперационного наблюдения, а также по разнице VAS (Visual Analog Scales), разнице функциональных исходов по ODI (Oswestry Disability Index).

Таблица 2

Количество источников с данными статистического анализа

Методы хирургических вмешательств (МХВ)	Отобрано		Коррекция кифоза		Потеря коррекции кифоза		Разница VAS		Изменение ODI	
	МХВ в источниках, n	Всего пациентов, n	Кол-во источников, n	Всего пациентов, n	МХВ в источниках, n	Всего пациентов, n	МХВ в источниках, n	Всего пациентов, n	МХВ в источниках, n	Всего пациентов, n
ВС+кТПФ	4	63	4	63	4	63	2	33	1	8
кТПФ	5	397	5	397	5	397	2	77	—	—
пТПФ	8	409	7	400	8	409	3	103	—	—
пТПФ+А	2	59	1	45	2	59	1	45	—	—
пТПФ+ВП	3	152	3	152	3	152	3	152	1	83
ВСЕГО	22 (14 публикаций)	1080	20	1057	22 (14 публикаций)	1080	11	410	2	91

При анализе средней коррекции величины кифоза значимых различий между группами не выявлено ($p=0,864$). Средняя коррекция кифотической деформации составила $9,6^0$ (95%-ный ДИ [$7,15^0$; $12,05^0$]) (рис. 2).

Выявлена значимая корреляция между коррекцией кифоза с величиной исходного кифоза ($r=0,81$, $p<0,001$). Проведено сравнение стандартизованных средних коррекций кифоза между группами, выражающих величину эффекта относительно отклонений коррекции. Короткосегментарная ТПФ со стандартизированной средней коррекцией 3,37 (95%-ный ДИ [1,76; 4,99]) была значимо лучше, чем циркулярная стабилизация и протяженная ТПФ с аугментацией, между протяженной ТПФ и гибридной стабилизацией значимых различий не выявлено (рис. 3).

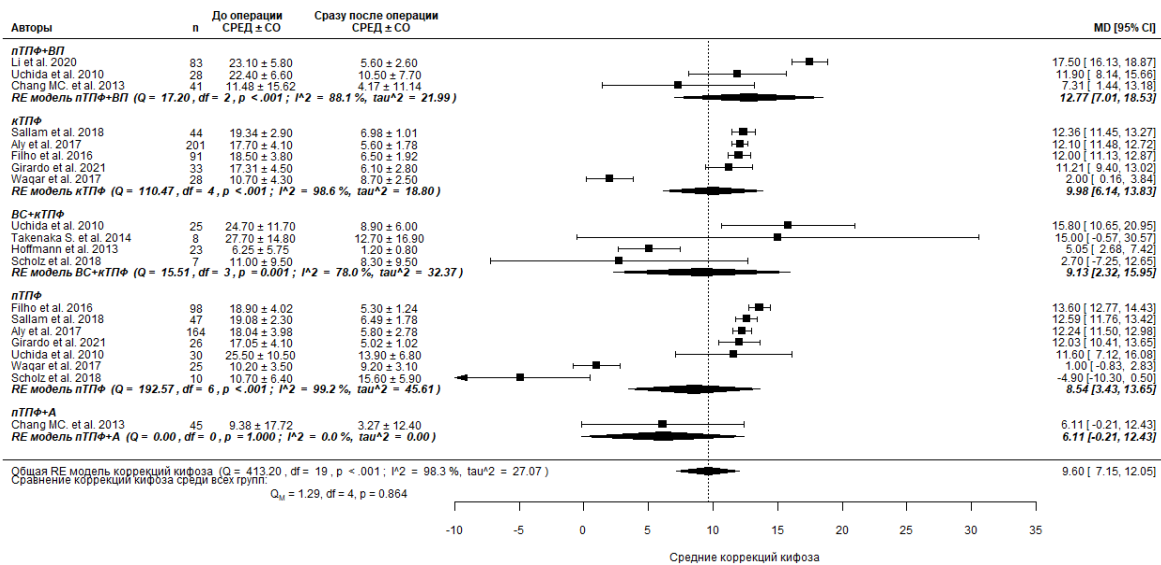


Рис. 2. Средняя коррекция кифоза в группах

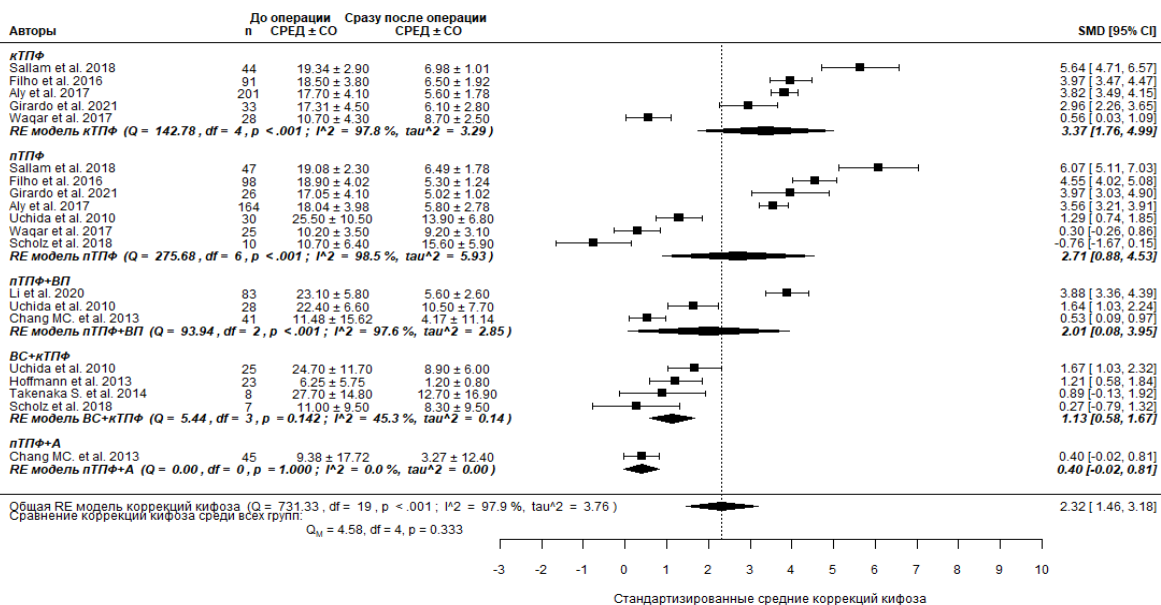


Рис. 3. Стандартизированная средняя коррекция кифоза в группах

Стандартизированная коррекция кифоза коррелирует с исходной величиной кифоза ($r=0,526, p=0,019$). В отдаленном периоде наблюдения потеря коррекции значимо различалась между разными группами хирургических вмешательств ($p=0,012$). Наибольшая потеря коррекции выявлена в группе циркулярной стабилизации – $10,62^\circ$ (95%-ный ДИ [3,51; 17,73]) (рис. 4).

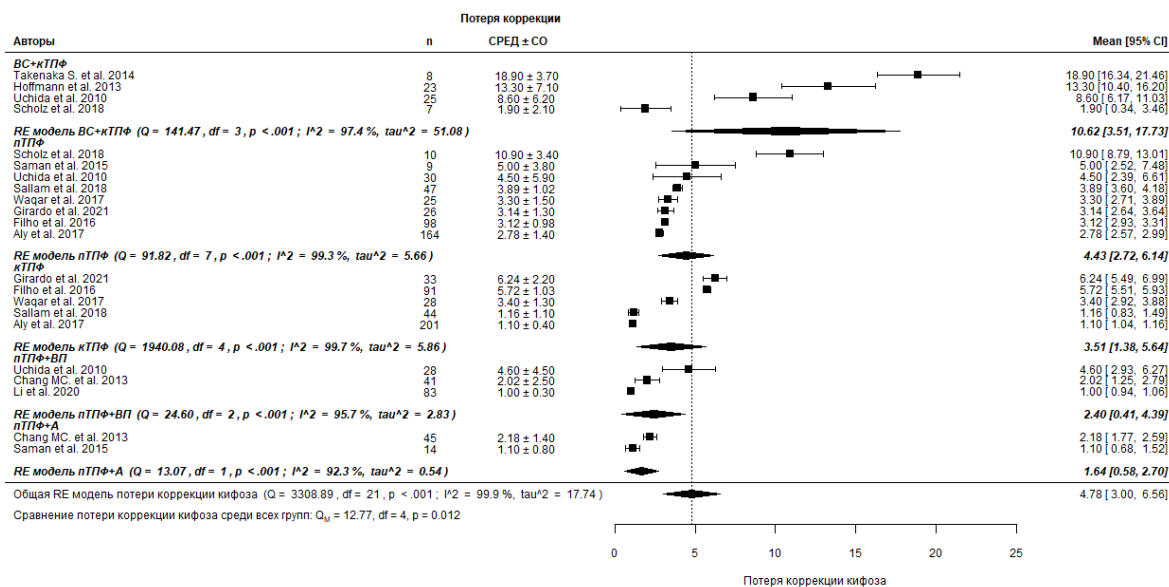


Рис. 4. Потеря коррекций кифоза в группах

Среди других групп значимых различий не обнаружено. Корреляции между значениями потери коррекции и исходного кифоза в общей группе всех хирургических вмешательств не обнаружено ($r=0,07$; $p=0,755$). Следует отметить, что при исходном кифозе более 20° корреляционная связь с коррекцией кифоза не выявлена ($r=-0,2$, $p=0,747$), что указывает на ограничение возможностей максимальной коррекции рассмотренных хирургических методов.

Определение болевых ощущений после проведенного лечения проведено только у 561 пациента. Меньшая выраженность болевого синдрома была связана с меньшим объемом оперативного вмешательства. Общее групповое уменьшение боли варьировало в интервалах 4,51 (95%-ный ДИ [4,13; 4,88]). Причем в большей степени она уменьшилась у больных, перенесших гибридную стабилизацию, циркулярную стабилизацию и протяженную ТПФ с аугментацией: 5,19 (95%-ный ДИ [4,75; 5,64]); 4,57 (95%-ный ДИ [2,34; 6,81]) и 3,70 (95%-ный ДИ [3,39; 3,91]) соответственно. При стандартизованных показателях величина относительно изменения VAS значимо лучше в группах гибридной стабилизации и протяженной ТПФ с аугментацией, чем в остальных группах ($p=0,024$). Разница VAS значимо коррелирует с исходной величиной кифоза во всех группах ($r=0,61$, $p=0,048$). Данные ODI позволили сравнить только 2 группы. Значительное снижение показателей ODI демонстрировались в группе гибридной стабилизации, но не в группе циркулярной стабилизации (51,00 [49,67; 52,33], 29,63 [27,59; 31,67] соответственно) ($p<0,01$).

Одной из главных дилемм для спинальных хирургов является выбор между короткосегментарной и длинносегментарной фиксацией. Оба типа стабилизации имеют ряд

преимуществ: длинносегментарная обеспечивает хорошую стабильность перелома, в то время как короткосегментарная позволяет сохранить функцию соседних позвоночно-двигательных сегментов (ПДС), обеспечить малотравматичность, снизить кровопотерю, сэкономить время операции [10]. В исследовании M. Girardo et al. [11] проводился сравнительный анализ протяженности фиксаций у пациентов с повреждениями тел позвонков. Статистический анализ не выявил различий в коррекции локального кифоза между группами протяженной и короткой фиксаций. Однако в первой группе была обнаружена достоверная разница между до- и послеоперационным уровнем кифоза ($p=0,046$), тогда как во второй группе такой же разницы обнаружено не было. К подобным результатам пришли и другие исследователи [12, 13]. В метаанализе Aly et al. [14] не обнаружено различий с точки зрения рентгенологических и функциональных результатов. Анализ, проведенный Assuncao Filho et al. [15], показал низкую коррекцию кифотической деформации короткосегментарной фиксации сразу после операции и потерю коррекции в долгосрочном наблюдении. Результаты данного исследования не демонстрируют выраженную потерю коррекции. Это может быть связано с установленными винтами на уровне перелома, что улучшило стабильность конструкции, позволив добиться сохранения нормальных межсегментарных взаимоотношений в сагиттальной плоскости [16]. Тем не менее, длинносегментарная фиксация по-прежнему остается операцией выбора, обеспечивая оптимальную стабильность. В результате проведенного обзора лучшая коррекция кифотической деформации при сравнении с коротко- и длинносегментарной фиксациями значимых различий между достигнутой коррекцией после операции не выявлено (кПТФ $9,98^\circ$ [6,14;13,83]; пТПФ $8,54^\circ$ [3,43;13,65]) (рис. 2, 3). Среди рассматриваемых методов хирургического лечения с позиции коррекции локальной деформации и меньшей ее потери приоритет принадлежит протяженной транспедикулярной фиксации.

Серьезным осложнением является нестабильность транспедикулярных винтов, особенно у пациентов с низкой минеральной плотностью костной ткани [17]. Для профилактики данного вида осложнений нередко применяется костный цемент в качестве дополнительной стабилизации, чему посвящен ряд исследований [18–20]. Однако вопрос, достаточно ли короткосегментарной стабилизации в сочетании с цементной аугментацией или же необходима протяженная фиксация для обеспечения адекватной стабильности переломов тел позвонков, до сих пор остается открытым.

Работа L. Weser et al. [21] посвящена оценке эффекта цементной аугментации в коротко- и длинносегментарных видах фиксации в опытах *in vivo* путем моделирования осевой компрессии, а также момента сгибания/разгибания. Объединив все тестовые подгруппы, авторы пришли к выводу, что значительной разницы между аугментированными

цементом винтами в короткоосементарной фиксации и протяженной фиксации без аугментации не было. Аугментация повышает стабильность короткоосементарной конструкции, однако эффект может быть не столь выраженным, как ожидалось от биомеханических тестов. Расширение зоны фиксации приводит к повышению стабильности по сравнению с кТПФ с аугментацией и должно быть предпочтительным, особенно у пациентов с низкой минеральной плотностью костной ткани. Также Weser et al. выявили, что при выборе кТПФ в сочетании с аугментацией рекомендуется использовать моноосиальные винты, так как полиосиальные винты имеют высокие риски расшатывания ввиду высокого крутящего момента, который создается на головке винта. В целом, полученные L. Weser результаты подтверждают выводы, сформулированные авторами других биомеханических исследований на подобную тему [22–24].

В проведенном нами анализе подтверждается, что аугментация винтов при любой протяженности фиксации дает тот же результат для достижения коррекции кифотической деформации, однако значительно снижает риски потери коррекции в послеоперационном периоде ($1,64^0$, 95%-ный ДИ $[0,58^0; 2,7^0]$). Выявлено, что из рассмотренных методов более устойчивой к потере коррекции является протяженная ТПФ с аугментацией винтов, даже по отношению к циркулярной стабилизации ($10,62^0$, 95%-ный ДИ $[3,51^0; 17,73^0]$).

Следует отметить, что некоторые исследователи к определяющим моментам исходов лечения относят применяемую технику установки транспедикулярных винтов. Однако данные методы приведены в единичных работах с отсутствием убедительной доказательности [25–27].

Повреждения межпозвонковых дисков при переломах тел позвонков у пожилых лиц встречаются достаточно редко, что, как предполагается, является результатом двух основных причин: склерозированием самих дисков и действием низкоэнергетической травмы [28]. По мнению U.J. Spiegl, внутрикостной фиксации поврежденного позвонка цементом может быть достаточно для поддержания стабильности передней колонны, а следовательно, выполнение у таких пациентов вентрального этапа, который включает в себя дискэктомию и частичную корпэктомию, может представлять собой то, что в иностранной литературе называется термином «overtreatment» (чрезмерное лечение) [29, 30]. Возможно, менее инвазивный метод гибридной стабилизации, заключающийся в цементной вертебропластике в сочетании с длинноосементарным задним инструментарием, является лучшим решением в этой группе пациентов, что продемонстрировано в работе U.J. Spiegl et al. [30]. По данным этих авторов, статистический анализ не показал существенно значимых отличий по всем критериям в исследуемых методах лечения ни в раннем, ни в позднем послеоперационных периодах ($p < 0,01$). Более того, указана идентичность клинических исходов, что является основанием

для снижения частоты использования вентральных доступов. Об этом изложено в работах других авторов [31–33]. Доказано, что многоэтапные оперативные вмешательства наиболее травматичны, увеличивают время хирургической сессии, приводят к более длительному пребыванию в стационаре, что является нежелательным, особенно для пациентов преклонного возраста [34–36].

Проведенный анализ литературы показал, что коррекция кифоза лучше у методики гибридной стабилизации, чем при циркулярной стабилизации. Также гибридная стабилизация демонстрирует меньшую потерю коррекции в отдаленном послеоперационном периоде. Следует отметить, что статистически значимой разницы в потере коррекции между гибридной стабилизацией и протяженной ТПФ с аугментацией не выявлено (2,40, 95%-ный ДИ [0,41; 4,39] и 1,64, 95%-ный ДИ [0,58; 2,7] соответственно), которые дали более стабильный результат (рис. 4).

Следует отметить, что авторы проанализированных выше исследований в качестве ведущего критерия выбора тактики оперативного лечения использовали только морфологию повреждения, что, вероятно, привело к разбросу окончательных результатов лечения. При этом в данных работах вопрос о состоянии сагиттального баланса пациентов до и после оперативного вмешательства, его изменении в отдаленном послеоперационном периоде, а также значимости его роли не рассматривался.

Корректирующие вертебротомии, выполняемые при посттравматических кифотических деформациях вследствие взрывных переломов, имеют разные корректирующие возможности [37-39]. Однако, говоря о техниках вертебротомии, нельзя не сказать об их недостатках. По мнению К. Watanabe et al. [40], 3-колонные вертебротомии демонстрируют более длительное время операции и более высокую интраоперационную кровопотерю. В связи с этим применение этих методик при острой травме позвоночника является нецелесообразным. В то же время данная группа оперативных вмешательств демонстрирует наиболее высокие возможности коррекции кифотических деформаций. Однако сравнению с другими вариантами оперативного лечения взрывных переломов тел позвонков они не подлежат. Также следует отметить, что в работах, посвященных анализам вертебротомий, особое внимание уделяется не только величине локального посттравматического кифоза, но и параметрам сагиттального баланса позвоночника. Как правило, посттравматические деформации позвоночника являются следствием неадекватно выбранной тактики лечения [41]. Они имеют локальный характер, но вместе с тем приводят к возникновению компенсаторных изменений грудного и поясничного отделов позвоночника [42] и могут сопровождаться нарушением сагиттального баланса.

Ограничения коснулись показателей VAS и ODI в связи с отсутствием в большинстве

литературных источников этих данных.

Заключение. В ходе обзора выявлено, что преобладающим методом у пациентов с неполными и полными взрывными переломами тел позвонков грудного и поясничного отделов являются методы задней фиксации. По результатам коррекции кифоза имеются отличия, однако для снижения рисков потери коррекции необходима дополнительная аугментация винтов, особенно у пациентов с низкой минеральной плотностью костной ткани. Для этой же группы пациентов такой результат возможен и может быть достигнут при применении гибридной стабилизации как альтернативы вентральному спондилодезу.

Список литературы

1. Lofrese G., Ricciardi L., De Bonis P., Cultrera F., Cappuccio M., Scerrati A., Martucci A., Musio A., Tosatto L., De Iure F. Use of the SpineJack direct reduction for treating type A2, A3 and A4 fractures of the thoracolumbar spine: a retrospective case series. *J. Neurointerv Surg.* 2021. Vol. neurintsurg-2021-017682. DOI: 10.1136/neurintsurg-2021-017682.
2. Rometsch E., Spruit M., Hartl R. Does Operative or Nonoperative Treatment Achieve Better Results in A3 and A4 Spinal Fractures Without Neurological Deficit?: Systematic Literature Review With Meta-Analysis. *Glob spine J.* 2017. Vol. 7. no 4. P. 350-372. DOI: 10.1177/2192568217699202.
3. Vaccaro A.R., Schroeder G.D., Kepler C.K., Cumhur Oner F., Vialle L.R., Kandziora F., Koerner J.D., Kurd M.F., Reinhold M., Schnake K.J., Chapman J., Aarabi B., Fehlings M.G., Dvorak M.F. The surgical algorithm for the AOSpine thoracolumbar spine injury classification system. *Eur Spine J.* 2016. Vol. 25. no. 4. P. 1087-1094. DOI: 10.1007/s00586-015-3982-2.
4. Verheyden A.P., Holzl A., Ekkerlein H. Recommendations for the treatment of thoracolumbar and lumbar spine injuries. *Unfallchirurg.* 2011. Vol. 114. no. 1. P. 9-16. DOI: 10.1007/s00113-010-1934-1.
5. Aleem I.S., Nassr A. Cochrane in CORR((R)): Surgical Versus Non-surgical Treatment for Thoracolumbar Burst Fractures Without Neurological Deficit. *Clin Orthop Relat Res.* 2016. Vol. 474. no. 3. P. 619-624. DOI: 10.1007/s11999-015-4305-y.
6. Abudou M., Chen X., Kong X., Wu T. Surgical versus non-surgical treatment for thoracolumbar burst fractures without neurological deficit. *Cochrane database Syst Rev.* 2013. no. 6. P. 50-79. DOI: 10.1002/14651858.CD005079.
7. Borenstein M. Effect sizes for continuous data. In Cooper H., Hedges L.V., Valentine J.C. *The handbook of research synthesis and meta-analysis.* New York: Russell Sage Foundation. 2009. no. 2. P. 221-235.

8. Viechtbauer W. Conducting meta-analyses in R with the metafor package. *Journal of Statistical Software*. 2010. Vol. 36. no. 3. P. 1-48.
9. Mikhaylovskiy M.V., Lukinov V.L. Scheuermann's disease surgery. Major problems: Non-systematic literature review (part I). *Hirurgia Pozvonochnika*. 2021. Vol. 18. no. 3. P. 6-18. DOI: 10.14531/ss2021.3.6-18.
10. Schulze M., Gehweiler D., Riesenbeck O., Wähnert D., Raschke M.J., Hartensuer R., Vordemvenne T. Biomechanical characteristics of pedicle screws in osteoporotic vertebrae-comparing a new cadaver corpectomy model and pure pull-out testing. *J. Orthop Res*. 2017. Vol. 35. no. 1. P. 167-174. DOI: 10.1002/jor.23237.
11. Girardo M., Rava A., Fusini F., Gargiulo G., Coniglio A., Cinnella P. Different pedicle osteosynthesis for thoracolumbar vertebral fractures in elderly patients. *Eur Spine J*. 2018. Vol. 27. no. 2. P. 198-205. DOI: 10.1007/s00586-018-5624-y.
12. Waqar M., Van-Popta D., Barone D.G., Bhojak M., Pillay R., Sarsam Z. Short versus long-segment posterior fixation in the treatment of thoracolumbar junction fractures: a comparison of outcomes. *Br J. Neurosurg*. 2017. Vol. 31. no. 1. P. 54-57. DOI: 10.1080/02688697.2016.1206185.
13. Wu Y., Chen C.-H., Tsuang F.-Y., Lin Y.C., Chiang Ch.-J., Kuo Y.-J. The stability of long-segment and short-segment fixation for treating severe burst fractures at the thoracolumbar junction in osteoporotic bone: A finite element analysis. *PLoS One*. 2019. Vol. 14. no. 2. DOI: 10.1371/journal.pone.0211676.
14. Aly T.A. Short Segment versus Long Segment Pedicle Screws Fixation in Management of Thoracolumbar Burst Fractures: Meta-Analysis. *Asian Spine J*. 2017. Vol. 11. no. 1. P. 150-160. DOI: 10.4184/asj.2017.11.1.150.
15. Filho C.A.A., Simoes F.C., Prado G.O. Thoracolumbar burst fractures, short X long fixation: a meta-analysis. *Coluna / Columna*. 2016. Vol. 15. no. 1. P. 78-84. DOI: 10.1590/S1808-185120161501154925.
16. Sallam A.M., Ghany W.A., Ali A.K., Habib M.A., Toubar A.F., Kabil M.S., Salem A.A.B., Mourad S.H.A., Nada M.A. Short-segment posterior fixation with index level screws versus long-segment posterior fixation for thoracolumbar spine fracture: angle of correction and pain. *Egypt J. Neurosurgn*. 2018. Vol. 33. no. 11. DOI: 10.1186/s41984-018-0012-9.
17. Galbusera F., Volkheimer D., Reitmaier S., Berger-Roscher N., Kienle A., Wilke H.J. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication? *Eur Spine J*. 2015. Vol. 24. no. 5. P. 1005-16. DOI: 10.1007/s00586-015-3768-6.
18. Chang M.C., Kao H.C., Ying S.H., Liu C.L. Polymethylmethacrylate augmentation of cannulated pedicle screws for fixation in osteoporotic spines and comparison of its clinical

- results and biomechanical characteristics with the needle injection method. *J. Spinal Disord Tech.* 2013. Vol. 26. no. 6. P. 305-15. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318246ae8a.
19. Bostelmann R., Keiler A., Steiger H.J., Scholz A., Cornelius J.F., Schmoelz W. Erratum to: Effect of augmentation techniques on the failure of pedicle screws under cranio-caudal cyclic loading. *Eur Spine J.* 2015. Vol. 24. no. 9. P. 2098. DOI: 10.1007/s00586-015-4001-3.
20. El Saman A., Meier S., Sander A., Kelm A., Marzi I., Laurer H. Reduced loosening rate and loss of correction following posterior stabilization with or without PMMA augmentation of pedicle screws in vertebral fractures in the elderly. *Eur J. Trauma Emerg Surg.* 2013. Vol. 39. no. 5. P. 455-60. DOI: 10.1007/s00068-013-0310-6.
21. Weiser L., Dreimann M., Huber G., Sellenschloh K., Püschel K., Morlock M.M., Rueger J.M., Lehmann W. Cement augmentation versus extended dorsal instrumentation in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: a biomechanical comparison. *Bone Joint J.* 2016. Vol. 98. no. 8. P. 1099-105. DOI: 10.1302/0301-620X.98B8.37413.
22. Kueny R.A., Kolb J.P., Lehmann W., Püschel K., Morlock M.M., Huber G. Influence of the screw augmentation technique and a diameter increase on pedicle screw fixation in the osteoporotic spine: pullout versus fatigue testing. *Eur Spine J.* 2014. Vol. 23. no. 10. P. 2196-202. DOI: 10.1007/s00586-014-3476-7.
23. Pekmezci M., Herfat S., Theologis A.A., Viscogliosi P., Demirkiran G., McClellan R.T., Ames C. Integrity of Damage Control Posterior Spinal Fusion Constructs for Patients With Polytrauma: A Biomechanical Investigation. *Spine.* 2015. Vol. 40. no. 23. P. 1219-25. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001058.
24. Hartensuer R., Gehweiler D., Schulze M., Matuszewski L., Raschke M.J., Vordemvenne T. Biomechanical evaluation of combined short segment fixation and augmentation of incomplete osteoporotic burst fractures. *BMC Musculoskelet Disord.* 2013. Vol. 21. no. 14. P. 360. DOI: 10.1186/1471-2474-14-360.
25. Karami K.J., Buckenmeyer L.E., Kiapour A.M., Kelkar P.S., Goel V.K., Demetropoulos C.K., Soo T.M. Biomechanical evaluation of the pedicle screw insertion depth effect on screw stability under cyclic loading and subsequent pullout. *J. Spinal Disord Tech.* 2015. Vol. 28. no. 3. P. E133-9. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000178.
26. Ishii K., Shiono Y., Funao H., Singh K., Matsumoto M. A Novel Groove-Entry Technique for Inserting Thoracic Percutaneous Pedicle Screws. *Clin Spine Surg.* 2017. Vol. 30. no. 2. P. 57-64. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000461.
27. Sekiguchi I., Takeda N., Ishida N. Diagonal Trajectory Posterior Screw Instrumentation for Compromised Bone Quality Spine: Groove-Entry Technique/Hooking Screw Hybrid. *Spine Surg Relat Res.* 2018. Vol. 2. no. 4. P. 309-316. DOI: 10.22603/ssrr.2018-0002.

28. Josten C., Heyde C.E., Spiegl U.J. Komplexpathologien an der Wirbelsäule: Trauma trifft Degeneration – eine Bestandsaufnahme [Complex Pathologies of the Spine: Trauma meets Degeneration]. *Z Orthop Unfall*. 2016. Vol. 154. no. 5. P. 440-448. DOI: 10.1055/s-0042-108344.
29. Spiegl U.J., Josten C., Devitt B.M., Heyde C.E. Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature. *Eur Spine J*. 2017. Vol. 26. no. 12. P. 3187-3198. DOI: 10.1007/s00586-017-5126-3.
30. Spiegl U.J., Devitt B.M., Kasivskiy I., Jarvers J.S., Josten C., Heyde C.E., Fakler H.M. Comparison of combined posterior and anterior spondylodesis versus hybrid stabilization in unstable burst fractures at the thoracolumbar spine in patients between 60 and 70 years of age. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2018. Vol. 138. no. 10. P. 1407-1414. DOI: 10.1007/s00402-018-2993-y.
31. Uchida K., Nakajima H., Yayama T., Miyazaki T., Hirai T., Kobayashi S., Chen K., Guerrero A.R., Baba H. Vertebroplasty-augmented short-segment posterior fixation of osteoporotic vertebral collapse with neurological deficit in the thoracolumbar spine: comparisons with posterior surgery without vertebroplasty and anterior surgery. *J. Neurosurg Spine*. 2010. Vol. 13. no. 5. P. 612-21. DOI: 10.3171/2010.5.SPINE09813.
32. Sun X.Y., Zhang X.N., Hai Y. Percutaneous versus traditional and paraspinal posterior open approaches for treatment of thoracolumbar fractures without neurologic deficit: a meta-analysis. *Eur Spine J*. 2017. Vol. 26. no. 5. P. 1418-1431. DOI: 10.1007/s00586-016-4818-4.
33. Li Z., Wang Y., Xu Y., Xu W., Zhu X., Chen C. Efficacy analysis of percutaneous pedicle screw fixation combined with percutaneous vertebroplasty in the treatment of osteoporotic vertebral compression fractures with kyphosis. *J. Orthop Surg Res*. 2020. Vol. 15. no.1. P. 53. DOI: 10.1186/s13018-020-1583-1.
34. Homagk L., Hellweger A., Hofmann G.O. Die Hybridstabilisierung und geriatrische Komplexbehandlung in der Therapie von A-Frakturen der Wirbelsäule. Hybrid stabilization and geriatric complex treatment of type A spinal fractures. *Chirurg*. 2020. Vol. 91. no. 10. P. 878-885. DOI: 10.1007/s00104-020-01136-4.
35. Hoffmann C., Spiegl U.J., Hauck S., Bühren V., Gonschorek O. Die ventrale Spondylodese beim älteren Patienten-Overtreatment oder sinnvolle Therapieoption? [What is the effect of ventral thoracoscopic spondylodesis (VTS) on elderly patients and what is the medium-term outcome?]. *Z Orthop Unfall*. 2013. Vol. 151. no. 3. P. 257-63. DOI: 10.1055/s-0032-1328522.
36. Scholz M., Kandziora F., Tschauder T., Kremer M., Pingel A. Prospective randomized controlled comparison of posterior vs. posterior-anterior stabilization of thoracolumbar incomplete cranial burst fractures in neurological intact patients: the RASPUTHINE pilot study. *Eur Spine J*. 2018. Vol. 27. no. 12. P. 3016-3024. DOI: 10.1007/s00586-017-5356-4.

37. Li S., Li Z., Hua W., Wang K., Li S., Zhang Y., Ye Z., Shao Z., Wu X., Yang C. Clinical outcome and surgical strategies for late post-traumatic kyphosis after failed thoracolumbar fracture operation: Case report and literature review. *Medicine (Baltimore)*. 2017. Vol. 96. no. 49. DOI: 10.1097/MD.00000000000008770.
38. Takenaka S., Mukai Y., Hosono N., Fuji T. Major surgical treatment of osteoporotic vertebral fractures in the elderly: a comparison of anterior spinal fusion, anterior-posterior combined surgery and posterior closing wedge osteotomy. *Asian Spine J.* 2014. Vol. 8. no. 3. P. 322-30. DOI: 10.4184/asj.2014.8.3.322.
39. Sehmisch S., Lehmann W., Dreimann M., Oberthür S., Viezens L., Weiser L. Posterior vertebral column resection (PVCR) zur Korrektur von Hyperkyphosen bei osteoporotischen Frakturen der Brustwirbelsäule [Posterior vertebral column resection for correction of kyphotic deformity due to osteoporotic fractures of the thoracic spine]. *Oper Orthop Traumatol.* 2019. Vol. 31. no. 4. P. 311-320. DOI: 10.1007/s00064-019-0616-6.
40. Watanabe K., Katsumi K., Ohashi M., Shibuya Y., Hirano T., Endo N., Kaito T., Yamashita T., Fujiwara H., Nagamoto Y., Matsuoka Y., Suzuki H., Nishimura H., Terai H., Tamai K., Tagami A., Yamada S., Adachi S., Yoshii T., Ushio S., Harimaya K., Kawaguchi K., Yokoyama N., Oishi H., Doi T., Kimura A., Inoue H., Inoue G., Miyagi M., Saito W., Nakano A., Sakai D., Nukaga T., Ikegami S., Shimizu M., Futatsugi T., Ohtori S., Furuya T., Orita S., Imagama S., Ando K., Kobayashi K., Kiyasu K., Murakami H., Yoshioka K., Seki S., Hongo M., Kakutani K., Yurube T., Aoki Y., Oshima M., Takahata M., Iwata A., Endo H., Abe T., Tsukanishi T., Nakanishi K., Watanabe K., Hikata T., Suzuki S., Isogai N., Okada E., Funao H., Ueda S., Shiono Y., Nojiri K., Hosogane N., Ishii K. Surgical outcomes of spinal fusion for osteoporotic vertebral fracture in the thoracolumbar spine: Comprehensive evaluations of 5 typical surgical fusion techniques. *J. Orthop Sci.* 2019. Vol. 24. no. 6. P. 1020-1026. DOI: 10.1016/j.jos.2019.07.018.
41. Перих В.В., Борзых К.О., Самохин А.Г. Корреляции функциональной дееспособности и параметров сагиттального баланса у пациентов с посттравматическими деформациями позвоночника // *Современные проблемы науки и образования*. 2017. № 6. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/ru/article/view?id=27046> (дата обращения: 29.10.2021).
42. Le Huec J.C., Cogniet A., Demezou H., Rigal J., Saddiki R., Aunoble S. Insufficient restoration of lumbar lordosis and FBI index following pedicle subtraction osteotomy is an indicator of likely mechanical complication. *Eur Spine J.* 2015. Vol. 24. no. 1. P. S112-20. DOI: 10.1007/s00586-014-3659-2.