

Научная статья

УДК 616.711.5/.6-089.84-06

<https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>

Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений

В.С. Куфтов¹, В.Д. Усиков²¹ ГАУЗ «Брянская городская больница № 1», г. Брянск, Россия² ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, г. Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез является современным методом стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника. Систематический анализ ошибок и осложнений позволяет выявлять предикторы риска, совершенствовать технику установки винтов и снижать частоту послеоперационных осложнений.

Цель исследования — провести анализ ошибок и осложнений при репозиционно-стабилизирующем транспедикулярном остеосинтезе грудного и поясничного отделов позвоночника и определить факторы риска их развития.

Материал и методы. Проведено ретроспективное исследование 228 пациентов (медиана возраста 38,5 лет) с одноуровневыми повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника, оперированных в период 2003–2023 гг. Пациенты разделены на две группы: основная (с репозицией поврежденного сегмента до рассчитанных целевых показателей) и контрольная (без расчета целевых показателей). Оценивались пол, возраст, время от травмы, морфология повреждения, неврологический статус и объем хирургического вмешательства. По компьютерным томограммам анализировались морфометрические параметры: AVH — передняя высота тела позвонка; PVH — задняя высота тела позвонка; угол α — сегментарный угол; A-VDCH — передняя высота позвоночно-дискового комплекса; P-VDCH — задняя высота позвоночно-дискового комплекса. Сроки до наступления осложнений анализировались методом Каплана–Майера, а влияние факторов риска — с помощью регрессионной модели.

Результаты. У 32 (14,0%) пациентов выявлены осложнения: интраоперационные — у 2 (0,9%), ранние послеоперационные — у 8 (3,5%), поздние механические — у 22 (9,7%). Между группами зафиксированы статистически значимые различия по частоте осложнений ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$). Риск осложнений в контрольной группе был в 3,9 раза выше, чем в основной (OR = 3,948; 95 % ДИ 1,326–11,757; $p = 0,014$).

Заключение. Наиболее частыми осложнениями были механические, обусловленные ошибками при репозиции позвоночника. Восстановление рассчитанных целевых показателей, включая размеры позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла, статистически значимо снижало частоту осложнений у пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

Ключевые слова: переломы позвоночника; грудной и поясничный отделы; транспедикулярный остеосинтез; ошибки и осложнения.

Для цитирования: Куфтов В.С., Усиков В.Д. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез при повреждениях грудного и поясничного отделов позвоночника: анализ ошибок и осложнений. *Травматология и ортопедия России*. 2025;31(4):53–65. <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>.

Куфтов Владимир Сергеевич; e-mail: kuftov@mail.ru

Рукопись получена: 15.10.2025. Рукопись одобрена: 10.11.2025. Статья опубликована онлайн: 17.11.2025.

© Эко-Вектор, 2025



Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Thoracic and Lumbar Spine Injuries: Analysis of Errors and Complications

Vladimir S. Kuftov¹, Vladimir D. Usikov²

¹ Bryansk City Hospital No 1, Bryansk, Russia

² Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russia

Abstract

Background. Percutaneous pedicle screw fixation is a modern method of stabilizing the thoracic and lumbar spine. Systematic analysis of errors and complications makes it possible to identify risk predictors, improve screw installation techniques, and reduce the incidence of postoperative complications.

The aim of the study — to analyze errors and complications during percutaneous pedicle screw fixation of the thoracic and lumbar spine and to identify risk factors for their development.

Methods. A retrospective study was conducted on 228 patients (median age 38.5 years) with single-level injuries of the thoracic and lumbar spine who underwent surgery between 2003 and 2023. The patients were divided into two groups: the main group, in which reposition of the damaged segment was performed to the calculated target parameters, and the control group, in which target parameters were not calculated. The following factors were assessed: sex, age, time from injury, morphology of injury, neurological status, and volume of surgical intervention. Morphometric parameters were analyzed using CT scans: AVH — anterior vertebral body height; PVH — posterior vertebral body height; angle α — segmental angle; A-VDCH — anterior vertebral-disc complex height; P-VDCH — posterior vertebral-disc complex height. The time to complication onset was analyzed using the Kaplan-Mayer method. The impact of risk factors was assessed by building a regression model.

Results. Complications were detected in 32 (14.0%) patients: intraoperative — in 2 (0.9%), early postoperative — in 8 (3.5%), late (mechanical) — in 22 (9.7%). Statistically significant differences in the incidence of complications were found between the groups ($\chi^2 = 7.471$, $p = 0.006$). The risk of complications in the control group was 3.9 times higher than in the main group (HR = 3.948; 95% CI 1.326-11.757; $p = 0.014$).

Conclusions. The most common complications were mechanical ones caused by errors in spinal reposition. Restoration of the calculated target parameters, including the measurements of the vertebral-disc complex and segmental angle, significantly reduced the incidence of complications in patients with thoracic and lumbar spine injuries.

Keywords: spinal fractures; thoracic and lumbar spine; percutaneous pedicle screw fixation; errors and complications.

Cite as: Kuftov V.S., Usikov V.D. Percutaneous Pedicle Screw Fixation for Thoracic and Lumbar Spine Injuries: Analysis of Errors and Complications. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2025;31(4):53-65. (In Russian). <https://doi.org/10.17816/2311-2905-17777>.

✉ Vladimir S. Kuftov; e-mail: kuftov@mail.ru

Submitted: 15.10.2025. Accepted: 10.11.2025. Published online: 17.11.2025.

© Eco-Vector, 2025

ВВЕДЕНИЕ

Повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника являются одной из наиболее актуальных проблем современной травматологии и нейрохирургии, они встречаются у 10–20% пациентов с острыми травмами позвоночника [1, 2]. Эти повреждения нередко сопровождаются нестабильностью позвоночника, компрессией спинного мозга и нарушением функции нервальных структур, что делает своевременное хирургическое вмешательство особенно значимым [3, 4].

Исторически для стабилизации позвоночника применялись различные металлические конструкции и внешние фиксаторы, однако их использование не всегда обеспечивало достаточную устойчивость и безопасность [5]. Внедрение транспедикулярного остеосинтеза, предложенного R. Roy-Camille, открыло новую эру в хирургии позвоночника, позволив добиться прочной фиксации позвонков [6]. С момента внедрения методика операций претерпела существенные изменения: были разработаны методы чрескожной установки винтов, внедрены навигационные системы, трехмерная компьютерная томография и роботизированные платформы [7]. Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез продемонстрировал высокую эффективность в обеспечении стабильности позвоночника и коррекции деформаций [8]. Тем не менее ошибки установки винтов встречаются у 5–10% пациентов [9, 10].

Анализ современной литературы показывает, что в последние годы профиль осложнений транспедикулярной фиксации изменился преимущественно вследствие технических инноваций. Перкутанные подходы и робот-ассистирование позволили снизить операционную травматичность и повысить точность установки имплантатов, однако полностью исключить риск послеоперационных осложнений не удалось [11, 12]. Наиболее тяжелые осложнения (повреждение спинного мозга, магистральных сосудов, цементная эмболия) встречаются редко, но требуют высокой квалификации хирурга, тщательной предоперационной подготовки и строгого соблюдения техники операции [13, 14].

Несмотря на значительный накопленный опыт в изучении ошибок и осложнений транспедикулярной фиксации [15, 16], остается актуальной задача выявления факторов, влияющих на эффективность и исходы хирургического лечения.

Цель исследования — провести анализ ошибок и осложнений при репозиционно-стабилизирующем транспедикулярном остеосинтезе грудного и поясничного отделов позвоночника и определить факторы риска их развития.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Дизайн исследования

Тип исследования — ретроспективное одноцентровое когортное.

Репозиционно-стабилизирующий транспедикулярный остеосинтез выполнен у 228 пациентов по поводу повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника в Брянской городской больнице № 1 в период с 2003 по 2023 г.

Критерии включения:

- мужчины и женщины в возрасте от 16 до 70 лет;
- одноуровневые повреждения грудного и поясничного отделов позвоночника;
- морфологические типы повреждений (AO Spine): A2, A3, A4, B, C;
- неврологический статус (ASIA): A, B, C, D, E.

Критерии не включения:

- нетравматические переломы;
- многоуровневые повреждения;
- врожденные аномалии развития или деформации позвоночника;
- ранее выполненные операции на позвоночнике.

Медиана возраста пациентов составила 38,50 лет [27,00; 51,75] (16,00–70,00).

Все пациенты были распределены на две репрезентативные группы: основную (108 пациентов) и контрольную (120 пациентов). В контрольной группе применялись традиционные методы репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза. В основной группе выполняли предоперационное планирование с математическими расчетами необходимых целевых параметров в виде размеров позвоночно-дискового комплекса и сегментарного угла.

В ходе оперативного вмешательства в основной группе стремились к достижению рассчитанных целевых параметров. Для фиксации поврежденного отдела позвоночника применялись транспедикулярные конструкции из титана BT6 диаметром 6 мм для верхне- и среднегрудного отделов, 7 мм — для нижнегрудного и поясничного отделов позвоночника.

Минимальный период наблюдения включал ранний послеоперационный период, максимальный период составил 19 лет. Медиана периода наблюдения: в контрольной группе — 56,50 [11,50; 86,75] (1,00–236,00) мес.; в основной — 42,50 [24,50; 62,00] (1,00; 122,00) мес.

Сбор данных осуществлялся путем изучения медицинской документации пациентов, результатов неврологических осмотров и рентгенологических методов исследования. Оценивалось время от момента полученной травмы до операции, морфология повреждения по классификации AO Spine, неврологический статус по ASIA. Учитывался объем оперативного вмешательства: количество

винтов, используемых для фиксации; выполнение ламинэктомии и вентрального этапа вмешательства. Эти показатели, наряду с демографическими

данными (пол, возраст), использовались в качестве предикторов при анализе вероятности перелома металлоконструкций (табл. 1).

Таблица 1

Основные характеристики групп пациентов, *n* (%)

Параметр	Группа		<i>p</i>
	основная (<i>n</i> = 108)	контрольная (<i>n</i> = 120)	
Возраст, лет Me [Q ₁ ; Q ₃] min-max	39,00 [28,00; 52,00] 16,00–69,00	37,00 [25,00; 51,00] 16,00–70,00	0,421**
Пол женский мужской	48 (44,4) 60 (55,6)	51 (42,5) 69 (57,5)	0,767*
Локализация выше ThXII ThXII-LII ниже LII	17 (15,7) 84 (77,8) 7 (6,5)	13 (10,8) 95 (79,2) 12 (10,0)	0,387*
Тип перелома по AO Spine A3 A4 B1 B2 C	20 (18,5) 65 (60,2) 2 (1,9) 8 (7,4) 13 (12,0)	30 (25,0) 58 (48,3) 3 (2,5) 11 (9,2) 18 (15,0)	0,509***
Неврологический статус по ASIA A B C D E	8 (7,4) 2 (1,9) 26 (24,1) 16 (14,8) 56 (51,8)	8 (6,7) 4 (3,3) 28 (23,3) 17 (14,2) 63 (52,5)	0,968*
Количество фиксирующих винтов 4 5 6	4 (3,7) 18 (16,7) 86 (79,6)	16 (13,3) 34 (28,3) 70 (58,3)	0,001*
Выполнена ламинэктомия	33 (30,6)	56 (46,7)	0,013*
Вентральный этап операции	1 (0,9)	10 (8,3)	0,009*

* — критерий χ^2 Пирсона; ** — критерий Манна–Уитни; *** точный критерий Фишера–Фримана–Холтона.

Рентгенологический анализ включал изучение данных компьютерной томографии до и после операции с оценкой морфометрических параметров:

– AVH (anterior vertebral body height) — передняя высота тела позвонка;

– PVH (posterior vertebral body height) — задняя высота тела позвонка;

– A-VDCH (anterior vertebral-disc complex height) — передняя высота позвоночно-дискового комплекса (расстояние между передним краем нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка и передним краем верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, включающее тело поврежденного позвонка и смежные межпозвоночные диски);

– P-VDCH (posterior vertebral-disc complex height) — задняя высота позвоночно-дискового комплекса (расстояние между задним краем нижней замыкательной пластинки вышележащего позвонка и задним краем верхней замыкательной пластинки нижележащего позвонка, включающее тело поврежденного позвонка и смежные межпозвоночные диски)¹;

– угол α — сегментарный угол, образованный нижней кортикальной пластинкой тела вышележащего и верхней кортикальной пластинкой тела нижележащего от поврежденного позвонка.

Достигнутые во время операции угловые и линейные параметры сравнивались с рассчитанными значениями. Методика расчетов основана

¹ В настоящей работе показатели размеров тела позвонка со смежными дисками обозначены как A-VDCH и P-VDCH, в предыдущих наших статьях эквивалентные показатели описывались как Mta и Mtp соответственно [17].

на размерах смежных позвонков и межпозвоночных дисков и описана в одной из наших предыдущих работ [17].

Ошибки репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза анализировали по данным контрольных СКТ и МРТ. Признаки инфекционных и неврологических осложнений нами учитывались при наличии соответствующих записей в истории болезни пациента. Осложнения в отдаленном периоде, связанные с переломом или миграцией металлоконструкции, оценивались по данным рентгенографии и СКТ: отражались промежуток времени, когда осложнения еще не было и когда оно было выявлено.

Статистический анализ

Статистическую обработку данных проводили с использованием программы SPSS Statistics 27.0.1 (IBM, США). Предварительно каждая из сравниваемых количественных переменных оценивалась на предмет ее соответствия закону нормального распределения, для чего использовались критерии Колмогорова–Смирнова и Шапиро–Уилка. Было установлено, что распределение значений количественных переменных отличается от нормального, в связи с этим для их описания и анализа применялись непараметрические методы. В качестве описательных статистик указывали медиану (Me), межквартильный размах [Q_1 ; Q_3] и крайние значения в выборке (min – max). При сравнении количественных переменных использовался критерий Манна–Уитни. Качественные переменные описывались с помощью представления абсолютного числа событий с долей от общего количества наблюдений в выборке, выраженной в процентах. Анализ качественных переменных производился путем построения таблиц сопряженности с расчетом критерия χ^2 Пирсона или точного критерия Фишера–Фримана–Холтона.

Анализ сроков до наступления осложнений проводили с использованием метода Каплана–Майера. Различия между полученными кривыми оценивали с помощью теста Манталя–Кокса (Log-rank test). Для определения влияния принадлежности пациентов к основной или контрольной группе и расчета отношения рисков (ОР) применяли регрессию Кокса.

Изучение влияния факторов на риск развития осложнений (перелом или миграция металлоконструкций) проводилось с помощью построения регрессионной модели. В связи с бинарным исходом применялась многофакторная логистическая регрессия. Регрессионный анализ был направлен на выявление предикторов, статистически значимо влияющих на риск развития осложнений, а также на оценку выраженности этого влияния путем анализа отношения шансов (ОШ) с его 95% дове-

рительным интервалом (95% ДИ). В связи с малым числом событий в основной группе регрессионная модель была построена для всех наблюдений. При построении модели применялся пошаговый метод исключения незначимых предикторов на основе теста отношения правдоподобия. Для оценки различий влияния факторов между основной и контрольной группами была дополнительно построена регрессионная модель с включением взаимодействий между принадлежностью к группе и предикторами.

Критический уровень статистической значимости для настоящего исследования был выбран $\alpha = 0,05$, то есть нулевая гипотеза отвергалась при $p < 0,05$.

РЕЗУЛЬТАТЫ

У 32 (14,0%) прооперированных пациентов выявлены различные осложнения. Из них интраоперационные, связанные с выполнением транспедикулярного остеосинтеза в виде проведения винтов мимо анатомических ориентиров, выявлены у 2 (0,9%) пациентов.

Ранние послеоперационные осложнения выявлены у 8 (3,5%) пациентов, включая смещение верхних винтов в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка у 3 (1,3%) пациентов; воспалительный процесс в глубоких тканях — у 4 (1,8%); ликворный свищ — у 1 (0,4%).

В анализ осложнений не включались воспалительные изменения в поверхностных тканях как не повлиявшие на фиксацию, проведение реабилитации и результаты лечения.

Поздние (механические) осложнения диагностированы у 22 (9,7%) пациентов: в 20 (8,8%) случаях — переломы металлоконструкции и в 2 (0,9%) — миграция фиксирующих штанг.

Осложнения в основной группе выявлены у 8 (7,4%) пациентов (25,0% от всех осложнений): 6 случаев были связаны с выполнением транспедикулярного остеосинтеза, один — с воспалительным процессом в глубоких тканях раны и один — с ликворным свищом. В контрольной группе осложнения наблюдались у 24 (20,0%) пациентов (75,0% всех осложнений): 21 случай связан с выполнением транспедикулярного остеосинтеза и 3 случая — с воспалительным процессом в глубоких тканях. Частота осложнений в группах исследования различалась статистически значимо ($\chi^2 = 7,471$; $p = 0,006$).

Интраоперационные осложнения в виде мальпозиции винтов зарегистрированы у 2 пациентов контрольной группы при фиксации среднегрудного отдела. Винты проходили над корнем дуги и латерально, что нарушало стабильность конструкции. Оба пациента были повторно прооперированы после выявления дефекта на контрольной СКТ.

Ранние послеоперационные осложнения в виде смещения верхних винтов и их миграции в сторону верхней кортикальной пластинки тела позвонка отмечались у 3 (1,3%) пациентов. В одном случае через 6 мес. после операции была выявлена резорбция костной ткани вокруг верхних винтов и смещение их под верхнюю кортикальную пластинку. Клинически это проявлялось нестабильностью в сегменте с утратой достигнутой деформации на 8,1°. Пациенту вторым этапом был выполнен межтеловой корпородез цилиндрическим кейджем с аутокостью, от которого он первоначально воздерживался. У двух женщин старше 60 лет смещение винтов было связано со сниженной минеральной плотностью кости; ввиду отсутствия болевого синдрома и неврологических нарушений повторные вмешательства не проводились.

Воспалительный процесс в глубоких тканях развился после операции у 4 (1,8%) пациентов. Предпосылками послужили социальный статус и нарушение ортопедического режима, а также нарушения в иммунной системе при туберкулезе и ВИЧ. В связи с отсутствием эффекта консервативных методов лечения конструкция у всех пациентов была удалена. В 1 (0,4%) наблюдении после операции открылся ликворный свищ. Данное осложнение возникло в результате ранения твердой мозговой оболочки костным фрагментом по переднебоковой поверхности. В момент операции дефект не был выявлен. Признаки ликвореи появились через 2 нед., что потребовало повторной операции с герметизацией твердой мозговой оболочки.

Самыми частыми были механические осложнения: переломы и миграция фиксирующей штанги (22 случая из 32; 68,8%). Они диагностировались в медианные сроки от 14,5 [12,0; 24,0] мес. до 35,0 [26,3; 45,5] мес. после операции.

Сведения о пациентах с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующих штанг представлены в приложении, опубликованном как дополнительный материал в электронной версии статьи на сайте журнала.

Медиана возраста 22 пациентов (9 мужчин и 13 женщин) с переломами металлоконструкции и миграцией фиксирующей штанги составила 29,0 [21,5; 42,3] лет. Осложнения выявлялись преимущественно при контрольных КТ-исследованиях и у 13 пациентов носили бессимптомный характер, лишь у 9 (40,9%) пациентов сопровождалось субъективными жалобами — дискомфортом или болями в месте операции. Наиболее часто данные осложнения встречались при повреждениях в груднопоясничном отделе, преимущественно на уровне L1 позвонка (72,7%).

На рисунке 1 представлены кривые Каплана–Майера, построенные на основании сроков обнаружения переломов металлоконструкции или миграции штанг. В качестве времени наступления события мы брали сроки выявления осложнения при обследовании (указаны в приложении). По результатам проведенного теста Манталя–Кокса (Log-rank test) обнаружены статистически значимые различия между изучавшимися группами ($\chi^2 = 7,092$; $p = 0,008$). Риск осложнений у пациентов контрольной группы был в 3,9 раза выше по сравнению с основной (OR = 3,948; 95% ДИ 1,326–11,757; $p = 0,014$).

Для оценки влияния факторов на вероятность перелома металлоконструкции в послеоперационном периоде с помощью многофакторной логистической регрессии была построена регрессионная модель. В модель были включены следующие предикторы: пол, возраст, принадлежность к основной или контрольной группе, неврологические нарушения по ASIA, тип перелома

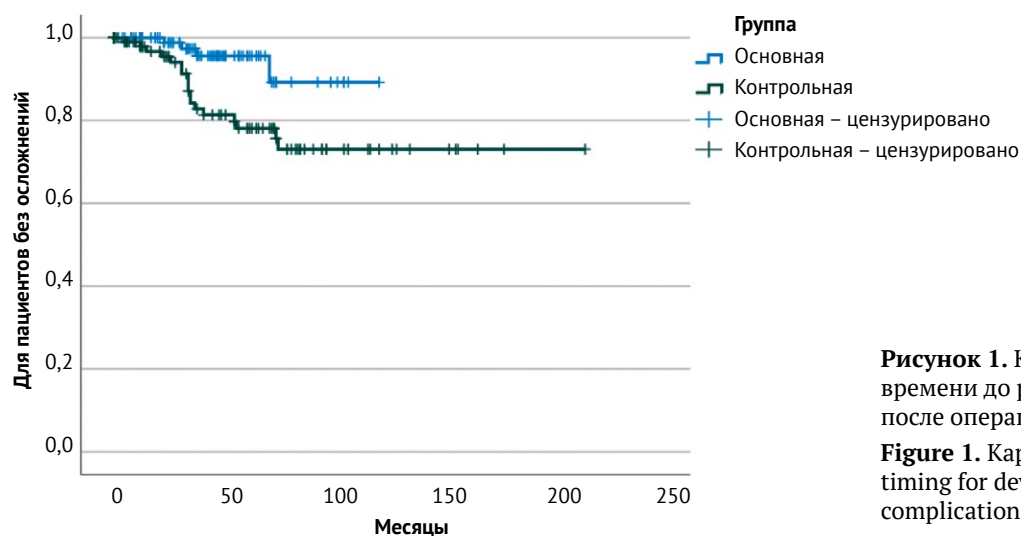


Рисунок 1. Кривые Каплана–Майера времени до развития осложнений после операции

Figure 1. Kaplan-Meier curves showing timing for development of postoperative complications

по АО Spine, количество фиксирующих винтов, локализация, выполнение вентрального этапа и ламинэктомии. Полученные в результате построе-

ния регрессионной модели коэффициенты, отношения шансов, а также значения p представлены в таблице 2.

Таблица 2

Показатели полученной регрессионной модели

Фактор	Регрессионный коэффициент	p	ОШ для регрессионного коэффициента	95% ДИ для ОШ
Группа	1,497	0,009	4,468	1,451–13,760
Возраст	-0,036	0,037	0,964	0,932–0,998
Константа	-1,929	0,013	0,145	–

При построении модели применялся пошаговый метод исключения незначимых предикторов на основе теста отношения правдоподобия. Представленная модель получена на 10-м шаге построения и является статистически значимой ($\chi^2 = 13,766$; $p = 0,001$).

Переломы металлоконструкции регистрировались при всех типах повреждений по классификации АО Spine, чаще при типе A4 (59,1%), что соответствует его преобладанию в исследуемой выборке (53,9%). Отсутствие вентрального этапа хирургического лечения могло способствовать развитию данных осложнений, хотя переломы отмечались и при двухэтапных операциях у 3 (13,6%) пациентов.

По числу фиксирующих винтов осложнения отмечены при 4-винтовой фиксации в 18,2% случаев, при 5-винтовой — в 27,3%, и при 6-винтовой — в 54,5%; при этом данные варианты фиксации применялись у 7,9%, 21,9% и 70,2% пациентов соответственно.

Распределение пациентов с переломами металлоконструкций по шкале ASIA было сопоставимо с общей выборкой: A — 4,5%; C — 27,3%; D — 22,7%; E — 45,5%.

Медианный срок, на котором были прооперированы пациенты, у которых произошел перелом металлоконструкции, составил 9,00 [4,75; 15,75] (2,00–49,00) дней с момента полученной травмы. В основной группе — 11,00 [2,50; 21,75] (2,00–23,00) дней, в контрольной — 9,00 [5,00; 12,00] (3,00–49,00) дней. Статистически значимой разницы по данному параметру обнаружено не было ($p = 0,902$).

Таким образом, было отмечено, что принадлежность к основной или контрольной группе статистически значимо ($p = 0,009$) влияет на риск осложнений, при этом в контрольной группе риск развития перелома металлоконструкции или миграции у пациентов был в 4,5 раза выше по сравнению с основной (ОШ 4,468; 95% ДИ 1,451–13,760).

Кроме того, возраст пациента также показал статистически значимую обратную зависимость

с риском осложнений ($p = 0,037$): увеличение возраста на 1 год уменьшало шансы развития перелома или миграции имплантата на 3,6% (ОШ 0,964; 95% ДИ 0,932–0,998).

Для оценки возможных различий влияния предикторов между группами была дополнительно построена модель с включением взаимодействий между принадлежностью к группе и другими переменными. Однако добавление взаимодействий не привело к статистически значимому улучшению подгонки модели по сравнению с базовой ($\chi^2 = 15,210$; $p = 0,764$) и сопровождалось нестабильностью оценок.

Следует отметить, что на шаге 9 из модели был исключен предиктор ламинэктомия. Исходя из этого, можно предположить, что при увеличении мощности статистических методов, связанной с расширением выборки и ростом числа событий, указанный фактор мог бы продемонстрировать статистически значимое влияние на вероятность развития осложнений.

Послеоперационные значения A-VDCH и P-VDCH часто отличались от рассчитанных параметров, что свидетельствовало о недостаточной или избыточной дистракции оперированного сегмента. У 11 (50%) пациентов значения A-VDCH выходили за пределы 95–105% от расчетных, аналогично у 9 (40,9%) — по показателю P-VDCH.

Передняя (AVH) и задняя (PVH) высота тел позвонков не всегда восстанавливались пропорционально изменениям A-VDCH и P-VDCH. Недостаточное восстановление высоты при достигнутых расчетных значениях позвоночно-дискового комплекса приводило к увеличению костного дефекта и способствовало переломам конструкции. Так, у 10 (45,5%) пациентов после операции A-VDCH больше AVH, а у 3 (13,6%) P-VDCH больше PVH более чем на 5%. Наоборот, у отдельных пациентов наблюдалась недостаточная дистракция (AVH больше A-VDCH — 3 случая; PVH больше P-VDCH — 9 случаев).

Неравномерная дистракция (разница A-VDCH — P-VDCH более 5%) была отмечена у 10 (45,5%)

пациентов и приводила к отклонению сегментарного угла от расчетного в среднем на $5,0 \pm 3,7^\circ$. После перелома конструкции угол изменялся на $7,8 \pm 3,4^\circ$ с потерей достигнутой коррекции в среднем $6,9 \pm 4,7^\circ$.

Переломы продольных штанг наблюдались в 18,2% случаев. Подобно винтам, штанги разрушались в местах максимального напряжения, а именно недалеко от узла фиксации с винтом. Элементы конструкции несколько чаще ломались каудально от поврежденных позвонков.

Недостаточно прочное затягивание гайки и прилегание штанги не под прямым углом к винту приводили к неполноценной фиксации штанги и ее последующей миграции. В нашем исследовании это наблюдалось у 2 (9,1%) пациентов. При повреждении I позвонка миграция штанги происходила каудально в сроки от 3 до 5 мес. (потеря коррекции деформации $9,7^\circ$). При повреждении LII позвонка штанга мигрировала краниально в сроки от 13 до 24 мес. (потеря коррекции деформации $3,4^\circ$). После выявления данного осложнения пациент с миграцией штанги каудально был реоперирован, а вторая пациентка отказалась от операции.

Таким образом, при лечении пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника полностью избежать развития различных осложнений не удалось. Большинство осложнений было связано с техническими и биомеханическими ошибками, однако все осложнения стационарного периода были своевременно устранены и не оказали значимого влияния на конечный результат лечения, лишь удлинив сроки реабилитации.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время транспедикулярная фиксация является широко распространенным методом внутренней стабилизации, позволяющим восстановить анатомическое положение позвоночника и обеспечить его высокую стабильность. Оценка состояния оперированного сегмента и проведение морфометрического анализа становятся возможными благодаря СКТ [18].

Ошибки, возникающие при транспедикулярной фиксации, традиционно делят на тактические, технические и биомеханические. Тактические ошибки связаны с этапом планирования транспедикулярного остеосинтеза и чаще всего обусловлены недооценкой степени нестабильности повреждения, анатомических особенностей позвонков, состояния смежных сегментов и протяженности фиксации [19, 20].

Технические ошибки возникают во время выполнения операции и связаны с установкой винтов и сборкой конструкции [21]. Их частота повышается при ограниченной визуализации, особенно

чрескожной установке винтов [22]. Частота малопозиции винтов и перфорации кортикальной пластинки достигает 15% [23]. Точность установки педикулярных винтов является ключевым фактором успешного исхода: даже незначительное смещение может привести к повреждению спинного мозга, корешков, сосудистых структур или органов, прилежащих к позвоночнику [24]. В нашем исследовании лишь в двух случаях потребовалась реоперация из-за малопозиции винтов, что было связано с недостаточной визуализацией анатомических ориентиров при выраженной деформации позвоночника. Применение навигационных и роботизированных систем позволяет снизить риск неправильной траектории установки винтов до 2–5% [25].

Биомеханические ошибки обусловлены неадекватной жесткостью конструкции, недооценкой сагиттального профиля при коррекции деформации и отсутствием контроля за восстановлением высоты тела поврежденного позвонка [26].

Осложнения транспедикулярной фиксации подразделяются на интраоперационные (неправильное позиционирование винтов, повреждение сосудов и органов, кровотечение), ранние послеоперационные (инфекция, ликворея) и отдаленные (нестабильность и перелом металлоконструкции). Частота осложнений в различных исследованиях и метаанализах существенно варьирует в зависимости от критериев включения пациентов [27, 28]. Наиболее тяжелые осложнения — повреждение спинного мозга, цементная эмболия, массивные сосудистые повреждения — встречаются редко, но требуют тщательной предоперационной подготовки и строгого соблюдения хирургической техники [29].

Отклонение винта от ножки позвонка остается распространенным явлением, связанным с техническими ошибками, и может привести к неврологическим осложнениям. Однако клинически значимые неврологические нарушения встречаются редко. Систематические обзоры показывают, что отклонение винта менее чем на 2 мм, как правило, не вызывает неврологических расстройств [30], тогда как смещение более 4 мм способно привести к повреждению корешков [31]. Частота подобных осложнений также напрямую зависит от опыта хирурга [32].

Инфекционные осложнения после транспедикулярной фиксации встречаются в 2–5% случаев и зависят от объема вмешательства, характера травмы и сопутствующей патологии [33, 34]. Полученные нами данные по частоте инфекций сопоставимы с результатами других исследований. Глубокие инфекции требуют агрессивного лечения, включая антибактериальную терапию и, при необходимости, ревизию или удаление кон-

струкции [35]. Сохранение имплантата возможно, если инфекция развилась в течение первых 3 мес. после операции; при более позднем возникновении инфекции показано его удаление [36].

По данным А.Г. Мартикяна с соавторами, разрыв твердой мозговой оболочки диагностируется у 32,9% пациентов с переломами грудного и поясничного отделов позвоночника, а в 9,1% случаев в послеоперационном периоде отмечается ликворея [37]. Вероятность разрыва твердой мозговой оболочки повышается при наличии неврологического дефицита, выраженной компрессии позвоночного канала и увеличении межпедикулярного расстояния. В нашем исследовании частота послеоперационной ликвореи была ниже, что, вероятно, связано с ретроспективным характером анализа и возможным недоучетом случаев, купированных без повторных оперативных вмешательств.

В отдаленные сроки частота механических осложнений, связанных с переломом или миграцией имплантатов, достигает 28%, в среднем составляя около 14% [38, 39]. Эти осложнения чаще наблюдаются при высокой нагрузке на конструкцию, короткосегментарной фиксации и остеопорозе у пожилых пациентов. Цементирование винтов и удлинение конструкции повышают прочность фиксации [40]. По нашим данным, у пациентов пожилого возраста частота механических осложнений была ниже, вероятно, вследствие меньшей физической активности.

В литературе появляются сообщения о необходимости удаления имплантатов в среднем через год [41]. Примерно в трети случаев, когда имплант не был удален по истечении восьми лет, он ломался [42].

По данным G. Shokouhi с соавторами, выполнение ламинэктомии при повреждениях в грудно-поясничном отделе позвоночника не приводило к нарастанию угла деформации через 6 мес. по сравнению с закрытой декомпрессией [43], что подтверждают результаты нашего исследования в более поздние сроки.

Продолжаются дискуссии о факторах риска нестойкости только задней фиксации. К ним относят показатель более 7 баллов по классификации распределения нагрузки [44], предоперационный угол Кобба $>15^\circ$, а также высокий индекс массы тела. Усиление конструкции возможно за счет использования кобальтохромовых стержней, которые обладают большей прочностью по сравнению с титановыми аналогами того же диаметра [45].

Неоднозначной остается необходимость выполнения спондилодеза после транспедикулярной фиксации ввиду риска синдрома смежного

уровня [46]. Показания к укреплению вентральной колонны зависят от жесткости задней стабилизации, степени повреждения передней колонны и межпозвоночного диска [47]. В ряде случаев передний спондилодез можно отложить или избежать вовсе, поскольку он не снижает риск переломов имплантов в отдаленном периоде [48, 49].

Миграция фиксирующих стержней, как правило, связана с техническими ошибками — недостаточной адаптацией продольных штанг к пазам головок винтов или ослаблением фиксирующих гаек. Данные об этом осложнении немногочисленны и чаще представлены в виде отдельных клинических наблюдений [50, 51].

Стремление к восстановлению исходной анатомии поврежденного сегмента позвоночника в грудном и поясничном отделах способствует снижению частоты биомеханических ошибок и сохранению достигнутой коррекции деформации. Установлено, что восстановление высоты тела поврежденного позвонка и сагиттального индекса во время операции обеспечивает в отдаленном периоде стабильность коррекции и предотвращает вторичное снижение высоты позвонка после удаления имплантата [52].

Ограничения исследования

Из-за относительно небольшого размера выборки, результаты исследования могут быть в некоторой степени искажены. В будущем для подтверждения наших выводов планируется провести проспективное рандомизированное контролируемое исследование

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наиболее частыми осложнениями, определяющими риск неудовлетворительного исхода, являлись механические — переломы и миграция металлоконструкции. Восстановление исходной анатомии позвоночника во время репозиционно-стабилизирующего транспедикулярного остеосинтеза статистически значимо снижало частоту осложнений.

Факторами, не оказавшими статистически значимого влияния на частоту осложнений, были сроки с момента получения травмы до операции, характер морфологических повреждений, исходный неврологический статус, выполнение ламинэктомии и переднего спондилодеза.

Разработка комплексной системы профилактики осложнений и оптимизация предоперационного этапа позволят снизить их частоту и улучшить результаты хирургического лечения пациентов с повреждениями грудного и поясничного отделов позвоночника.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Заявленный вклад авторов

Куфтов В.С. — концепция и дизайн исследования, сбор, анализ и интерпретация данных, поиск и анализ литературы, написание текста рукописи.

Усиков В.Д. — концепция и дизайн исследования, написание и редактирование текста рукописи.

Все авторы прочли и одобрили финальную версию рукописи статьи. Все авторы согласны нести ответственность за все аспекты работы, чтобы обеспечить надлежащее рассмотрение и решение всех возможных вопросов, связанных с корректностью и надежностью любой части работы.

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования.

Возможный конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Не применима.

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие пациентов на участие в исследовании и публикацию результатов.

Генеративный искусственный интеллект. При создании статьи технологии генеративного искусственного интеллекта не использовали.

DISCLAIMERS

Author contribution

Kuftov V.S. — study concept and design, data acquisition, analysis and interpretation, literature search and review, drafting the manuscript.

Usikov V.D. — study concept and design, drafting and editing the manuscript.

All authors have read and approved the final version of the manuscript of the article. All authors agree to bear responsibility for all aspects of the study to ensure proper consideration and resolution of all possible issues related to the correctness and reliability of any part of the work.

Funding source. This study was not supported by any external sources of funding.

Disclosure competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Ethics approval. Not applicable.

Consent for publication. The authors obtained written consent from patients to participate in the study and publish the results.

Use of artificial intelligence. No generative artificial intelligence technologies were used in the preparation of this manuscript.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- Gelalis I.D., Paschos N.K., Pakos E.E., Politis A.N., Arnaoutoglou C.M., Karageorgos A.C. et al. Accuracy of pedicle screw placement: a systematic review of prospective in vivo studies comparing free hand, fluoroscopy guidance and navigation techniques. *Eur Spine J.* 2012;21(2):247-255. doi: 10.1007/s00586-011-2011-3.
- Warmann S. Thoracolumbar spine fractures : Classification and stability. *Radiologie (Heidelb).* 2025;65(11):841-846. (In German). doi: 10.1007/s00117-025-01502-5.
- Mandelka E., Gierse J., Zimmermann F., Gruetzner P.A., Franke J., Vetter S.Y. Implications of navigation in thoracolumbar pedicle screw placement on screw accuracy and screw diameter/pedicle width ratio. *Brain Spine.* 2023;3:101780. doi: 10.1016/j.bas.2023.101780.
- Гринь А.А., Богданова О.Ю., Кайков А.К., Кордонский А.Ю. Хирургическое лечение пациентов с множественной позвоночно-спинномозговой травмой на грудном и поясничном уровнях (обзор литературы). *Нейрохирургия.* 2018;20(1):64-75. doi: 10.17650/1683-3295-2018-20-1-64-75. Grin' A.A., Bogdanova O.Yu., Kajkov A.K., Kordonskij A.Yu. Surgical treatment of patients with multiple vertebral-spinal trauma at thoracic and lumbar levels (literature review). *Russian Journal of Neurosurgery.* 2018;20(1):64-75. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2018-20-1-64-75.
- McCormick J., Aebi M., Toby D., Arlet V. Pedicle screw instrumentation and spinal deformities: have we gone too far? *Eur Spine J.* 2013;Suppl 2(Suppl 2):S216-S224. doi: 10.1007/s00586-012-2300-5.
- Roy-Camille R., Roy-Camille M., Demeulenaere C. Osteosynthesis of dorsal, lumbar, and lumbosacral spine with metallic plates screwed into vertebral pedicles and articular apophyses. *Presse Med (1893).* 1970;78(32):1447-1448. (In French).
- Fan Y., Du J.P., Liu J.J., Zhang J.N., Qiao H.H., Liu S.C. et al. Accuracy of pedicle screw placement comparing robot-assisted technology and the free-hand with fluoroscopy-guided method in spine surgery: An updated meta-analysis. *Medicine (Baltimore).* 2018;97(22):e10970. doi: 10.1097/MD.00000000000010970.
- Макаревич С.В. Исторические аспекты транспедикулярной фиксации позвоночника: обзор литературы. *Хирургия позвоночника.* 2018;15(4):95-106. doi: 10.14531/2018.4.95-106. Makarevich S.V. Historical aspects of transpedicular fixation of the spine: literature review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2018;15(4):95-106. (In Russian). doi: 10.14531/2018.4.95-106.
- Alqurashi A., Alomar S.A., Bakhaidar M., Alfiky M., Baesa S.S. Accuracy of Pedicle Screw Placement Using Intraoperative CT-Guided Navigation and Conventional Fluoroscopy for Lumbar Spondylosis. *Cureus.* 2021;13(8):e17431. doi: 10.7759/cureus.17431.
- Ковалев Е.В., Кириленко С.И., Мазуренко А.Н., Дубровский В.В. Индивидуальные навигационные шаблоны для установки транспедикулярных винтов в хирургии позвоночника: систематический обзор. *Проблемы здоровья и экологии.* 2022;19(3):5-17. doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-01. Kovalev E.V., Kirilenko S.I., Mazurenko A.N., Dubrovski U.V. Individual navigation templates for pedicle screw placement in spine surgery: a systematic review. *Health and Ecology Issues.* 2022;19(3):5-17. (In Russian). doi: 10.51523/2708-6011.2022-19-3-01.

11. Han Y., Ma J., Zhang G., Huang L., Kang H. Percutaneous monoplane screws versus hybrid fixed axial and polyaxial screws in intermediate screw fixation for traumatic thoracolumbar burst fractures: a case – control study. *J Orthop Surg Res.* 2024;19(1):85. doi: 10.1186/s13018-024-04547-9.
12. Malham G.M., Wells-Quinn T.A., Nowitzke A.M., Mobbs R.J., Sekhon L.H. Challenges in contemporary spinal robotics: encouraging spine surgeons to drive transformative changes in the development of future robotic platforms. *J Spine Surg.* 2024;10(3):540-547. doi: 10.21037/jss-24-4.
13. Mac-Thiong J.M., Parent S., Poitras B., Joncas J., Hubert L. Neurological outcome and management of pedicle screws misplaced totally within the spinal canal. *Spine.* 2013;38(3):229-237. doi: 10.1097/BRS.0b013e31826980a9.
14. Hsiao M.C., Huang S.J., Kao T.H. Pseudoaneurysm formation of segmental artery with retroperitoneal hematoma after percutaneous transpedicular screws insertion. *J Clin Neurosci.* 2023;113:20-21. doi: 10.1016/j.jocn.2023.04.018.
15. Афаунов А.А., Чайкин Н.С. К вопросу о предикторах осложнений при хирургическом лечении больных с позвоночно-спинномозговой травмой в нижнегрудном и поясничном отделах позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2023;20(4):6-21. doi: 10.14531/ss2023.4.6-21.
Afaunov A.A., Chaikin N.S. On the issue of predictors of complications of surgical treatment of patients with spinal cord injury in the lower thoracic and lumbar spine. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2023;20(4):6-21. (In Russian). doi: 10.14531/ss2023.4.6-21.
16. Бердюгин К.А., Чертков А.К., Штадлер Д.И., Климов М.Е., Бердюгина О.В., Бетц А.Е. и др. Ошибки и осложнения транспедикулярной фиксации позвоночника погружными конструкциями. *Фундаментальные исследования.* 2012;4-2:425-431. Режим доступа: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29836>.
Berdyugin K.A., Chertkov A.K., Stadler D.I., Klimov M.E., Berdyugina O.V., Bets A.E. et al. Mistakes and complications of transpedicular fixation of spine. *Fundamental research.* 2012;4-2:425-431. (In Russian). Available from: <https://fundamental-research.ru/ru/article/view?id=29836>.
17. Усиков В.Д., Куфтов В.С., Монашенко Д.Н. Ретроспективный анализ восстановления анатомии поврежденного позвоночно-двигательного сегмента в грудном и поясничном отделах транспедикулярным репозиционным устройством. *Хирургия позвоночника.* 2022;19(3):38-48. doi: 10.14531/ss2022.3.38-48.
Usikov V.D., Kuftov V.S., Monashenko D.N. Retrospective analysis of restoration of the anatomy of the damaged thoracic and lumbar spinal motion segment using transpedicular repositioning device. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika).* 2022;19(3):38-48. (In Russian). doi: 10.14531/ss2022.3.38-48.
18. Шевченко Е.Г., Агурина Н.В., Зяблова Е.И., Басанкин И.В., Ясакова Е.П., Топилина С.В. Возможности мультиспиральной компьютерной томографии в оценке состояния позвоночника после оперативных вмешательств с использованием метода транспедикулярного остеосинтеза. *Инновационная медицина Кубани.* 2018;(2):17-23.
Shevchenko E.G., Agurina N.V., Zyablova E.I., Basankin I.V., Yasakova E.P., Topilina S.V. Possibilities of multispiral CT to assess postoperative spinal condition following transpedicular osteosynthesis technique. *Innovative Medicine of Kuban.* 2018;(2):17-23. (In Russian).
19. Усиков В.В., Усиков В.Д. Ошибки и осложнения внутреннего транспедикулярного остеосинтеза при лечении больных с нестабильными повреждениями позвоночника, их профилактика и лечение. *Травматология и ортопедия России.* 2006;(1):21-26.
Usikov V.V., Usikov V.D. Errors and complications of internal transpedicular osteosynthesis in the treatment of patients with unstable injuries of spinal column, their prevention and treatment. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2006;(1):21-26. (In Russian)
20. Mohi Eldin M.M., Ali A.M. Lumbar transpedicular implant failure: a clinical and surgical challenge and its radiological assessment. *Asian Spine J.* 2014;8(3):281-297. doi: 10.4184/asj.2014.8.3.281.
21. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М. Оперативное лечение детей с осложненными переломами позвонков грудной и поясничной локализации. *Травматология и ортопедия России.* 2010;16(2):48-50. doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-48-50.
Vissarionov S.V., Bel'anchikov S.M. The surgical treatment of children with complicated fractures of thoracic and lumbar vertebrae. *Traumatology and Orthopedics of Russia.* 2010;16(2):48-50. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2010-0-2-48-50.
22. Conrads N., Grunz J.P., Huflage H., Luetkens K.S., Feldle P., Grunz K. et al. Accuracy of pedicle screw placement using neuronavigation based on intraoperative 3D rotational fluoroscopy in the thoracic and lumbar spine. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2023; 143(6):3007-3013. doi: 10.1007/s00402-022-04514-1.
23. Gautschi O.P., Schatlo B., Schaller K., Tessitore E. Clinically relevant complications related to pedicle screw placement in thoracolumbar surgery and their management: a literature review of 35,630 pedicle screws. *Neurosurg Focus.* 2011;31(4):E8. doi: 10.3171/2011.7.FOCUS11168.
24. Naik A., Smith A.D., Shaffer A., Krist D.T., Moawad C.M., MacInnis B.R. et al. Evaluating robotic pedicle screw placement against conventional modalities: a systematic review and network meta-analysis. *Neurosurg Focus.* 2022;52(1):E10. doi: 10.3171/2021.10.FOCUS21509.
25. Riewruja K., Tanasansomboon T., Yingsakmongkol W., Kotheeranurak V., Limthongkul W., Chokesuwattanasakul R. et al. A Network Meta-Analysis Comparing the Efficacy and Safety of Pedicle Screw Placement Techniques Using Intraoperative Conventional, Navigation, Robot-Assisted, and Augmented Reality Guiding Systems. *Int J Spine Surg.* 2024;18(5):551-570. doi: 10.14444/8618.
26. Cai P., Xi Z., Deng C., Li J., Zhang X., Zhou Y. Fixation-induced surgical segment's high stiffness and the damage of posterior structures together trigger a higher risk of adjacent segment disease in patients with lumbar interbody fusion operations. *J Orthop Surg Res.* 2023;18(1):371. doi: 10.1186/s13018-023-03838-x.
27. Sarraj M., Alqahtani A., Thornley P., Koziarz F., Bailey C.S., Freire-Archer M. et al. Management of deep surgical site infections of the spine: a Canadian nationwide survey. *J Spine Surg.* 2022;8(4):443-452. doi: 10.21037/jss-22-47.

28. Mohamad N.H., Salim A.A., Yusof M.I., Khoh P.S., Lim H.S., Bahrin Z. et al. Prevalence, Implications, and Risk Factors of Traumatic Dural Tears in Thoracic and Lumbar Fractures: A Retrospective Study. *Cureus*. 2024;16(7):e64351. doi: 10.7759/cureus.64351.
29. Janssen I., Ryang Y.M., Gempt J., Bette S., Gerhardt J., Kirschke J.S. et al. Risk of cement leakage and pulmonary embolism by bone cement-augmented pedicle screw fixation of the thoracolumbar spine. *Spine J*. 2017;17(6):837-844. doi: 10.1016/j.spinee.2017.01.009.
30. Mulyadi R., Hutami W.D., Suganda K.D., Khalisha D.F. Risk of neurologic deficit in medially breached pedicle screws assessed by computed tomography: a systematic review. *Asian Spine J*. 2024;18(6):903-912. doi: 10.31616/asj.2024.0325.
31. Han X., Tian W., Liu Y., Liu B., He D., Sun Y. et al. Safety and accuracy of robot-assisted versus fluoroscopy-assisted pedicle screw insertion in thoracolumbar spinal surgery: a prospective randomized controlled trial. *J Neurosurg Spine*. 2019;30(5):615-622. doi: 10.3171/2018.10.SPINE18487.
32. Gubian A., Kausch L., Neumann J.O., Kiening K., Ishak B., Maier-Hein K. et al. CT-Navigated Spinal Instrumentations-Three-Dimensional Evaluation of Screw Placement Accuracy in Relation to a Screw trajectory plan. *Medicina (Kaunas)*. 2022;58(9):1200. doi: 10.3390/medicina58091200.
33. Song Y., Ma Y., Li F. Comparative study on the accuracy, safety and clinical effect of CT navigation and traditional open screw placement in the treatment of thoracic fracture. *Pak J Med Sci*. 2023;39(4):1140-1143. doi: 10.12669/pjms.39.4.3925.
34. Kasliwal M.K., Tan L.A., Traynelis V.C. Infection with spinal instrumentation: Review of pathogenesis, diagnosis, prevention, and management. *Surg Neurol Int*. 2013;29;4(Suppl 5):S392-403. doi: 10.4103/2152-7806.120783.
35. Шаповалов В.К., Басанкин И.В., Афаунов А.А., Гюльзатян А.А., Тахмязян К.К., Тайурский Д.А. и др. Применение вакуумных систем при ранней имплант-ассоциированной инфекции, развившейся после декомпрессивно-стабилизирующих операций при поясничном спинальном стенозе. *Хирургия позвоночника*. 2021;18(3):53-60. doi: 10.14531/ss2021.3.53-60.
36. Shapovalov V.K., Basankin I.V., Afaunov A.A., Gulzatyan A.A., Takhmazyan K.K., Tayursky D.A. et al. Use of vacuum systems for early implant-associated infection after decompression and stabilization surgery for lumbar spinal stenosis. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2021;18(3):53-60. (In Russian). doi: 10.14531/ss2021.3.53-60.
37. Yüdistira A., Asmiragani S., Imran A.W., Sugiarto M.A. Surgical Site Infection Management following Spinal Instrumentation Surgery: Implant Removal vs. Implant Retention: an Updated Systematical Review. *Acta Inform Med*. 2022;30(2):115-120. doi: 10.5455/aim.2022.30.115-120.
38. Мартикян А.Г., Гринь А.А., Талыпов А.Э., Кордонский А.Ю., Львов И.С., Левина О.А. и др. Тактика лечения пострадавших с травмой грудного и поясничного отделов позвоночника при повреждении твердой мозговой оболочки. *Нейрохирургия*. 2022;24(2):35-42. doi: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.
39. Martikyan A.G., Grin A.A., Talypov A.E., Kordonskiy A.Yu., Lvov I.S., Levina O.A. et al. Treatment strategy for patients with thoracic and lumbar spine fractures with dura mater tear. *Russian Journal of Neurosurgery*. 2022;24(2):35-42. (In Russian). doi: 10.17650/1683-3295-2022-24-2-35-42.
40. Hakalo J., Wroński J. Complications of a transpedicular stabilization of thoraco-lumbar burst fractures. *Neurol Neurochir Pol*. 2006;40(2):134-139.
41. Alimohammadi E., Bagheri S.R., Joseph B., Sharifi H., Shokri B., Khodadadi L. Analysis of factors associated with the failure of treatment in thoracolumbar burst fractures treated with short-segment posterior spinal fixation. *J Orthop Surg Res*. 2023;18(1):690. doi: 10.1186/s13018-023-04190-w.
42. Cao L., Xu H.J., Yu Y.K., Tang H.H., Fang B.H., Chen K. Comparative analysis of the safety and efficacy of fenestrated pedicle screw with cement and conventional pedicle screw with cement in the treatment of osteoporotic vertebral fractures: A meta-analysis. *Chin J Traumatol*. 2025;28(2):101-112. doi: 10.1016/j.cjtee.2024.07.013.
43. Smits A.J., den Ouden L., Jonkerhout A., Deunk J., Bloemers F.W. Posterior implant removal in patients with thoracolumbar spine fractures: long-term results. *Eur Spine J*. 2017;26(5):1525-1534. doi: 10.1007/s00586-016-4883-8.
44. Verheyden A.P., Spiegl U.J., Ekkerlein H., Gercek E., Hauck S., Josten C. et al. Treatment of Fractures of the Thoracolumbar Spine: Recommendations of the Spine Section of the German Society for Orthopaedics and Trauma (DGOU). *Global Spine J*. 2018;8(2 Suppl):34S-45S. doi: 10.1177/2192568218771668.
45. Shokouhi G., Iranmehr A., Gholipour P., Fattahi M.R., Mousavi S.T., Bitaraf M.A. et al. Indirect Spinal Canal Decompression Using Ligamentotaxis Compared With Direct Posterior Canal Decompression in Thoracolumbar Burst Fractures: A Prospective Randomized Study. *Med J Islam Repub Iran*. 2023;37:59. doi: 10.47176/mjiri.37.59.
46. Khaledian N., Bagheri S.R., Sharifi H., Alimohammadi E. The efficacy of machine learning models in forecasting treatment failure in thoracolumbar burst fractures treated with short-segment posterior spinal fixation. *J Orthop Surg Res*. 2024;19(1):211. doi: 10.1186/s13018-024-04690-3.
47. Bowden D., Michielli A., Merril M., Will S. Systematic review and meta-analysis for the impact of rod materials and sizes in the surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis. *Spine Deform*. 2022;10(6):1245-1263. doi: 10.1007/s43390-022-00537-1.
48. Lan T., Chen Y., Hu S.Y., Li A.L., Yang X.J. Is fusion superior to non-fusion for the treatment of thoracolumbar burst fracture? A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Sci*. 2017;22(5):828-833. doi: 10.1016/j.jos.2017.05.014.
49. Javadnia P., Ramazani Y., Moradinazar M., Salimi N., Moradi S., Alimohammadi E. Predictors of failure in posterior short segment instrumentation for thoracolumbar burst fractures: a systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res*. 2025;20(1):736. doi: 10.1186/s13018-025-06149-5.
50. Sharif S., Shaikh Y., Yaman O., Zileli M. Surgical Techniques for Thoracolumbar Spine Fractures: WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine*. 2021;18(4):667-680. doi: 10.14245/ns.2142206.253.

49. Spiegl U., Pätzold R., Krause J., Perl M. Current surgical treatment concepts for traumatic thoracic and lumbar vertebral fractures in adults with good bone quality. *Unfallchirurgie (Heidelb)*. 2025;128(3):167-180. (In German). doi: 10.1007/s00113-024-01505-2.
50. Krishnan P., Das S. Implant Disassembly Due to Pedicle Screw Nut Loosening. *J Neurosci Rural Pract*. 2021;12(4):813-814. doi: 10.1055/s-0041-1735245.
51. Penchev P., Petrov P.P., Ivanov K., Ilyov I., Hyusein R.R., Velchev V. et al. Use of the «Two-Three Click» Protocol in Screw Stabilization of a Patient With Loosened Nuts and Dislocation of Rods – A Case Report. *Cureus*. 2024;16(6):e63373. doi: 10.7759/cureus.63373.
52. Chen L., Liu H., Hong Y., Yang Y., Hu L. Minimally Invasive Decompression and Intracorporeal Bone Grafting Combined with Temporary Percutaneous Short-Segment Pedicle Screw Fixation for Treatment of Thoracolumbar Burst Fracture with Neurological Deficits. *World Neurosurg*. 2020;135:e209-e220. doi: 10.1016/j.wneu.2019.11.123.

Сведения об авторах

✉ Куфтов Владимир Сергеевич — канд. мед. наук
Адрес: Россия, 241035, г. Брянск, ул. Камозина, д. 11
<https://orcid.org/0000-0002-0548-8944>
eLibrary SPIN: 1558-5875
e-mail: kuftov@mail.ru

Усиков Владимир Дмитриевич — д-р мед. наук, профессор
<https://orcid.org/0000-0001-7350-6772>
eLibrary SPIN: 3499-8679
e-mail: usikov@list.ru

Authors' information

✉ Vladimir S. Kuftov — Cand. Sci. (Med.)
Address: 11, Kamozina st., Bryansk, 241035, Russia
<https://orcid.org/0000-0002-0548-8944>
eLibrary SPIN: 1558-5875
e-mail: kuftov@mail.ru

Vladimir D. Usikov — Dr. Sci. (Med.), Professor
<https://orcid.org/0000-0001-7350-6772>
eLibrary SPIN: 3499-8679
e-mail: usikov@list.ru