

<https://doi.org/10.35401/2500-0268-2020-19-3-12-19>

© **А.Е. Боков\*, С.Г. Млявых, И.С. Братцев, А.В. Дыдыкин**

## **ФАКТОРЫ, ВЛИЯЮЩИЕ НА СТАБИЛЬНОСТЬ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ У ПАЦИЕНТОВ С НЕСТАБИЛЬНЫМИ ПОВРЕЖДЕНИЯМИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА И ПЕРЕХОДНОЙ ГРУДОПОЯСНИЧНОЙ ОБЛАСТИ**

ФГБОУ ВО «Приволжский исследовательский медицинский университет» Министерства здравоохранения РФ, Нижний Новгород, Россия

✉ \* А.Е. Боков, Приволжский исследовательский медицинский университет, 603005, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского, 10/1, e-mail: andrei\_bokov@mail.ru

Поступила в редакцию 11 мая 2020 г. Исправлена 25 мая 2020 г. Принята к печати 20 июля 2020 г.

<b>Обоснование</b>	Одной из причин отсутствия унифицированных подходов к лечению травматических повреждений позвоночника на уровне поясничного отдела и переходной грудопоясничной зоны является недостаток информации о вкладе различных факторов в стабильность транспедикулярной фиксации.
<b>Цель</b>	Оценить факторы, влияющие на стабильность транспедикулярной фиксации у пациентов с нестабильными травматическими повреждениями поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода.
<b>Материал и методы</b>	Исследование является ретроспективным, изучены результаты хирургического лечения 192 пациентов с травматическими повреждениями типа А3, А4, В1, В2 и С на уровне поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода. Транспедикулярная фиксация использовалась или изолированно, или в сочетании с реконструкцией передней колонны. По показаниям выполнялась передняя или задняя декомпрессия спинного мозга или его корешков. Регистрировались случаи с нарушением стабильности транспедикулярного фиксатора. Использовался логистический регрессионный анализ для оценки прогностической значимости предполагаемых факторов риска.
<b>Результаты</b>	Частота осложнения увеличивалась при снижении радиоденсивности костной ткани, при экстенсивной резекции костных структур и связок задней опорной колонны, люмбосакральной фиксации и остаточной кифотической деформации. При реконструкции передней колонны и промежуточной фиксации частота осложнения уменьшалась, в то время как передняя декомпрессия и протяженность фиксации не влияли на частоту осложнения.
<b>Заключение</b>	Дестабилизацию транспедикулярных систем чаще всего связывают с нарушением качества костной ткани, однако хирургическая тактика также может существенно влиять на частоту осложнения, что необходимо учитывать при планировании оперативного вмешательства. Промежуточная фиксация и реконструкция передней колонны в равной степени снижают частоту осложнений. При рисках развития нестабильности фиксатора передняя декомпрессия предпочтительна, поскольку она не влияет на стабильность транспедикулярного фиксатора.
<b>Ключевые слова:</b>	транспедикулярная фиксация, реконструкция передней колонны, передняя декомпрессия, ламинэктомия, радиоденсивность, травма поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода.
<b>Цитировать:</b>	Боков А.Е., Млявых С.Г., Братцев И.С., Дыдыкин А.В. Факторы, влияющие на стабильность транспедикулярной фиксации у пациентов с нестабильными повреждениями поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области. <i>Инновационная медицина Кубани</i> . 2020;(3):12–19. doi:10.35401/2500-0268-2020-19-3-12-19

© **Andrey E. Bokov\*, Sergey G. Mlyavykh, Ivan S. Brattsev, Andrey V. Dydykin**

## **FACTORS INFLUENCING THE PEDICLE SCREW FIXATION STABILITY IN PATIENTS WITH UNSTABLE LUMBAR AND THORACOLUMBAR SPINE INJURIES**

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russia

✉ \* Andrey E. Bokov, Privolzhsky Research Medical University, ploshchad Minina i Pozharskogo, 10/1, Nizhny Novgorod, 603005, e-mail: andrei\_bokov@mail.ru

Received 11 May 2020. Received in revised form 25 May 2020. Accepted 20 July 2020.

<b>Background</b>	One of the reasons for the lack of standardized approaches for treatment of lumbar and thoracolumbar spine traumatic injuries is inconclusive information on relative contribution of various factors to pedicle screw fixation stability.
<b>Objective</b>	To determine risk factors that influence pedicle screw fixation stability in patients with unstable traumatic injuries of a lumbar spine and thoracolumbar junction.
<b>Material and methods</b>	This was a retrospective evaluation of 192 spinal instrumentations. Patients with type A3, A4, B1, B2 and C injuries of lumbar and thoracolumbar spine were enrolled. Pedicle screw fixation was used either as a



Статья доступна по лицензии Creative Commons Attribution 4.0.

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 License.

<b>Results</b>	stand-alone technique or in combination with anterior column reconstruction. If required, decompression of nerve roots and spinal cord was performed. Cases with pedicle screw fixation failure were registered. Logistic regression analysis was used to assess predictive significance of potential risk factors. Complication rate growth was associated with a decrease in bone radiodensity, posterior decompression extensiveness, lumbosacral fixation and residual kyphotic deformity. Anterior column reconstruction and additional pedicle screw installation led to a decline in complication rate while anterior decompression and fixation length did not influence fixation stability.
<b>Conclusion</b>	In most cases, pedicle screw fixation system failure is associated with altered bone quality; however, surgical approach may also impact complication rate and should be taken into account planning surgical intervention. Anterior column reconstruction and additional pedicle screw installation are associated with the decline in complication rate; the influence of those options is comparable. Anterior decompression does not influence pedicle screw fixation stability; consequently, it is preferable in cases with considerable risk of pedicle screw fixation failure.
<b>Keywords:</b>	pedicle screw fixation, anterior column reconstruction, anterior decompression, laminectomy, radiodensity, lumbar and thoracolumbar spine injury.
<b>Cite this article as:</b>	Bokov A.E., Mlyavykh S.G., Brattsev I.S., Dydykin A.V. Factors influencing the pedicle screw fixation stability in patients with unstable lumbar and thoracolumbar spine injuries. <i>Innovative Medicine of Kuban</i> . 2020;(3):12–19. doi:10.35401/2500-0268-2020-19-3-12-19

## ВВЕДЕНИЕ

Транспедикулярная фиксация в большинстве случаев применяется для стабилизации грудного и поясничного отделов позвоночника при травмах. Наиболее частым осложнением после этих вмешательств является дестабилизация фиксатора вследствие разрушения его компонентов (перелома стержней и винтов) и расшатывания винтов [1–5]. Нарушение плотности костной ткани является одной из наиболее частых причин дестабилизации транспедикулярного фиксатора, при этом частота расшатывания винтов у больных с остеопорозом может достигать 60% [5]. Вместе с тем доказано, что на стабильность фиксатора в значительной степени может повлиять и хирургическая тактика [2, 3, 6, 7].

Чтобы увеличить стабильность фиксации при травматических повреждениях поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области, часто применяются следующие стратегии: увеличение протяженности фиксации, установка винтов в сломанный позвонок и реконструкция передней колонны. В настоящее время доказано, что передний спондилодез значительно снижает нагрузку на винты, уменьшая частоту дестабилизации транспедикулярного фиксатора, но при комбинированном доступе также увеличивается травматичность вмешательства [8–11]. С целью снижения нагрузки на крайние точки фиксации все большую популярность приобретает промежуточная фиксация с установкой винтов в сломанный позвонок. Эта методика позволяет достигнуть большей стабильности без увеличения травматичности оперативного вмешательства [9, 11]. До настоящего времени остается недостаточно изученным влияние протяженности фиксации на стабильность транспедикулярного фиксатора в связи с отсутствием опубликованных работ с высоким уровнем доказательности [6–8].

В ходе выполнения оперативного вмешательства при компрессии корешков и спинного мозга требует-

ся выполнение резекции костных структур и связок с целью их декомпрессии, что увеличивает мобильность сегмента, потенциально усиливая нагрузку на фиксатор [12, 13]. Кроме того, резекция дуги и суставных отростков препятствует образованию дополнительного заднего костного блока, что потенциально может увеличить частоту осложнения. Влияние объема резекции костно-связочного аппарата на стабильность транспедикулярной фиксации остается не полностью изученным до настоящего времени. В итоге, несмотря на накопленные научные знания, оптимальная тактика хирургического лечения поврежденный поясничного отдела позвоночника и переходной грудопоясничной области остается неразработанной.

## ЦЕЛЬЮ ИССЛЕДОВАНИЯ

является оценка факторов, влияющих на стабильность транспедикулярной фиксации у пациентов с нестабильными травматическими повреждениями поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода.

## МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Исследование является ретроспективным, моноцентровым, изучены результаты хирургического лечения 192 пациентов (111 мужчин, 81 женщина; средний возраст – 40,8 года,  $\sigma = 15,0128$ ; возрастной диапазон от 18 до 71 года) с травматическими повреждениями на уровне поясничного отдела позвоночника и грудопоясничного перехода с уровня Th10 до L5 включительно. Анализ проводился на основании результатов рентгенологических методов исследования. Минимальный срок послеоперационного наблюдения составил 18 мес.

Согласие на участие в исследовании было получено от всех пациентов, применявшиеся методы соответствуют стандартам лечения пациентов с травматическими повреждениями позвоночника. Критерии

включения пациентов в исследование: нестабильные и условно стабильные повреждения позвоночника в области поясничного отдела или груднопоясничного перехода, тип С, В1, В2, А4, А3. Включены пациенты групп С, D, E по шкале ASIA (American Spinal Injury Association). Из исследования были исключены пострадавшие с множественными и многоуровневыми повреждениями; больные с низкоэнергетическими переломами, обусловленными новообразованием; пациенты с повторными оперативными вмешательствами; больные, которым выполнялась аугментация костной ткани для увеличения стабильности винтов, а также все наблюдения с нарушением технологии установки транспедикулярных винтов и их повторным проведением в ходе операции.

Стандартное предоперационное обследование включало неврологический осмотр с оценкой тяжести повреждения спинного мозга по шкале ASIA и компьютерную томографию (КТ) поясничного отдела позвоночника, в том числе оценку радиоденсивности губчатой костной ткани позвонков. КТ-сканирование (Aquilion 32, Toshiba Corporation, Япония) проводили по стандартному протоколу – толщина срезов 0,5 мм, область исследования 50 см, вольтаж 120 кВ, сила тока 300 мА, диапазон 180–400 миллиампер в секунду, винтовой шаг 21,0. Для оценки результатов исследования использовали программное обеспечение Vitrea 5.2.497.5523.

Измерение костной плотности в единицах Хаунсфилда (ед. X.) осуществляли в трех плоскостях: сагиттальной, фронтальной и аксиальной на уровне неповрежденного позвонка L2 или L3. В каждой плоскости радиоденсивность определяли на площади овальной формы максимального диаметра в пределах спонгиозного слоя тела позвонка, далее вычислялось среднее значение для каждого наблюдения. Радиоденсивность костной ткани по данным КТ составила  $136,56 \pm 3,57$  ед. X.,  $\sigma = 48,30$ ; диапазон значений 26,73–299,3 ед. X.

В зависимости от локализации компримирующего субстрата всем пациентам с неврологическими нарушениями (группы ASIA С, D) выполнялась микрохирургическая декомпрессия корешков и спинного мозга из дорзального, вентрального или комбинированного доступа. Объем резекции костных структур и связок задней опорной колонны в ходе декомпрессии нами классифицирован следующим образом: двухсторонняя тотальная фасетэктомия с полным удалением межкостистой и желтой связок осуществлена 53 (27,6%) пациентам, 71 (37,0%) пациенту выполнялась ламинэктомия. Реконструкция передней колонны проведена 75 пациентам (39,1%), из них 34 (17,7%) больным выполнена передняя декомпрессия спинного мозга и корешков, в ходе которой были удалены отломки позвонка, смещенные в позвоночный канал.

Все пациенты подверглись открытой транспедикулярной фиксации поврежденных сегментов, при этом промежуточная фиксация (транспедикулярная фиксация с установкой винтов в сломанный позвонок) проведена 87 (45,3%) пациентам, короткая моносегментарная фиксация – 8 (4,2%), бисегментарная – 126 (65,6%), 19 больным (9,9%) проведено вмешательство на трех сегментах, у 39 пациентов фиксация включала 4 сегмента (20,3%), люмбосакральная фиксация применялась для 6 пациентов (3,1%). Помимо вышеперечисленных аспектов, при анализе данных учитывался биомеханический фактор, обусловленный неполной коррекцией деформации, у 37 пациентов (19,3%) сохранялась остаточная деформация более 10 градусов.

Послеоперационное наблюдение проводилось в сроки 3, 6, 12 и 18 мес. Через 3 мес. после операции выполнялась обзорная рентгенография поясничного отдела позвоночника в вертикальном положении. При подозрении на раннюю нестабильность имплантатов выполнялась КТ. Через 6 и 12 мес. после операции проводилась плановая КТ, а через 18 мес. КТ выполнялась в случае отсутствия признаков формирования костного блока в срок 12 мес. Рентгенологическими признаками нарушения стабильности фиксатора по данным КТ являлись формирование рентгенпрозрачной зоны вокруг резьбовой части транспедикулярного винта шириной более 1 мм, а также поломка или разобщение компонентов транспедикулярного фиксатора [4, 5].

### СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

При оценке факторов, влияющих на частоту дестабилизации транспедикулярного инструментария, учитывались следующие предикторы: радиоденсивность костной ткани в ед. X., протяженность фиксации, применение промежуточной фиксации (установка винтов в сломанный позвонок), наличие остаточной кифотической деформации более 10 градусов, люмбосакральная фиксация, реконструкция передней опорной колонны и объем резекции костных структур и связок: передняя декомпрессия спинного мозга и корешков и резекция структур задней опорной колонны (ламинэктомия и фасетэктомия). Для определения значимости связи предполагаемых предикторов и частоты рентгенологических признаков нестабильности транспедикулярного инструментария применялся логистический регрессионный анализ; для оценки значимости отличий частоты осложнения использовался точный тест Фишера (программное обеспечение Statistica 12).

### РЕЗУЛЬТАТЫ

У 59 (30,7%) пациентов, включенных в исследование, отмечено снижение значений радиоденсивности ниже порогового значения 110 ед. X., которое обла-

**Таблица 1**  
**Параметры общей логистической регрессионной модели**  
**Table 1**  
**Parameters of general logistic regression model**

Компонент регрессионного уравнения	Коэффициент	Отношение шансов на единицу изменения предиктора	95%-й доверительный интервал для отношения шансов
Свободный член регрессионного уравнения	-1,295136, p = 0,0908		
Промежуточная фиксация	0,8656, p = 0,0288	2,3766	[1,0947; 5,1592]
Люмбосакральная фиксация	2,34812, p = 0,0158	10,4659	[1,5622; 70,1132]
Радиоденсивность губчатого вещества позвонка	-0,0099, p = 0,0158	0,9901	[0,9816; 0,9986]
Остаточная деформация более 10 градусов	1,1057, p = 0,0189	3,0214	[1,02031; 7,5883]
Протяженность фиксации (количество сегментов)	0,4007, p = 0,0713	1,4929	[0,9655; 2,3082]
Декомпрессия с резекцией дуги и тотальной резекцией дугоотростчатых суставов	1,1496, p = 0,0166	3,1570	[1,2352; 8,0688]
Реконструкция передней колонны	-1,3206, p = 0,0063	3,7454	[0,1040; 0,6853]
Передняя декомпрессия	-0,2455, p = 0,6754	1,2783	[0,4026; 4,0585]

дает 90%-й специфичностью выявления остеопороза (14). Вероятно, эта особенность группы пациентов являлась причиной относительно большой частоты дестабилизации имплантатов. За время наблюдения у 57 (29,6%) пациентов выявлены рентгенографические признаки нестабильности фиксатора, из них расшатывание винтов отмечено у 49 пациентов, поломка компонентов верифицирована у 8 пациентов. При этом лишь у 29 (15,1%) больных нестабильность фиксатора была клинически значимой, что потребовало выполнения ревизионного вмешательства. В остальных случаях нарастания интенсивности аксиального болевого синдрома выявлено не было, а по данным КТ диагностирован передний или задний костный блок на уровне оперированных сегментов.

При выполнении регрессионного анализа (общая логистическая регрессионная модель) выявлено, что при снижении радиоденсивности костной ткани в ед. X. отмечалось увеличение частоты дестабилизации транспедикулярного инструментария, хирургическая тактика тоже в значительной степени влияла на частоту развития осложнения. Если выполнялась реконструкция передней опорной колонны, то частота дестабилизации транспедикулярного фиксатора снижалась. Промежуточная фиксация также значительно уменьшала частоту осложнения. Факторами риска дестабилизации транспедикулярного инструментария были: остаточная кифотическая деформация более 10 градусов, люмбосакральная фиксация и резекция дуги позвонка в сочетании с тотальной резекцией

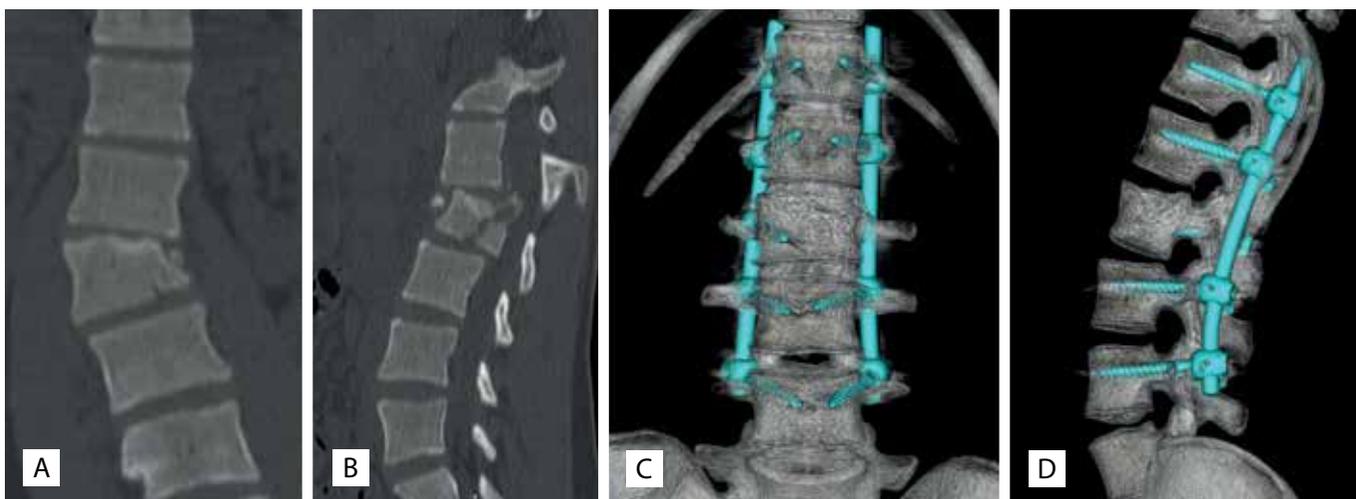


Рисунок 1. Промежуточная фиксация при повреждении L1-L2 сегмента типа C: A, B – предоперационная КТ; C, D – 3D-реконструкции послеоперационных КТ

Figure 1. Transpedicular screw fixation in case of type C L1-L2 injury: A, B – preoperative CT scans; C, D – postoperative 3D-CT scans

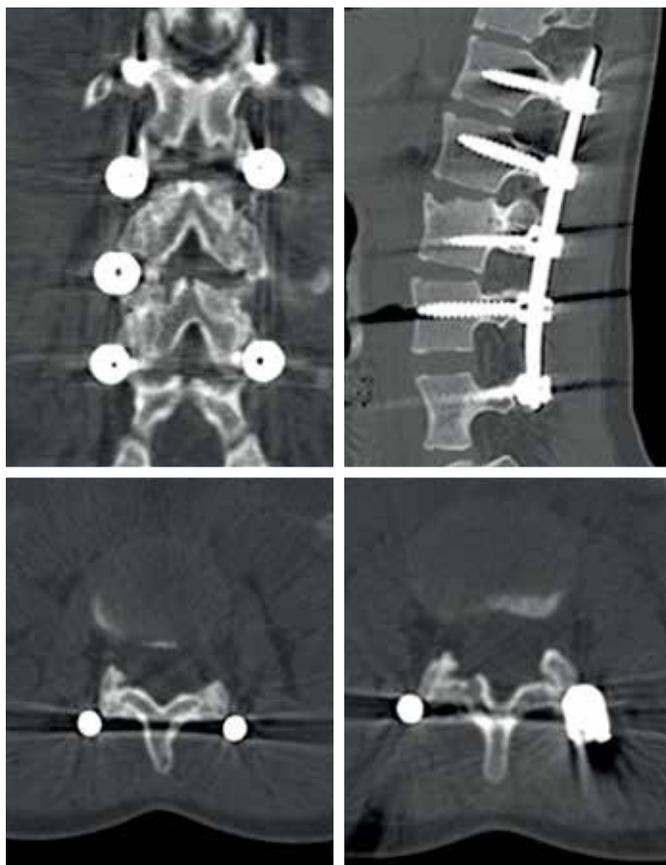


Рисунок 2. Промежуточная фиксация при повреждении L1-L2 сегмента типа C, контрольные КТ через 12 мес. после операции

Figure 2. Transpedicular screw fixation in case of type C L1-L2 injury, control CT scans 12 months after surgery

дуготростчатых суставов даже на одном уровне. В то же время, если выполнялась резекция только дуги позвонка или только дуготростчатых суставов, это не влияло на частоту осложнения. Передняя декомпрессия корешков и спинного мозга с резекцией задней части тела позвонка не оказывала влияния на стабильность транспедикулярной фиксации. Протяженность фиксации также статистически значимо не влияла на частоту дестабилизации фиксатора. В та-

блице 1 представлены параметры логистической регрессионной модели (регрессионный коэффициент, его статистическая значимость и отношение шансов на единицу изменения предиктора).

Общая пригодность регрессионной модели  $\chi^2 = 50,3390$ ;  $p < 0,0001$ . Модель правильно классифицирует 79,69% наблюдений, чувствительность составила 51%, специфичность – 91,9%. При исключении факторов с незначимыми регрессионными коэффициентами полученная модель не отличалась статистически значимо от исходной,  $p = 0,1440$  (метод максимального правдоподобия).

Рисунки 1, 2 иллюстрируют применение промежуточной фиксации при повреждении L1-L2 сегмента типа C, выполнена промежуточная фиксация Th12-L1-L2-L3-L4. Контрольные КТ представлены на рисунке 2: сформировался задний костный блок, достаточный для обеспечения стабильности.

Рисунок 3 иллюстрирует реконструкцию передней колонны при переломе L1 позвонка типа A4. На рисунке 3А представлены предоперационные КТ, 3В и 3С – КТ через год после оперативного вмешательства: верифицирован передний костный блок, фиксатор стабилен.

На рисунке 4 отражено применение реконструкции передней колонны и промежуточной фиксации при переломе типа B2.

При сравнении влияния промежуточной фиксации и реконструкции передней колонны на стабильность транспедикулярной фиксации из пациентов, включенных в исследование, были сформированы две группы: в первой группе выполнялась только промежуточная фиксация без реконструкции передней колонны (66 пациентов), в другой – реконструкция передней колонны без промежуточной фиксации (54 пациента). В первой группе частота дестабилизации имплантатов по данным КТ составила 22,7%, во второй – 29,6%, отличие в частотах осложнения не было статистически значимым,  $p = 0,4119$  (двухсторонний точный тест Фишера).

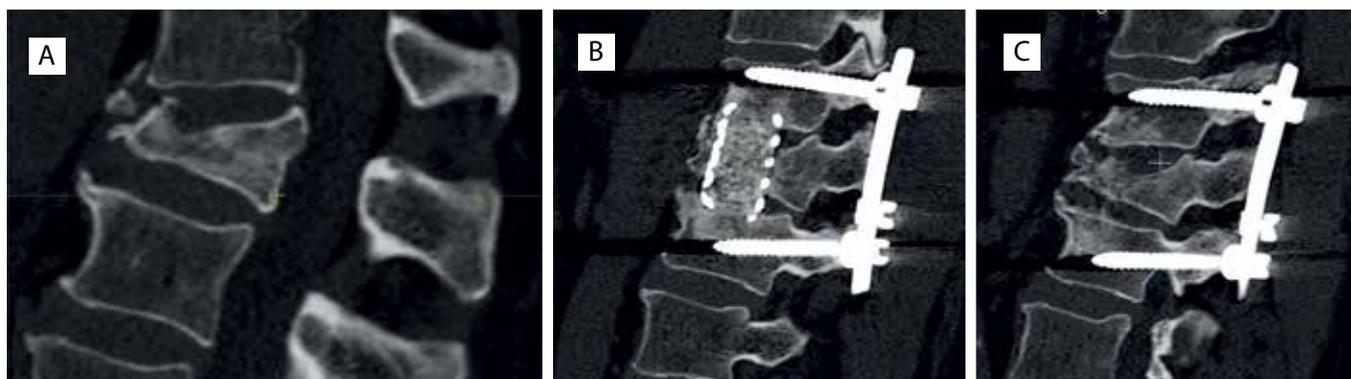


Рисунок 3. Реконструкция передней колонны при переломе L1 позвонка типа A4: А – предоперационные КТ; В и С – КТ через 12 мес. после операции

Figure 3. Anterior column reconstruction in case of type A4 L1 fracture: А – preoperative CT scans; В, С – CT scans 12 months after surgery

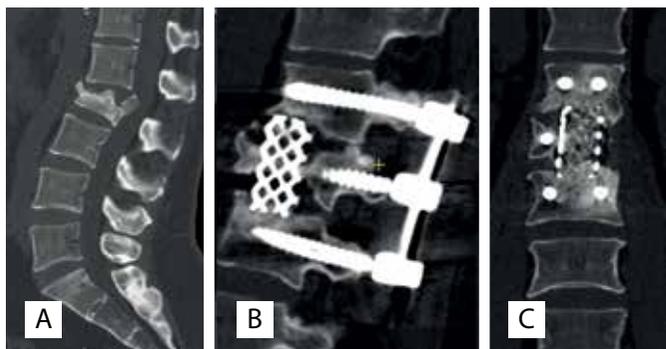


Рисунок 4. Реконструкция передней колонны и промежуточная фиксация при переломе типа B2: А – предоперационные КТ; В, С – КТ через 12 мес. после операции

Figure 4. Anterior column reconstruction and transpedicular screw fixation in case of type B2 spinal fracture: A – preoperative CT scans; B, C – CT scans 12 months after surgery

### ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Транспедикулярная фиксация широко применяется для лечения нестабильных повреждений позвоночника поясничного отдела и груднопоясничного перехода. При этом наиболее частым осложнением этих вмешательств является дестабилизация транспедикулярного инструментария. Нарушение плотности костной ткани считается одним из основных факторов дестабилизации фиксатора, что было неоднократно доказано ранее опубликованными исследованиями [14–17]. Люмбосакральная фиксация дополнительно увеличивает риски развития осложнения вследствие особенностей структуры крестца [18]. В настоящее время все более популярной становится оценка свойств костной ткани, основанная на ее радиоденсивности в ед. Х., которая коррелирует с ее механическими свойствами, содержанием кальция и частотой имплантатзависимых осложнений [15, 16]. Результаты нашего исследования демонстрируют, что снижение радиоденсивности костной ткани увеличивает частоту дестабилизации транспедикулярного фиксатора, однако хирургическая тактика также оказывает существенное влияние на частоту этого осложнения.

В настоящее время доказано, что реконструкция передней колонны значительно увеличивает стабильность на уровне сегментов, оперированных с применением транспедикулярной фиксации [8, 10, 19]. Тем не менее передний спондилодез требует выполнения вмешательства из вентрального доступа, которое значительно увеличивает травматичность оперативного вмешательства и кровопотерю [9]. В случае, когда необходимо снизить травматизм операции по причине состояния пациента, необходимы альтернативные способы увеличения стабильности фиксации. Сегодня все чаще применяется промежуточная фиксация, когда винты вводятся монолатерально или билате-

рально в сломанный позвонок [9, 11, 20, 21]. И реконструкция передней колонны, и промежуточная фиксация существенно уменьшают нагрузку на крайние точки фиксации транспедикулярной системы, уменьшая частоту расшатывания винтов и усталостных переломов, что позволяет считать последнюю альтернативой передней реконструкции, если не требуется передняя декомпрессия [9]. По результатам нашего исследования, и реконструкция передней колонны, и промежуточная фиксация оказывали сопоставимый эффект, снижая частоту дестабилизации фиксатора с вероятностью суммационного эффекта при их одновременном применении.

До настоящего времени не полностью разрешены противоречия в отношении протяженности фиксации, необходимой для стабилизации переломов переходной груднопоясничной области. Длительное время считалось, что при травматических повреждениях переходной области необходима стабилизация как минимум четырех сегментов, однако в последнее время опубликованы работы, свидетельствующие об успешном применении короткой двухсегментарной фиксации для лечения этих повреждений [3, 21, 22]. Данные биомеханических исследований подтверждают, что двухсегментарная фиксация с установкой винтов в сломанный позвонок обладает такой же прочностью, как и четырехсегментарная, в итоге являясь сегментсберегающей альтернативой [23]. В наше исследование включена гетерогенная группа пациентов, в которой применялись сегментсберегающие одноуровневые вмешательства, короткие двух-, трех- и четырехсегментарные фиксации.

По результатам исследования, протяженность фиксации не влияла на частоту дестабилизации транспедикулярного инструментария. Это можно объяснить следующим образом: длинная фиксация необходима для коррекции посттравматической деформации и предпочтительна для переломов типа С [6, 9]. Короткая фиксация, включающая 1–2 сегмента, может быть недостаточно эффективной для коррекции деформации, в то время как остаточная кифотическая деформация более 10 градусов, по результатам нашего исследования и ранее опубликованных работ, являлась значимым фактором, увеличивающим частоту дестабилизации транспедикулярного фиксатора [24].

Наименее изученным фактором, влияющим на стабильность транспедикулярного фиксатора, является объем резекции опорно-связочного аппарата при декомпрессии спинного мозга и корешков. Наши результаты свидетельствуют о том, что ламинэктомия в сочетании с тотальной резекцией дугоотростчатых суставов увеличивает риск дестабилизации транспедикулярного фиксатора, в то время как резекция задней трети тела позвонка, необходимая для перед-

ней декомпрессии, не влияет на частоту осложнений. Наблюдаемый эффект может быть объяснен следующим: известно, что при резекции дугоотростчатых суставов и после ламинэктомии увеличивается объем движений позвоночно-двигательного сегмента [12, 13]. Принимая во внимание механизм расшатывания винтов, отсутствие дополнительной стабильности, которую обеспечивает задний опорный комплекс, потенциально может увеличить нагрузку на фиксатор и участить случаи его дестабилизации [25, 26]. Кроме того, при экстенсивной резекции структур задней опорной колонны становится невозможным формирование заднего костного блока, что может негативно влиять на стабильность оперированных сегментов у пациентов с нарушением плотности костной ткани [27]. У таких больных часто сохранена костная плотность структур задней опорной колонны и происходит эффективное формирование заднего костного блока, в то время как нарушение костной плотности тел позвонков может препятствовать формированию переднего спондилодеза [28].

Безусловно, дизайн нашего исследования не оптимален для детального изучения каждого потенциального фактора, влияющего на стабильность транспедикулярной фиксации. Кроме того, возможна коллинеарность некоторых факторов, потенциально влияющая на результаты исследования. Дизайн исследования не позволяет оценить эффекты более высокого порядка. Тем не менее результаты анализа позволяют сделать вывод, что частота дестабилизации транспедикулярного фиксатора зависит не только от свойств костной ткани, но в значительной степени и от хирургической тактики. Очевидно, надо учитывать все факторы, влияющие на стабильность фиксатора, чтобы избежать осложнений.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Данные о свойствах костной ткани важны для оценки риска дестабилизации транспедикулярного инструментария, но также значительное влияние на частоту осложнения может оказать и хирургическая тактика. Промежуточная фиксация и реконструкция передней колонны в равной степени уменьшали частоту дестабилизации фиксатора с вероятным суммационным эффектом. Экстенсивная декомпрессия с резекцией дугоотростчатых суставов и дуги позвонка увеличивала риск осложнения, в то время как передняя декомпрессия не влияла на стабильность фиксатора, являясь предпочтительным методом при высоком риске дестабилизации фиксатора. Протяженность фиксации не оказывала непосредственный эффект на стабильность имплантатов и в большей степени необходима для устранения кифотической деформации, которая является фактором риска дестабилизации имплантатов.

## ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Melton LJ, Kallmes DF. Epidemiology of vertebral fractures: implications for vertebral augmentation. *Acad Radiol.* 2006;13:538–45. PMID: 16627192. doi:10.1016/j.acra.2006.01.005
2. Sebaaly A, Rizkallah M, Riouallon G, et al. Percutaneous fixation of thoracolumbar vertebral fractures. *EFORT Open Rev.* 2018;3:604–13. PMID: 30595846. PMCID: PMC6275852. doi:10.1302/2058-5241.3.170026
3. Ye C, Luo Zh, Yu X, Liu H, Zhang B, Dai M. Comparing the efficacy of short-segment pedicle screw instrumentation with and without intermediate screws for treating unstable thoracolumbar fractures. *Medicine (Baltimore).* 2017;96:e7893. PMID: 28834906. PMCID: PMC5572028. doi:10.1097/MD.00000000000007893
4. Mohi Eldin MM, Ali AM. Lumbar transpedicular implant failure: a clinical and surgical challenge and its radiological assessment. *Asian Spine J.* 2014;8:281–97. PMID: 24967042. PMCID: PMC4068848. doi:10.4184/asj.2014.8.3.281
5. 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;24:1005–16. PMID: 25616349. doi:10.1007/s00586-015-3768-6
6. Sodhi HBS, Savardekar AR, Chauhan RB, Patra DP, Singla N, Salunke P. Factors predicting long-term outcome after short-segment posterior fixation for traumatic thoracolumbar fractures. *Surg Neurol Int.* 2017;8:233. PMID: 29026669. PMCID: PMC5629846. doi:10.4103/sni.sni\_244\_17
7. Gumussuyu G, Islam NC, Kose O, Gungor M, Ozcan H. Comparison of two segment combined instrumentation and fusion versus three segment posterior instrumentation in thoracolumbar burst fractures: a randomized clinical trial with 10 years of follow up. *Turk Neurosurg.* 2019;29:555–63. PMID: 30900733. doi:10.5137/1019-5149.JTN.25025-18.3
8. Wang J, Liu P. Analysis of surgical approaches for unstable thoracolumbar burst fracture: minimum of five year follow-up. *J Pak Med Assoc.* 2015;65:201–5. PMID: 25842559.
9. Joaquim AF, Maslak JP, Patel AA. Spinal reconstruction techniques for traumatic spinal injuries: a systematic review of biomechanical studies. *Global Spine J.* 2019;9:338–47. PMID: 31192103. PMCID: PMC6542174. doi:10.1177/2192568218767117
10. Schnake KJ, Stavridis SI, Kandziora F. Five-year clinical and radiological results of combined anteroposterior stabilization of thoracolumbar fractures. *J Neurosurg Spine.* 2014;20:497–504. PMID: 24606000. doi:10.3171/2014.1.SPINE13246
11. Norton RP, Milne EL, Kaimrajh DN, Eismont FJ, Latta LL, Williams SK. Biomechanical analysis of four- versus six-screw constructs for short-segment pedicle screw and rod instrumentation of unstable thoracolumbar fractures. *Spine J.* 2014;14:1734–9. PMID: 24462814. doi:10.1016/j.spinee.2014.01.035
12. Bisschop A, van Engelen SJ, Kingma I, et al. Single level lumbar laminectomy alters segmental biomechanical behavior without affecting adjacent segments. *Clin Biomech (Bristol, Avon).* 2014;29:912–7. PMID: 25028214. doi:10.1016/j.clinbiomech.2014.06.016
13. Lee MJ, Bransford RJ, Bellabarba C, et al. The effect of bilateral laminotomy versus laminectomy on the motion and stiffness of the human lumbar spine: a biomechanical comparison. *Spine (Phila Pa 1976).* 2010;35:1789–93. PMID: 20562732. doi:10.1097/BRS.0b013e318c9b8d6
14. Weiser L, Huber G, Sellenschloh K, et al. Insufficient stability of pedicle screws in osteoporotic vertebrae: biomechanical correlation of bone mineral density and pedicle screw fixation strength. *Eur Spine J.* 2017;26:2891–7. PMID: 28391382. doi:10.1007/s00586-017-5091-x

15. Zaidi Q, Danisa OA, Cheng W. Measurement techniques and utility of hounsfield unit values for assessment of bone quality prior to spinal instrumentation: a review of current literature. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2019;44:E239–E244. PMID: 30063528. doi:10.1097/BRS.0000000000002813
16. Bredow J, Boese CK, Werner CM, et al. Predictive validity of preoperative CT scans and the risk of pedicle screw loosening in spinal surgery. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2016;136:1063–7. PMID: 27312862. doi:10.1007/s00402-016-2487-8
17. Афаунов А.А., Басанкин И.В., Мишагин А.В., Кузьменко А.В., Тахмазян К.К. Ревизионные операции в хирургическом лечении повреждений грудного и поясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(4):8–16. doi:10.14531/ss2015.4.8-16. [Afaunov AA, Basankin IV, Mishagin AV, Kuzmenko AV, Takhmazyan KK. Revision procedures in the surgical treatment of thoracic and lumbar spine injuries. *Journal of Spine Surgery*. 2015;12(4):8–16. (In Russ.) doi:10.14531/ss2015.4.8-16]
18. Yu BS, Zhuang XM, Zheng ZM, Zhang JF, Li ZM, Lu WW. Biomechanical comparison of 4 fixation techniques of sacral pedicle screw in osteoporotic condition. *J Spinal Disord Tech*. 2010;23:404–9. PMID: 20087222. doi:10.1097/BSD.0b013e3181b63f4d
19. Reinhold M, Knop C, Beisse R, et al. Operative treatment of 733 patients with acute thoracolumbar spinal injuries: comprehensive results from the second, prospective, internet-based multicenter study of the Spine Study Group of the German Association of Trauma Surgery. *Eur Spine J*. 2010;19:1657–76. PMID: 20499114. PMCID: PMC2989217. doi:10.1007/s00586-010-1451-5
20. Sait A, Prabhav NR, Sekharappa V, Rajan R, Raj NA, David KS. Biomechanical comparison of short-segment posterior fixation including the fractured level and circumferential fixation for unstable burst fractures of the lumbar spine in a calf spine model. *J Neurosurg Spine*. 2016;25:602–9. PMID: 27285665. doi:10.3171/2016.4.SPINE1671
21. Altay M, Ozkurt B, Aktekin CN, Ozturk AM, Dogan O, Tabak AY. Treatment of unstable thoracolumbar junction burst fractures with short- or long-segment posterior fixation in magerl type a fractures. *Eur Spine J*. 2007;16:1145–55. PMID: 17252216. PMCID: PMC2200786. doi:10.1007/s00586-007-0310-5
22. McDonnell M, Shah KN, Paller DJ, et al. Biomechanical analysis of pedicle screw fixation for thoracolumbar burst fractures. *Orthopedics*. 2016;39:e514–18. PMID: 27135451. doi:10.3928/01477447-20160427-09
23. Bolesta MJ, Caron T, Chinthakunta SR, Vazifeh PN, Khalil S. Pedicle screw instrumentation of thoracolumbar burst fractures: biomechanical evaluation of screw configuration with pedicle screws at the level of the fracture. *Int J Spine Surg*. 2012;6:200–5. PMID: 25694892. PMCID: PMC4300899. doi:10.1016/j.ijsp.2012.09.002
24. Seo DK, Kim ChH, Jung SK, Kim MK, Choi SJ, Park JH. Analysis of the risk factors for unfavorable radiologic outcomes after fusion surgery in thoracolumbar burst fracture: what amount of postoperative thoracolumbar kyphosis correction is reasonable? *J Korean Neurosurg Soc*. 2019;62:96–105. PMID: 29940722. PMCID: PMC6328790. doi:10.3340/jkns.2017.0214
25. Mizuno T, Kasai Yu, Sakakibara T, Yoshikawa T, Inaba T. Biomechanical study of rotational micromovement of the pedicle screw. *Springerplus*. 2016;5:1016. PMID: 27441135. PMCID: PMC4938808. doi:10.1186/s40064-016-2694-3
26. Mehmanparast H, Petit Y, Mac-Thiong JM. Comparison of pedicle screw loosening mechanisms and the effect on fixation strength. *J Biomech Eng*. 2015;137:121003. PMID: 26502116. doi:10.1115/1.4031821
27. Schreiber JJ, Hughes AP, Taher F, Girardi FP. An association can be found between hounsfield units and success of lumbar spine fusion. *HSS J*. 2014;10:25–9. PMID: 24482618. PMCID: PMC3903949. doi:10.1007/s11420-013-9367-3
28. Булкин А.А., Боков А.Е., Млявых С.Г. Факторы, влияющие на формирование костного блока у пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника. *Российский нейрохирургический журнал им. профессора А.Л. Поленова*. 2019;11(2):12–16. [Bulkin AA, Bokov AE, Mlyavykh SG. Factors affecting bone formation in patients with degenerative lumbar spine pathology. *Russian Neurosurgical Journal Named after Professor Polenov*. 2019;11(2):12–16. (In Russ.)]

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

**Боков Андрей Евгеньевич**, к. м. н., заведующий отделением онкологии и нейрохирургии, институт травматологии и ортопедии, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). ORCID ID: 0000-0002-5203-0717. E-mail: andrei\_bokov@mail.ru

**Млявых Сергей Геннадьевич**, к. м. н., руководитель института травматологии и ортопедии, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). ORCID ID: 0000-0002-6310-4961

**Братцев Иван Семенович**, врач-нейрохирург отделения онкологии и нейрохирургии, институт травматологии и ортопедии, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). ORCID ID: 0000-0002-1630-7053

**Дыдыкин Андрей Владимирович**, к. м. н., врач-нейрохирург отделения онкологии и нейрохирургии, институт травматологии и ортопедии, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). ORCID ID: 0000-0003-4824-9481

## Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

## Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

## AUTHOR CREDENTIALS

**Andrey E. Bokov**, Cand. of Sci. (Med.), Head of the Oncology and Neurosurgery Department, Institute of Traumatology and Orthopedics, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia). ORCID ID: 0000-0002-5203-0717. E-mail: andrei\_bokov@mail.ru

**Sergey G. Mlyavykh**, Cand. of Sci. (Med.), Chief of the Institute of Traumatology and Orthopedics, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia). ORCID ID: 0000-0002-6310-4961

**Ivan S. Brattsev**, Neurosurgeon, Oncology and Neurosurgery Department, Institute of Traumatology and Orthopedics, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia). ORCID ID: 0000-0002-1630-7053

**Andrey V. Dydykin**, Cand. of Sci. (Med.), Neurosurgeon, Oncology and Neurosurgery Department, Institute of Traumatology and Orthopedics, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russia). ORCID ID: 0000-0003-4824-9481

**Funding:** the study did not have sponsorship.

**Conflict of interest:** none declared.