

# Эффективность четырехстержневой фиксации при выполнении педикулярной субтракционной остеотомии позвоночника

А.А. Пантелеев, С.П. Миронов, К.М. Бухтин, М.Л. Сажнев, А.И. Казьмин, В.С. Переверзев, С.В. Колесов

ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России  
Ул. Приорова, д. 10, 127299, Москва, Россия

## Реферат

**Введение.** Педикулярная субтракционная остеотомия (PSO) обеспечивает выраженную коррекцию сагиттального баланса позвоночника за счет одного позвоночно-двигательного сегмента. Однако методика сопряжена с высоким риском осложнений, в структуре которых первое место занимают переломы стержней в зоне остеотомии.

**Цель исследования** — сравнить собственные результаты четырехстержневой фиксации при педикулярной субтракционной остеотомии позвоночника с результатами стандартной двухстержневой фиксации по данным литературы.

**Материал и методы.** В ходе исследования проведен ретроспективный анализ результатов лечения 47 последовательно поступивших пациентов с ригидными деформациями позвоночника, которым выполнялась педикулярная субтракционная остеотомия на поясничном уровне. Средний возраст пациентов составил 59,5 лет. Из 47 пациентов 33 были женщинами и 14 — мужчинами. Средняя протяженность фиксации составила 9,8 сегмента. Средний угол сегментарной коррекции за счет PSO составил 27,1° (22–36°). Во всех случаях применялись титановые стержни и стандартная методика остеотомии. Фиксация позвоночника проводилась при помощи четырехстержневой конструкции с установкой дополнительных коротких стержней непосредственно в зоне остеотомии. Минимальный срок послеоперационного наблюдения составил 2 года (в среднем 3,2 года). Проводился подробный ретроспективный анализ рентгенографических данных с вычислением показателей глобального сагиттального баланса, позвоночно-тазовых параметров, а также степени глобальной и сегментарной коррекции за счет остеотомии. Также проводилась подробная оценка осложнений в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Был проведен сравнительный анализ эффективности четырехстержневой фиксации зоны проведения PSO с данными мировой литературы по частоте осложнений, в частности переломов стержней в зоне остеотомии при двухстержневой фиксации.

**Результаты.** Всем пациентам остеотомия выполнялась на одном уровне, наиболее часто — на уровне L3 (49% пациентов). В большинстве случаев удалось добиться адекватной коррекции позвоночно-тазовых параметров. В структуре осложнений наиболее часто (23,4%) наблюдалась резорбция вокруг винтов. Кифоз переходной зоны имел место в 12,8% случаев, неврологический дефицит — в 14,9%. Инфекционные осложнения наблюдались у 10,6% пациентов. Формирование бессимптомного псевдоартроза, подтвержденного данными КТ, наблюдалось у 12,8% пациентов. Переломов стержней в зоне остеотомии и на уровне смежных сегментов не наблюдалось. Переломы стержней другой локализации произошли у 10,6% пациентов.

**Заключение.** Результаты исследования показали, что четырехстержневая фиксация при выполнении PSO способствует значительному снижению риска развития псевдоартроза и переломов стержней в отдаленном периоде и обеспечивает более эффективный контроль над процессом смыкания зоны остеотомии.

**Ключевые слова:** педикулярная субтракционная остеотомия, сагиттальный баланс позвоночника, четырехстержневая фиксация, позвоночно-тазовые параметры, ригидные деформации позвоночника.

DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-65-73

Пантелеев А.А., Миронов С.П., Бухтин К.М., Сажнев М.Л., Казьмин А.И., Переверзев В.С., Колесов С.В. Эффективность четырехстержневой фиксации при выполнении педикулярной субтракционной остеотомии позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2018;24(3):65-73. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-65-73.

**Cite as:** Panteleyev A.A., Mironov S.P., Buhtin K.M., Sazhnev M.L., Kazmin A.I., Pereverzev V.S., Kolesov S.V. [Effectiveness of Four-Rod Fixation for Pedicle Subtraction Spinal Osteotomy]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(3):65-73. (in Russian). DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-65-73.

✉ Андрей Андреевич Пантелеев. Ул. Приорова, д. 10, 127299, Москва, Россия / Andrey A. Panteleyev. 10, ul. Priorova, 127299, Moscow, Russian Federation; e-mail: apanteleyev@gmail.com

Рукопись поступила/Received: 17.06.2018. Принята в печать/Accepted for publication: 22.08.2018.

# Effectiveness of Four-Rod Fixation for Pedicle Subtraction Spinal Osteotomy

A.A. Panteleyev, S.P. Mironov, K.M. Buhtin, M.L. Sazhnev, A.I. Kazmin,  
V.S. Pereverzev, S.V. Kolesov

*Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics  
10, ul. Priorova, 127299, Moscow, Russian Federation*

## Abstract

**Introduction.** Pedicle subtraction osteotomy (PSO) provides for significant segmental correction of the sagittal balance of the spine. At the same time, the technique is associated with a high risk of complications, with rod fracture at the osteotomy site being the most common.

**The purpose** of this study — to assess the effectiveness of four-rod fixation compared to literature data on standard two-rod fixation in patients undergoing PSO.

**Materials and Methods.** The study is a retrospective analysis of 47 consecutive patients with rigid spinal deformities, who underwent pedicle subtraction osteotomy at the lumbar level. The average age of the patients (33 females and 14 males) was 59.7 years. In all cases spinal fixation carried out using a four-rod construct with additional short rods at the osteotomy site. The minimal postoperative follow-up was 2 years. A detailed analysis of the radiographic data was carried out with calculation of the global sagittal balance and spinopelvic parameters. A detailed assessment of complications in the early and late postoperative periods was also performed. After an exhaustive review of literature, a comparative analysis was made of the four-rod fixation technique with current literature data on the frequency of complications (in particular, rod fractures in the osteotomy zone) after two-rod fixation.

**Results.** In all cases the osteotomy was performed at one level, most often at L3 (49%). The average length of fixation was 9.8 segments. The average angle of segmental correction was 27.1°. In most cases, it was possible to achieve adequate correction of spinopelvic parameters. Among complications, bone resorption around screws was most prevalent (23.4% of cases). Proximal junctional kyphosis occurred in 12.8% of cases, neurologic deficit — in 14.9% of cases, infectious complications — in 10.6% cases. Asymptomatic pseudarthrosis, confirmed by CT data, was observed in 12.8% of patients. Rod fracture at the PSO site and adjacent segments was not observed in any of the cases. Rod fractures of other localization were observed in 10.6% of patients.

**Conclusion.** According to the literature, the frequency of rod fractures at the osteotomy site is the most frequent complication of PSO. The results of this study showed that four-rod fixation in PSO significantly reduces the incidence of pseudarthrosis and rod fracture rate in the long-term follow-up and provides greater control over the process of osteotomy closure.

**Keywords:** pedicle subtraction osteotomy, sagittal balance, four-rod fixation, spinopelvic parameters, rigid spine deformities.

DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-3-65-73

**Competing interests:** the authors declare that they have no competing interests.

**Funding:** the authors have no support or funding to report.

## Введение

В настоящее время восстановление сагиттального баланса является одним из основных направлений развития хирургии позвоночника. Проблема нарушения сагиттального баланса наиболее характерна для пожилых пациентов с деформациями позвоночника и при болезни Бехтерева. Применение корригирующих остеотомий позвоночника для коррекции сагиттального баланса в течение последних двух десятилетий приобрело широкое распространение. В зависимости от ригидности и степени деформации позвоночника в сагиттальной плоскости применяются остеотомии задней колонны (osteotomies по Ponte и Smith-Petersen) и трехколонные остеотомии — педикулярная субтракционная остеотомия

(pedicle subtraction osteotomy — PSO) и резекция позвоночного столба (vertebral column resection — VCR) [1–7].

Основные показания к применению педикулярной субтракционной остеотомии — ригидные деформации позвоночника с выраженным нарушением сагиттального баланса. Технически методика заключается в клиновидной резекции всех трех колонн позвоночного столба с удалением задних элементов позвонка, что позволяет добиться локальной сегментарной коррекции в сагиттальной плоскости около 30° без удлинения передней колонны позвоночника [7–9]. При выполнении асимметричной PSO также возможна одновременная коррекция во фронтальной плоскости. Помимо возможности выраженной коррекции за счет од-

ного сегмента, преимущества данной методики заключаются в формировании в зоне остеотомии большой площади поверхности губчатой костной ткани, что обеспечивает оптимальные условия для костного сращения и минимальный риск повреждения сосудов и органов, расположенных впереди от позвоночного столба [7, 10]. В связи с вышеперечисленными преимуществами методика в течение последних двух десятилетий получает все более широкое распространение, обеспечивая хорошие клинические результаты [5, 11–13]. В то же время, по данным литературы, трехколонные остеотомии, и PSO в частности, связаны с повышенным риском развития осложнений, что обусловлено их радикальностью [12, 14–20].

В ходе корригирующего этапа хирургического вмешательства смыкание сформировавшегося в области PSO клиновидного дефекта приводит к выраженному изменению сагиттальной оси позвоночника, что значительно увеличивает трехплоскостную нагрузку на костные структуры и элементы металлоконструкции в зоне остеотомии. Стандартная хирургическая методика при применении трехколонных остеотомий основана на двухстержневой транспедикулярной стабилизации. По данным литературы, такая фиксация при выполнении PSO связана с большой частотой осложнений — до 37% (из них до 87% на уровне PSO), в первую очередь — переломов элементов металлоконструкции и последующим формированием псевдоартроза в зоне остеотомии [15, 19–27]. Разными авторами предпринимались попытки предотвратить развитие осложнений за счет применения стержней из более прочного металла и дополнительных стержней, проведения дополнительного межтелового спондилодеза и сведения к минимуму угла деформации стержней в зоне остеотомии [12, 28–32].

**Цель исследования** — сравнить собственные результаты четырехстержневой фиксации при педикулярной субтракционной остеотомии позвоночника с результатами стандартной двухстержневой фиксации по данным литературы.

### Материал и методы

В ходе исследования был проведен ретроспективный анализ результатов лечения 47 пациентов, последовательно поступивших с ригидными деформациями позвоночника, прооперированных за период с 2012 по 2017 г. с применением педикулярной субтракционной остеотомии. Средний возраст пациентов составил 59,5 лет (18–80 лет). Из 47 пациентов 33 были женщинами и 14 — мужчинами. Средний ИМТ составил 26,2 кг/м<sup>2</sup>. По этиологии деформации распределялись следующим образом: пациенты с дегенеративными деформациями и

нарушением сагиттального баланса — 31, болезнь Бехтерева — 3, постоперационный синдром «плоской спины» — 5, диспластический или врожденный сколиоз — 7, посттравматический кифоз — 1. Педикулярная субтракционная остеотомия выполнялась в рамках ревизионного хирургического вмешательства в 26 случаях и первично — в 21.

Всем пациентам проводились дорсальная коррекция и стабилизация позвоночника с четырехстержневой фиксацией зоны остеотомии. Минимальный срок послеоперационного наблюдения составил 2 года (в среднем 3,2 года).

Во всех случаях применялись титановые стержни диаметром 6 мм ( $n = 35$ ) и 5,5 мм ( $n = 12$ ). Технически субтракционная педикулярная остеотомия выполнялась по стандартной методике, описанной в литературе [7, 8]. Однако на этапе смыкания сформировавшегося дефекта вначале устанавливались короткие стержни, охватывающие только зону остеотомии и смежные сегменты, с постепенной попеременной их контракцией. На заключительном этапе в оставшиеся винты устанавливались длинные стержни, после чего при необходимости выполнялись дополнительная контракция головок винтов и окончательная фиксация гайками. В качестве материала для костной пластики во всех случаях применялся локальный костный аутоотрансплантат.

Проводился подробный ретроспективный анализ рентгенографических данных с вычислением показателей поясничного лордоза (LL — lumbar lordosis), грудного кифоза (TK — thoracic kyphosis), наклона таза (PT — pelvic tilt), тазового индекса (PI — pelvic incidence), сагиттальной вертикальной оси (СВО), степени основной дуги деформации (по Cobb), а также степени глобальной и сегментарной коррекции за счет остеотомии. Также проводилась подробная оценка осложнений в раннем и отдаленном послеоперационных периодах. Наличие или отсутствие костного сращения и целостность металлоконструкции оценивались по рентгенограммам, а в случае неоднозначных данных рентгенографии — по данным КТ.

После обзора литературы был проведен сравнительный анализ собственных результатов лечения пациентов с применением четырехстержневой фиксации зоны проведения PSO с данными мировой литературы о частоте осложнений данной методики, в частности — переломов стержней в зоне остеотомии.

### Методы статистической обработки

Для статистического анализа использовалось программное обеспечение IBM SPSS Statistics 22.0. Все показатели выражались в виде средних значений и среднеквадратичного отклонения. Дихотомические переменные анализировались с ис-

пользованием непараметрических методов, что обусловлено объемом выборки. Связанные выборки (данных, отражающих динамику состояния одних и тех же пациентов) оценивались с помощью W-критерия Wilcoxon. Порог статистической значимости соответствовал  $p = 0,05$ .

### Результаты

Всем пациентам остеотомия выполнялась на одном уровне: у 23 (49%) пациентов на уровне L3, у 12 (25%) — на уровне L4, у 7 (15%) — на уровне L2 и у 5 (11%) — на уровне L1.

Средняя протяженность фиксации составила 9,8 сегмента. Средний угол сегментарной коррекции за счет PSO составил  $27,1^\circ$  ( $22-36^\circ$ ). Среднее предоперационное отклонение СВО — 12,2 см, средняя степень коррекции СВО в раннем послеоперационном периоде — 9,6 см. В отдаленном периоде средняя потеря коррекции СВО составила 1,8 см. В большинстве случаев удалось добиться адекватных показателей LL, СВО, РТ, PI-LL. Средний угол поясничного лордоза до операции составил  $22,5^\circ$ . В раннем послеоперационном периоде средний угол лордоза составлял  $47,8^\circ$  и статистически значимо не менялся с течением времени. Средние показатели грудного кифоза составляли  $29,3^\circ$  до операции и  $40,3^\circ$  после операции. Полученные результаты, представленные в таблице 1, сравнимы со средними показателями, описанными в литературе [12, 33, 34].

На рисунке приведен пример дорсальной коррекции и фиксации позвоночника с применением педикулярной субтракционной остеотомии и четырехстержневой фиксации при болезни Бехтерева.

В структуре осложнений наиболее часто наблюдалась резорбция вокруг винтов — в 10 (23,4%) случаях, что, вероятнее всего, связано с тем, что большую часть пациентов составляли женщины

постменопаузального возраста со сниженными показателями минеральной плотности костной ткани. Вместе с тем признаки резорбции проявлялись симптоматически только в 3 случаях и не требовали ревизионного вмешательства. Также относительно часто, в 6 (12,8%) случаях наблюдался кифоз переходной зоны (РЖК — proximal junctional kyphosis), который в 4 случаях развился в течение первых 3 мес. и в 2 случаях — в период от 6 мес. до 1 года после операции. В 4 из 6 случаев РЖК привел к ревизионным хирургическим вмешательствам. Неврологический дефицит был выявлен в 7 (14,9%) наблюдениях: в виде временного нарастания пареза в нижней конечности в 5 случаях, перманентного выпадения двигательной функции в одном случае и перманентной потери чувствительности в нижней конечности в одном случае. Инфекционные осложнения наблюдались у 5 (10,6%) пациентов и ни в одном из случаев не потребовали ревизионного вмешательства. Формирование бессимптомного псевдоартроза, подтвержденного данными КТ, наблюдалось у 6 (12,8%) пациентов. Проведение ревизионных хирургических вмешательств этим пациентам не потребовалось в связи с отсутствием клинических проявлений. Переломов стержней в зоне остеотомии и на уровне смежных сегментов не наблюдалось ни в одном из случаев. Переломы стержней другой локализации произошли у 5 (10,6%) пациентов. Переломы стержней возникали в течение первых 6 мес. у 3 пациентов и через 1 год и 1,5 года у двух других пациентов и во всех случаях повлекли за собой ревизионные хирургические вмешательства. Всего ревизионные вмешательства потребовались в 10 (21,3%) случаях (табл. 2).

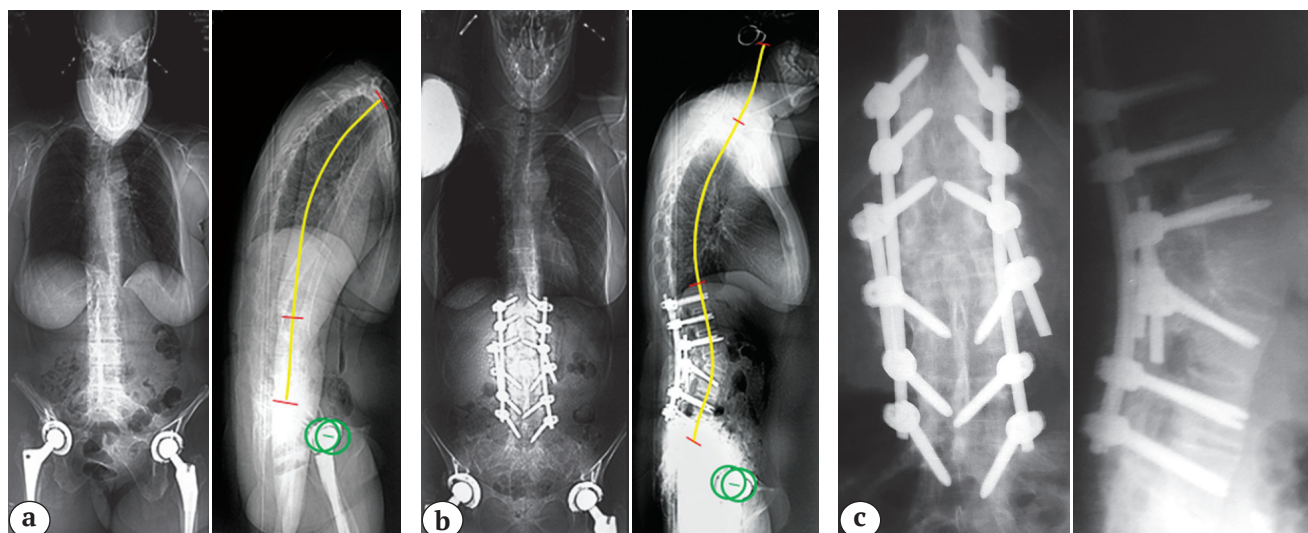
Более чем у 40% пациентов имели место серьезные осложнения. При этом переломов стержней в зоне остеотомии или смежных сегментов не наблюдалось ни в одном из случаев.

Таблица 1

**Рентгенологические показатели сагиттального баланса до операции и в отдаленном послеоперационном периоде**

| Рентгенологические параметры  | До операции ( $\sigma$ ) | После операции ( $\sigma$ ) | $p$     |
|-------------------------------|--------------------------|-----------------------------|---------|
| Сегментарная коррекция, град. | —                        | 27,1 (8,9)                  | —       |
| Грудной кифоз, град.          | 29,3 (18,2)              | 40,3 (15,1)                 | <0,001* |
| Поясничный лордоз, град.      | 22,5 (20,4)              | 47,8 (12,7)                 | <0,001* |
| СВО, см                       | 12,2 (8,7)               | 4,5 (4,9)                   | <0,001* |
| РТ, град.                     | 29,7 (10,1)              | 21,8 (9,3)                  | <0,023* |
| PI-LL, град.                  | 33,1 (17,8)              | 9,3 (8,3)                   | <0,001* |

$\sigma$  — среднееквадратичное отклонение; порог статистической значимости  $p = 0,05$ ; \* — статистически значимые значения.



**Рис.** Пример дорсальной коррекции и фиксации позвоночника с применением педикулярной субтракционной остеотомии и четырехстержневой фиксации при болезни Бехтерева:

а — предоперационные постуральные рентгенограммы демонстрируют выраженное нарушение сагиттального баланса;

б — на рентгенограммах в послеоперационном периоде наблюдается выраженная коррекция деформации за счет PSO с четырехстержневой фиксацией зоны остеотомии;

с — рентгенограммы, демонстрирующие сформировавшийся костный блок в зоне остеотомии через 3 года после операции

**Fig.** Dorsal correction with pedicular subtraction osteotomy and four-rod fixation in patient with ankylosing spondylitis:

a — preoperative full spine standing X-rays demonstrate severe sagittal imbalance;

b — postoperative X-rays demonstrate significant deformity correction using PSO and 4-rod fixation at the site of osteotomy;

c — X-rays demonstrating effective bone fusion at the osteotomy site 3 years after surgery

**Таблица 2**  
**Структура осложнений в интраоперационном и послеоперационном периодах**

| Осложнение                           | Кол-во<br>n (%) |
|--------------------------------------|-----------------|
| Резорбция вокруг винтов              | 10 (21,3)       |
| Дуральные повреждения/ликворея       | 5 (10,6)        |
| Переломы стержней в зоне PSO         | 0               |
| Переломы стержней другой локализации | 5 (10,6)        |
| Псевдоартроз                         | 6 (12,8)        |
| РJK/DJK                              | 6 (12,8)        |
| Неврологический дефицит              | 7 (14,9)        |
| Инфекционные осложнения              | 5 (10,6)        |
| Число пациентов с осложнениями       | 19 (40,4)       |
| Ревизионные вмешательства            | 10 (21,3)       |

### Обсуждение

Педикулярная субтракционная остеотомия — одна из наиболее эффективных методик восстановления сагиттального баланса у пациентов с ригидными деформациями позвоночника. За счет сегментарной клиновидной резекции PSO позволяет добиться значительной коррекции позвоночно-тазовых параметров, что, в свою очередь, обеспечивает восстановление мышечного баланса, снижение болевого синдрома и повышение качества жизни пациента. Впервые применил методику в 1985 г. E. Thomasen при хирургическом лечении болезни Бехтерева [8]. Впоследствии эффективное применение PSO и ее модификаций были описаны многими авторами [6, 7, 27, 35–37].

Уменьшение поясничного лордоза и положительное смещение сагиттальной вертикальной оси позвоночника кпереди являются основными рентгенологическими показаниями к проведению PSO [38–40]. У всех пациентов в нашем исследовании наблюдались выраженное уменьшение поясничного лордоза и смещение центра тяжести туловища кпереди, что в большинстве случаев приводило к активации компенсаторных механизмов — разгибанию в грудном и шейном отде-

лах позвоночника, сгибанию в тазобедренных и коленных суставах, ретроверсии таза. При оценке рентгенологических показателей региональные позвоночно-тазовые параметры были в среднем сопоставимы с данными литературы [19, 28, 31, 33]. Средняя степень сагиттальной коррекции, достигнутая результате хирургического вмешательства, также была сходной с соответствующими показателями других исследователей [27, 28, 31, 33, 35]. Основное различие с исследованиями других авторов заключалось в том, что в зоне непосредственной клиновидной резекции проводилась короткая фиксация двумя дополнительными стержнями. В подавляющем большинстве исследований осуществлялась традиционная фиксация двумя стержнями. Рентгенологически у всех пациентов в исследовании в отдаленном послеоперационном периоде наблюдалась адекватная коррекция деформации и сагиттального баланса с восстановлением поясничного лордоза до значений, близких к физиологическим. При этом важно отметить, что в отдаленном послеоперационном периоде ни в одном из случаев не наблюдалось переломов стержней в зоне остеотомии и смежных уровнях, хотя переломы стержней другой локализации имели место у 5 пациентов.

Зона педикулярной субтракционной остеотомии является механически наиболее неустойчивой областью позвоночного столба при протяженной фиксации. В связи с дестабилизацией позвоночно-двигательного сегмента за счет удаления задних элементов и значительной части тела позвонка вся нагрузка вышележащих отделов приходится именно на этот участок фиксирующих стержней. Также вследствие формирования на этом уровне угловой деформации (при выполнении PSO в поясничном отделе) после смыкания зоны дефекта возникает необходимость в значительной угловой деформации и самих стержней, что снижает их устойчивость к нагрузкам и увеличивает риск их переломов в этой области.

Данная методика имеет несколько потенциальных преимуществ. Основное преимущество заключается в распределении нагрузок между большим числом стержней, что, соответственно, снижает индивидуальную нагрузку на каждый стержень в отдельности. Так, результаты биомеханических исследований, основанных на анализе конечных элементов на кадаверных моделях позвоночника, показали, что при проведении PSO четырехстержневая фиксация обеспечивает снижение нагрузки на основные стержни на 50% при сгибании, на 43% — при боковых наклонах и на 27% — при ротации по сравнению с двухстержневой фиксацией [42]. Результаты другого биомеханического исследования, проведенного J.A. Tang с соавторами, показали, что большая

степень угловой деформации стержней связана со значительным снижением их устойчивости к усталостным переломам [43]. Таким образом, применяемая в нашем исследовании фиксация вершины сформировавшегося лордоза дополнительными короткими стержнями обеспечивает минимальное снижение устойчивости основных стержней к нагрузкам за счет отсутствия необходимости в их выраженной угловой деформации на уровне остеотомии. В то же время, дополнительные стержни снижают степень подвижности конструкции в области остеотомии во всех плоскостях [44]. По сравнению с традиционной двухстержневой техникой конструкция из четырех стержней также упрощает процесс смыкания зоны дефекта, сформированного вследствие остеотомии, и увеличивает степень контроля этого процесса. Основные стержни, которые охватывают всю длину фиксации, могут быть установлены без применения временных стержней, которые зачастую усложняют коррекцию деформации в обеих плоскостях. По данным литературы, частота переломов стержней при операциях с применением PSO значительно выше, чем при операциях с применением остеотомий задней колонны позвоночника, и достигает 37%. При этом в подавляющем большинстве случаев (до 87%) переломы стержней происходят на уровне PSO или на уровне смежных сегментов [21, 23, 25, 43, 45]. Эти клинические данные подтверждают, что зона остеотомии является наиболее подверженной переломам областью фиксации.

Сведения о применении методик, направленных на увеличение прочности фиксации зоны остеотомии при выполнении PSO, в научной литературе крайне ограничены. Применение дополнительных стержней для стабилизации позвоночника при выполнении грудных и поясничных трехколонных остеотомий ранее было описано S.J. Hyun с соавторами [28]. В отличие от нашей методики, в их исследовании дополнительные стержни крепились не к транспедикулярным винтам, установленным непосредственно в смежные с зоной остеотомии тела позвонков, а фиксировались к основным стержням при помощи поперечных коннекторов. Хотя данный подход также обеспечивает распределение нагрузки между большим количеством стержней, он не позволяет уменьшить угол изгиба основных стержней на уровне остеотомии, что, скорее всего, сохраняет их большую подверженность усталостным переломам. Тем не менее, авторы также отметили значительное снижение частоты развития псевдоартроза и переломов стержней в зоне остеотомии по сравнению с традиционной двухстержневой фиксацией. S. Gupta с соавторами провели сходное с представленным нами ретроспективное исследование, в котором сравнивались результаты

хирургического лечения пациентов, которым выполнялась педикулярная субтракционная остеотомия с четырехстержневой (29 пациентов) и двухстержневой (20 пациентов) фиксацией [31]. По их данным, в группе с четырехстержневой фиксацией в отдаленном послеоперационном периоде также не наблюдалось переломов стержней, тогда как в группе со стандартной двухстержневой фиксацией переломы наблюдались в 25% случаев и почти в 7,5 раз чаще наблюдался псевдоартроз. Основываясь на полученных результатах, обе группы авторов рекомендует применение дополнительных стержней для более надежной стабилизации трехколонных остеотомий позвоночника.

### Заключение

В представленном ретроспективном исследовании проведено сравнение двух методов стабилизации зоны педикулярной субтракционной остеотомии — традиционного двухстержневого и четырехстержневого, с применением двух коротких вспомогательных стержней. Результаты исследования продемонстрировали, что описанный новый метод стабилизации способствует снижению высокой частоты развития псевдоартроза и переломов стержней в отдаленном периоде при операциях, направленных на коррекцию выраженного сагиттального дисбаланса при помощи трехколонных остеотомий. Эффективность методики обусловлена как распределением нагрузки между большим количеством стержней, так и снижением степени деформации основных стержней металлоконструкции. Для подтверждения полученных результатов и изучения влияния представленной методики на общую структуру осложнений при применении педикулярной субтракционной остеотомии необходимо проведение проспективных мультицентровых исследований с более репрезентативными выборками пациентов.

**Конфликт интересов:** не заявлен.

**Источник финансирования:** исследование проведено без спонсорской поддержки.

### Литература [References]

- Schwab F., Blondel B., Chay E., Demakakos J., Lenke L., Tropiano P. et al. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery*. 2014;74(1):112-120. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001820.
- Hu X., Thapa A.J., Cai Z., Wang P., Huang L., Tang Y. et al. Comparison of Smith-Petersen osteotomy, pedicular subtraction osteotomy, and poly-segmental wedge osteotomy in treating rigid thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis: a systematic review and meta-analysis. *BMC Surg*. 2016;22:16:4. DOI: 10.1186/s12893-015-0118-x.
- Liu H., Yang C., Zheng Z., Ding W., Wang J., Wang H., Li S. Comparison of Smith-Petersen osteotomy and pedicle subtraction osteotomy for the correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis: a systematic review and meta-analysis. *Review. Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(8):570-579. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000815.
- Kose K.C., Bozduman O., Yenigul A.E., Igrek S. Spinal osteotomies: indications, limits and pitfalls. *EFORT Open Rev*. 2017;2(3):73-82. DOI: 10.1302/2058-5241.2.160069.
- Gupta S., Gupta M.C. The nuances of pedicle subtraction osteotomies. *Review. Neurosurg Clin N Am*. 2018;29(3):355-363. DOI: 10.1016/j.nec.2018.03.001.
- Saifi C., Laratta J.L., Petridis P., Shillingford J.N., Lehman R.A., Lenke L.G. Vertebral column resection for rigid spinal deformity. *Global Spine J*. 2017;7(3):280-290. DOI: 10.1177/2192568217699203.
- Makhni M.C., Shillingford J.N., Laratta J.L., Hyun S.J., Kim Y.J. Restoration of sagittal balance in spinal deformity surgery. *Review. J Korean Neurosurg Soc*. 2018;61(2):167-179. DOI: 10.3340/jkns.2017.0404.013.
- Thomasen E. Vertebral osteotomy for correction of kyphosis in ankylosing spondylitis. *Clin Orthop Relat Res*. 1985;(194):142-152.
- Wang M.Y., Berven S.H. Lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery*. 2007;60(2 Suppl 1):140-146. DOI: 10.1227/01.NEU.0000249240.35731.8F.
- Salvi G., Aubin C., Le Naveaux F., Wang X., Parent S. Biomechanical analysis of Ponte and pedicle subtraction osteotomies for the surgical correction of kyphotic deformities. *Eur Spine J*. 2016;25(8):2452-2460. DOI: 10.1007/s00586-015-4279-1.
- Hyun S-J., Kim Y.J., Rhim S-C. Spinal pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients. *World J Clin Cases*. 2013;1(8):242-248. DOI: 10.12998/wjcc.v1.i8.242.
- Hyun S.J., Rhim S.C. Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance patients: A long-term follow-up data. *J Korean Neurosurg Soc*. 2010;47(2):95-101. DOI: 10.3340/jkns.2010.47.2.95.
- Cho K.J., Kim Y.T., Shin S.H. Surgical treatment of adult degenerative scoliosis. *Asian Spine J*. 2014;8(3):371-381. DOI: 10.4184/asj.2014.8.3.371.
- Annis P., Dheerendra S., Daubs M., Brodke D. Perioperative complications of pedicle subtraction osteotomy. *Glob spine J*. 2016;16(4):S67. DOI: 10.1016/j.spinee.2016.01.159.
- Daubs M.D., Lenke L.G., Cheh G., Stobbs G., Bridwell K.H. Adult spinal deformity surgery: Complications and outcomes in patients over age 60. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2238-2244. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31814cf24a.
- Auerbach J.D., Lenke L.G., Bridwell K.H., Sehn J.K., Milby A.H., Bumpass D. et al. Major complications and comparison between 3-column osteotomy techniques in 105 consecutive spinal deformity procedures. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(14):1198-1210. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31824fffde.
- Bianco K., Schwab F.J., Norton R.P., Smith J.S., Obeid I., Mundis G.M. et al. Complications and intercenter variability of three-column osteotomies for spinal deformity surgery: A retrospective review of 423 patients. *Spine J*. 2013;13(9):S60-S61. DOI: 10.1016/j.spinee.2013.07.172.
- Ferrero E., Liabaud B., Henry J.K. Sagittal alignment and complications following lumbar 3-column osteotomy: does the level of resection matter? *J Neurosurg Spine*. 2017;27(5):560-569. DOI: 10.3171/2017.3.SPINE16357.

19. Smith J.S., Gupta M.C., Klineberg E.O., Shaffrey C.I., Schwab F.J., Lafage V. et al. Complication rates associated with 3-column osteotomy in 82 adult spinal deformity patients: retrospective review of a prospectively collected multicenter consecutive series with minimum two-year follow-up [abstract]. *J Neurosurg Spine*. 2017;16(10):S376-S377. DOI: 10.1016/j.spinee.2016.07.313.
20. Charosky S., Moreno P., Maxy P. Instability and instrumentation failures after a PSO: a finite element analysis. *Eur Spine J*. 2014;23(11):2340-2349. DOI: 10.1007/s00586-014-3295-x.
21. Smith J.S., Shaffrey E., Klineberg E., Shaffrey C.I., Lafage V., Schwab F.J. et al. Prospective multicenter assessment of risk factors for rod fracture following surgery for adult spinal deformity. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(6):994-1003. DOI: 10.3171/2014.9.SPINE131176.
22. Smith J.S., Klineberg E., Lafage V., Shaffrey C.I., Schwab F., Lafage R. et al. Prospective multicenter assessment of perioperative and minimum 2-year postoperative complication rates Associated With Adult Spinal Deformity Surgery. *J Neurosurg Spine*. 2016;25(1):1-14. DOI: 10.3171/2015.11.SPINE151036.
23. Smith J.S., Shaffrey C.I., Ames C.P., Demakakos J., Fu K.M., Keshavarzi S. et al. Assessment of symptomatic rod fracture after posterior instrumented fusion for adult spinal deformity. *Neurosurgery*. 2012;71(4):862-867. DOI: 10.1227/NEU.0b013e3182672aab.
24. Scheer J.K., Tang J.A., Deviren V., Buckley J.M., Pekmezci M., McClellan R.T., Ames C.P. Biomechanical analysis of revision strategies for rod fracture in pedicle subtraction osteotomy. *Neurosurgery*. 2011;69(1):164-172. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31820f362a.
25. Kavadi N., Tallarico R.A., Lavelle W.F. Analysis of instrumentation failures after three column osteotomies of the spine. *Scoliosis Spinal Disord*. 2017;12:19. DOI: 10.1186/s13013-017-0127-x.
26. Barton C., Noshchenko A., Patel V., Cain C., Kleck C., Burger E. Risk factors for rod fracture after posterior correction of adult spinal deformity with osteotomy: a retrospective case-series. *Scoliosis*. 2015;10:30. DOI: 10.1186/s13013-015-0056-5.
27. Yang B.P., Ondra S.L., Chen L.A., Jung H.S., Koski T.R., Salehi S.A. Clinical and radiographic outcomes of thoracic and lumbar pedicle subtraction osteotomy for fixed sagittal imbalance. *J Neurosurg Spine*. 2006;5(1):9-17. DOI: 10.3171/spi.2006.5.1.9.
28. Hyun S-J., Lenke L.G., Kim Y-C., Koester L.A., Blanke K.M. Comparison of standard 2-rod constructs to multiple-rod constructs for fixation across 3-column spinal osteotomies. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(22):1899-1904. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000556.
29. Palumbo M.A., Shah K.N., Ebersson C.P., Hart R.A., Daniels A.H. Outrigger rod technique for supplemental support of posterior spinal arthrodesis. *Spine J*. 2015;15(6):1409-1414. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.03.004.
30. Hallager D.W., Gehrchen M., Dahl B., Harris J.A., Gudipally M., Jenkins S. et al. Use of supplemental short pre-contoured accessory rods and cobalt chrome alloy posterior rods reduces primary rod strain and range of motion across the pedicle subtraction osteotomy level. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2016;41(7):E388-E395. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001282.
31. Gupta S., Eksi M.S., Ames C.P., Deviren V., Durbin-Johnson B., Smith J.S., Gupta M.C. A novel 4-rod technique offers potential to reduce rod breakage and pseudarthrosis in pedicle subtraction osteotomies for adult spinal deformity correction. *Oper Neurosurg (Hagerstown)*. 2018;14(4):449-456. DOI: 10.1093/ons/oxp151.
32. Jager Z.S., Inceoglu S., Palmer D., Akpolat Y.T., Cheng W.K. Preventing instrumentation failure in three-column spinal osteotomy: biomechanical analysis of rod configuration. *Spine Deform*. 2016;4(1):3-9. DOI: 10.1016/j.jspd.2015.06.005.
33. Ikenaga M., Shikata J., Takemoto M., Tanaka C. Clinical outcomes and complications after pedicle subtraction osteotomy for correction of thoracolumbar kyphosis. *J Neurosurg Spine*. 2007;6(4):330-336. DOI: 10.3171/spi.2007.6.4.330.
34. Gupta M.C., Ferrero E., Mundis G., Smith J.S., Shaffrey C.I., Schwab F. et al. Pedicle subtraction osteotomy in the revision versus primary adult spinal deformity patient: is there a difference in correction and complications? *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(22):E1169-E1175. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001107.
35. Van Royen B.J., Gast A.D. Lumbar osteotomy for correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis. A structured review of three methods of treatment Lumbar osteotomy for correction of thoracolumbar kyphotic deformity in ankylosing spondylitis. *Ann Rheum Dis*. 1999;58(7):399-406.
36. Bakaloudis G., Lolli F., Di Silvestre M., Greggi T., Astolfi S., Martikos K. et al. Thoracic pedicle subtraction osteotomy in the treatment of severe pediatric deformities. *Eur Spine J*. 2011;20(Suppl. 1):S95-104. DOI: 10.1007/s00586-011-1749-y.
37. Kim Y.J., Bridwell K.H., Lenke L.G., Cheh G., Baldus C. Results of lumbar pedicle subtraction osteotomies for fixed sagittal imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(20):2189-2197. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31814b8371.
38. Rose P.S., Bridwell K.H., Lenke L.G., Cronen G.A., Mulconrey D.S., Buchowski J.M., Kim Y.J. Role of pelvic incidence, thoracic kyphosis, and patient factors on sagittal plane correction following pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(8):785-791. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31819d0c86.
39. Lafage V., Ames C., Schwab F., Klineberg E., Akbarnia B., Smith J. et al. Changes in thoracic kyphosis negatively impact sagittal alignment after lumbar pedicle subtraction osteotomy. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(3):181-187. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318225b926.
40. Eskilsson K., Sharma D., Johansson C., Hedlund R. The impact of spinopelvic morphology on the short-term outcome of pedicle subtraction osteotomy in 104 patients. *J Neurosurg Spine*. 2017;27(1):74-80. DOI: 10.3171/2016.11.SPINE16601.
41. Yu M., Silvestre C., Mouton T., Rachkidi R., Zeng L., Roussouly P. Analysis of the cervical spine sagittal alignment in young idiopathic scoliosis: A morphological classification of 120 cases. *Eur Spine J*. 2013;22(11):2372-2381. DOI: 10.1007/s00586-013-2753-1.
42. Januszewski J., Beckman J.M., Harris J.E., Turner A.W.L., Yen C.P., Uribe J.S. Biomechanical study of rod stress after pedicle subtraction osteotomy versus anterior column reconstruction: A finite element study. *Surg Neurol Int*. 2017;8:207. DOI: 10.4103/sni.sni\_44\_17.
43. Tang J.A., Leasure J.M., Smith J.S., Buckley J.M., Kondrashov D., Ames C.P. Effect of severity of rod contour on posterior rod failure in the setting of lumbar pedicle subtraction osteotomy (PSO): a biomechanical study. *Neurosurgery*. 2013;72(2):276-282. DOI: 10.1227/NEU.0b013e31827ba066.



44. Luca A., Ottardi C., Sasso M., Prodocimo L., La Barbera L., Brayda-Bruno M. et al. Instrumentation failure following pedicle subtraction osteotomy: the role of rod material, diameter, and multi-rod constructs. *Eur Spine J.* 2017;26(3):764-770. DOI: 10.1007/s00586-016-4859-8.

45. Hamilton D.K., Buza J.A., Passias P., Jalai C., Kim H.J., Ailon T. et al. The fate of patients with adult spinal deformity incurring rod fracture after thoracolumbar fusion. *World Neurosurg.* 2017;106:905-911. DOI: 10.1016/j.wneu.2017.07.061.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

*Пантелеев Андрей Андреевич* — врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Миронов Сергей Павлович* — академик РАН, д-р мед. наук, профессор, директор ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Бухтин Кирилл Михайлович* — канд. мед. наук, ученый секретарь диссертационного совета ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Сажнев Максим Леонидович* — канд. мед. наук, врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Казьмин Аркадий Иванович* — канд. мед. наук, врач отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Переверзев Владимир Сергеевич* — аспирант отделения патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

*Колесов Сергей Васильевич* — д-р мед. наук, заведующий отделением патологии позвоночника, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова» Минздрава России, Москва

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

*Andrey A. Panteleyev* — orthopedic surgeon, Spinal Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Sergey P. Mironov* — Acad. RAS, Dr. Sci. (Med.), professor, director of Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Kirill M. Buhtin* — Cand. Sci. (Med.), academic secretary of the dissertation board, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Maxim L. Sazhnev* — Cand. Sci. (Med.), orthopedic surgeon, Spinal Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Arkadiy I. Kazmin* — Cand. Sci. (Med.), orthopedic surgeon, Spinal Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Vladimir S. Pereverzev* — PhD student, Spinal Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation

*Sergey V. Kolesov* — Dr. Sci. (Med.), head of the Spinal Pathology Department, Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russian Federation