



ТРАНСФОРАМИНАЛЬНЫЙ МЕЖТЕЛОВОЙ СПОНДИЛОДЕЗ: ВОЗМОЖНОСТИ КОРРЕКЦИИ СЕГМЕНТАРНОГО УГЛА

О.Н. Леонова, Е.С. Байков, Н.С. Кузьмин, А.В. Крутько

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии
им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

Цель исследования. Определить возможности трансфораминального межтелового спондилодеза (TLIF) по созданию/коррекции сегментарного угла на одном поясничном уровне при его дегенеративном поражении.

Материал и методы. В ретроспективный анализ вошли данные проспективно набранных пациентов с одноуровневым дегенеративным стенозом и симптомным спондилолистезом. В первой группе выполняли открытый TLIF ($n = 31$), во второй – минимально-инвазивный TLIF ($n = 20$); заднюю винтовую фиксацию проводили в обеих группах. В обоих вариантах операций интраоперационно проводили коррекцию сегментарного угла. Оценивали рентгенологические результаты при выписке, определяли предикторы достигаемого в результате вмешательств сегментарного угла.

Результаты. Сегментарный угол после операции в группе открытого TLIF был больше, чем в группе минимально-инвазивного ($8^\circ [5,0; 9,0]$ vs. $6^\circ [4,0; 7,3]$; $p = 0,006$). Предиктором достигаемого сегментарного угла после операции явился сегментарный угол до операции ($\beta = 0,229-0,587$; $p < 0,05$). Значение сегментарного угла после операции имеет сильную обратную зависимость от объема коррекции (r от $-0,719$ до $-0,488$; $p < 0,000$).

Заключение. Наиболее часто оперируемый сегмент при сочетании дегенеративного стеноза и спондилолистеза – L_4-L_5 . Медиана значений сегментарного угла после операции при TLIF (открытого или минимально-инвазивного) составляет 7° при использовании всего доступного для вертебролога арсенала. Чем меньше сегментарный угол до операции, тем больше его возможная интраоперационная коррекция.

Ключевые слова: трансфораминальный межтеловой спондилодез; сегментарный лордоз; сагиттальный баланс.

Для цитирования: Леонова О.Н., Байков Е.С., Кузьмин Н.С., Крутько А.В. Трансфораминальный межтеловой спондилодез: возможности коррекции сегментарного угла // Хирургия позвоночника. 2026. Т. 23, № 2. С. 77–82. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.2.77-82>

TRANSFORAMINAL INTERBODY FUSION: POSSIBILITIES OF SEGMENTAL LORDOSIS CORRECTION

O.N. Leonova, E.S. Baykov, N.S. Kuzmin, A.V. Krutko

National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics n.a. N.N. Priorov, Moscow, Russia

Objective. To determine the possibilities of transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF) in creating/correcting a segmental angle at a single lumbar level in case of its degenerative lesion.

Material and Methods. A retrospective analysis included data from prospectively enrolled patients with single-level degenerative stenosis and symptomatic spondylolisthesis. Open TLIF was performed in the first group ($n = 31$), and minimally invasive TLIF – in the second group ($n = 20$). Posterior screw fixation was performed in both groups. Both surgical options included intraoperative correction of the segmental lordosis. Radiographic results at discharge were assessed, and predictors of segmental lordosis value achieved after intervention were identified.

Results. The postoperative segmental lordosis was greater in the open TLIF group than in the minimally invasive group ($8^\circ [5.0; 9.0]$ vs $6^\circ [4.0; 7.3]$; $p = 0.006$). The preoperative segmental lordosis was a predictor of the achieved postoperative segmental lordosis ($\beta = 0.229-0.587$; $p < 0.05$). The postoperative segmental lordosis value had a strong inverse correlation with the value of lordosis correction (r ranged from $-0,719$ до $-0,488$; $p < 0.000$).

Conclusion. The L_4-L_5 segment is the most commonly operated level in patients with degenerative stenosis and spondylolisthesis. The median postoperative segmental angle after TLIF (open or minimally invasive) is 7° , when using all arsenal available to the spine surgeon. The smaller the preoperative segmental angle, the greater the potential for intraoperative correction.

Key Words: transforaminal interbody spondylodesis; segmental lordosis; sagittal balance.

Please cite this paper as: Leonova ON, Baykov ES, Kuzmin NS, Krutko AV. Transforaminal interbody fusion: possibilities of segmental lordosis correction. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2026;23(2):77–82. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2026.2.77-82>

Пациенты с дегенеративными заболеваниями позвоночника обращаются за хирургическим лечением значительно чаще, чем пациенты с другими патологиями позвоночника [1]. Выполнение металлофиксации является неотъемлемой опцией в ряде дегенеративных заболеваний, особенно при необходимости коррекции сагиттального профиля больного – в таком случае можно говорить о проведении декомпрессивно-корректирующих вмешательств, при которых критически важно создание функционально выгодных оптимальных условий в сегменте и всем отделе позвоночника, так как корректно выполненная операция является залогом отсутствия реопераций долгие годы (если не всю жизнь) [2]. Сохранение или усугубление порочного положения в сегменте позвоночника после металлофиксации на поясничном уровне приводит к снижению качества жизни пациента [3], увеличению числа повторных вмешательств, прогрессированию сагиттального дисбаланса и развитию болезни смежного сегмента [4, 5].

Планирование декомпрессивно-корректирующего вмешательства с расчетом параметров сагиттального баланса прочно вошло в повседневную практику вертебрологов. Выполнение постуральной рентгенографии, измерение фактических и идеальных параметров баланса и последующее определение интраоперационной тактики – необходимые элементы при подготовке к проведению металлофиксации позвоночника. Но какой метод хирургического вмешательства выбрать?

Разнообразие хирургических методов сбивает с толку, для каждой из них находятся свои апологеты. Однако данные о корректирующих возможностях даже самого распространенного метода трансфораминального межтелового спондилодеза (TLIF) различаются более чем в 4 раза у разных авторов [6]. При необходимости большей коррекции многие авторы рекомендуют выполнение нескольких этапов [7] или проведение вертебротомии (остеотомии) [8]. Оптимальным

вариантом является предоперационный выбор доступного, одноэтапного метода в зависимости от его корректирующих возможностей по созданию/коррекции сегментарного угла на поясничном уровне.

Цель исследования – определить возможности TLIF по созданию/коррекции сегментарного угла на одном поясничном уровне при его дегенеративном поражении.

Материал и методы

Исследование представляет собой ретроспективный анализ проспективно набранных пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника, протокол исследования предварительно зарегистрирован (NCT04594980, clinicaltrials.gov), исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (заседания № 1/20 от 17.08.2020, № 1/24 от 26.02.2024). Все пациенты страдали от вертеброгенного болевого и/или неврологического синдрома, который был обусловлен моносегментарным дегенеративным стенозом позвоночного канала в сочетании со спондилолистезом низкой степени. Всем пациентам провели моносегментарное декомпрессивно-стабилизирующее вмешательство (TLIF и задняя винтовая транспедикулярная фиксация) открытым или минимально-инвазивным способом. Обязательным являлось предоперационное планирование хирургического вмешательства с расчетом фактических и идеальных параметров сагиттального баланса.

Межтеловой спондилодез проводили с интраоперационной коррекцией сегментарного лордоза за счет всего арсенала хирурга – расположения кейджей в передней трети межтелового пространства, коррекции операционным столом, контракции транспедикулярной системы на стержнях.

Оцениваемые данные регистрировали до операции (визит 1) и при выписке (визит 2) с анализом следующих параметров глобального и регионального сагиттального баланса и их динамики, измеряемых на постураль-

ных рентгенограммах позвоночника: позвоночно-тазовые параметры – PI (Pelvic Incidence), PT (Pelvic Tilt), SS (Sacral Slope), LL (Lumbar Lordosis), LLL (Low Lumbar Lordosis); параметры глобального баланса – SVA (Sagittal vertical axis), C2-НА (угол отклонения C₂ позвонка); тип спондилолистеза по Gille; параметры регионального баланса – сегментарный угол на уровне вмешательства. Сегментарный угол измеряли между смежными замыкательными пластинками позвонков (без учета тел позвонков). Всем пациентам выполняли КТ поясничного отдела позвоночника для определения значений единиц Хаунсфилда (Hounsfield Units, HU) тел позвонков и оценки риска нестабильности металлоконструкции.

Сравнение непрерывных данных между исследуемыми группами и внутри группы проводили непарным *U*-критерием Манна – Уитни с расчетом величины смещения расщеплений, сравнение категориальных данных между группами – точным двусторонним критерием Фишера. Выявление попарных связей между непрерывными показателями и значением сегментарного угла выполняли путем расчета коэффициентов корреляции Спирмена. Поиск многомерных зависимостей между непрерывными показателями и значением сегментарного угла производили построением обобщенной многофакторной линейной регрессии. Статистические гипотезы проверяли при критическом уровне значимости $p = 0,05$. Нижняя граница доказательной мощности фиксируется равной 80 %.

Результаты

Общую когорту составил 31 пациент группы открытого TLIF и 24 – группы минимально-инвазивного TLIF. Основная часть когорты – женщины 76,4 % (42/55), средний возраст – 57 [49; 65] лет. Значения HU были достаточны для обеспечения стабильной металлофиксации – 155 [128; 184] HU.

Для создания гомогенной когорты в текущий анализ включили только

Таблица 1

Сравнение параметров сагиттального баланса и базовых характеристик в группах открытого и минимально-инвазивного TLIF

Параметр	Открытый TLIF (n = 31)	Минимально-инвазивный TLIF (n = 20)	Всего (n = 51)	p-value
PI, град.	55,5 [50,0; 64,0]	55,0 [47,5; 59,0]	55 [48,0; 63,3]	0,284
PT, град.	19,0 [15,0; 27,0]	17,5 [12,3; 24,5]	18 [13,0; 25,5]	0,323
SS, град.	37,0 [32,0; 42,0]	36,5 [29,3; 43,0]	37 [30,0; 42,0]	0,349
LLL, град.	28,0 [19,0; 32,0]	29,5 [18,8; 37,5]	28 [19,0; 33,0]	0,140
LL, град.	52,0 [43,0; 58,0]	52,0 [46,5; 61,8]	52 [46,0; 58,0]	0,249
SVA, см	3,5 [2,0; 5,5]	3,0 [2,0; 5,5]	3 [2,0; 5,5]	0,483
C2-NA, град.	3,0 [1,0; 6,0]	4,0 [3,0; 6,0]	4 [2,0; 6,0]	0,170
Тип Gille	1A	6,5 % (2/31)	5,9 % (3/51)	0,103
	1B	54,8 % (17/31)	45,0 % (9/20)	
	2A	38,7 % (12/31)	50,0 % (10/20)	
Сегментарный угол до операции, град.	3 [2,0; 4,0]	3 [1,3; 3,8]	3 [2,0; 4,0]	0,172
Сегментарный угол после операции, град.	8 [5,0; 9,0]	6 [4,0; 7,3]	7 [5,0; 9,0]	0,006

случаи с вмешательством на симптомном уровне L₄–L₅ (табл. 1), что составило 92,7 % общей когорты, в том числе 31 и 20 пациентов для TLIF и минимально-инвазивного TLIF (100,0 % и 83,3 %) соответственно ($p = 0,031$). Сегментарный угол до операции имел малое значение лордоза (в общей когорте до 4°), поэтому сильная интраоперационная коррекция осуществлялась во всех случаях.

Сегментарный угол после операции оказался больше в группе открытого TLIF, чем в группе минимально-инвазивного вмешательства (8° [5,0; 9,0] vs. 6° [4,0; 7,3], $p = 0,006$). Другие параметры сагиттального баланса не имели различий между группами ($p > 0,05$).

По результатам регрессионного анализа предиктором достигаемого сегментарного угла после операции оказался сегментарный угол до операции ($\beta = 0,229$ – $0,587$; $p < 0,05$; табл. 2), другие параметры не показали значимых ассоциаций.

При корреляционном анализе определено, что значение сегментарного угла после операции и значение объема коррекции (дельты) имеют значимую сильную обратную зависимость – значение r составляет от $-0,719$ до $-0,488$ ($p < 0,000$): чем меньше сегментарный угол до операции, тем выше возможность

Таблица 2

Предикторы значения сегментарного угла после операции

Предиктор	Коэффициент β	p-value
<i>Общая когорта, скорректированный R² = 0,259</i>		
Сегментарный угол до операции	0,229	0,039
<i>Группа открытого TLIF, скорректированный R² = 0,389</i>		
Нижнепоясничный лордоз	0,296	0,010
<i>Группа минимально-инвазивного TLIF, скорректированный R² = 0,607</i>		
Сегментарный угол до операции	0,587	0,000

воссоздать сегментарный угол после операции (при условии направленной интраоперационной коррекции).

В качестве иллюстрации корригирующих возможностей открытого и минимально-инвазивного TLIF приведены клинические примеры из нашей практики (рис.).

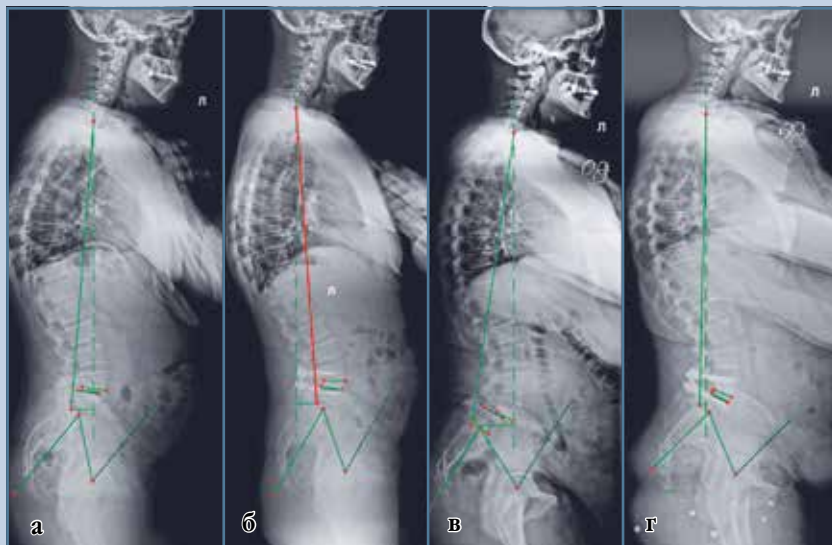
Обсуждение

В последнее время спинальные хирурги стали с осторожностью выполнять металлофиксацию при дегенеративных заболеваниях позвоночника, длительное время считавшуюся практически универсальным средством лечения, ввиду осложнений, большой операционной травмы, кровопотери и т.д. [9]. Одним из критически важных элементов является создание функционально выгодных угловых взаимо-

отношений в сегменте: это во многом определяет самочувствие пациента в будущем, поэтому восстановление угловых параметров имеет решающее значение, даже при короткосегментарной фиксации [10].

Предоперационный расчет фактических и идеальных параметров сагиттального баланса, в том числе значения сегментарного угла, дает вертебрологу понимание о необходимом объеме коррекции [11]. В зависимости от значения PI, наличия сагиттального дисбаланса и включения компенсаторных механизмов определяется план хирургического лечения.

По данным ряда авторов [12, 13], наибольший объем коррекции обеспечивает выполнение ALIF, примерно равный объем коррекции имеют боковые методики фиксации DLIF, XLIF и TLIF [14, 15], однако конкретных

**Рис.**

Постуральные рентгенограммы позвоночника пациентов до и после выполнения открытого TLIF (**а, б**) и минимально-инвазивного TLIF (**в, г**): **а** – PI = 53°, PT = 11°, SS = 42°, LLL = 44°, LL = 64°, SVA = 4 см, C2-NA = 0°; сегментарный лордоз L₄–L₅ до операции – 3°; **б** – сегментарный лордоз L₄–L₅ после операции – 8°; **в** – PI = 69°, PT = 32°, SS = 37°, LLL = 10°, LL = 51°, SVA = 7 см, C2-NA = 1°; сегментарный лордоз L₄–L₅ до операции – 1°; **г** – сегментарный лордоз L₄–L₅ после операции – 7°

значений не определено. Согласно нашим данным, средний объем коррекции сегментарного угла при TLIF в общей группе при интраоперационных корригирующих маневрах не превышал в среднем 7°. Согласно опубликованным данным, объем коррекции при TLIF может составлять 2,5° [16], 0,93° ± 2,32° [17], 1,04° ± 4,34° [18], 1,0°/0,0° (–5°; 7°) [19], однако в этих исследованиях авторы не использовали весь арсенал усилий для интраоперационной коррекции, а чаще оставляли сегментарный угол в положении *in situ*. Прочие исследования, в которых авторы приводят до- и/или послеоперационные значения угла, экстраполировать невозможно – авторы выполняют измерения угла различными методиками [6], что не позволяет унифицировать результаты.

Более прогнозируемые и точные объемы коррекции определены при выполнении остеотомий [8], в зависимости от типа обеспечивающих коррекцию угловых взаимоот-

ношений в диапазоне от 3° и более 50°, но требующих большей хирургической сноровки и сопряженных с большим количеством осложнений. Объем резекции костных структур при минимально-инвазивном TLIF можно сопоставить с вертебротомией типа 1 по Швабу (до 3–5°), а при традиционном открытом TLIF – с вертебротомией типа 2 по Швабу (до 5–7°), этим и может быть обусловлен больший достигаемый сегментарный угол при открытом TLIF. Однако объем коррекции в 7° – это максимум, который возможен без резекции тела позвонка или широкого релиза межтелового пространства при условии выполнения интраоперационной коррекции, а не фиксации *in situ*. При необходимости большей коррекции рекомендуется использовать варианты остеотомий (тип 3 по Швабу и другие).

Мы определили, что значение достигаемого сегментарного лордоза после операции при интраоперацион-

ных корригирующих маневрах зависит от предоперационного значения. Ряд авторов получили схожие данные, показав, что предоперационный сегментарный угол является сильным, а в некоторых случаях и единственным независимым фактором, который связан с достигаемым сегментарным лордозом [20–22]. Причем эти данные справедливы как для классического TLIF с использованием одного пулевидного кейджа, так и при межтеловых кейджах иного дизайна.

Мы подтвердили, что зависимость между пред- и послеоперационным значением сегментарного угла является обратной: чем меньше значение сегментарного лордоза (чем больше сегментарный кифоз) до вмешательства, тем больший объем коррекции можно получить после операции. Формирование большего сегментарного угла из уже существующего, но недостаточного лордоза, представляется более сложной интраоперационной задачей [21, 23, 24].

Ограничение достоверности результатов. В текущем исследовании рассмотрены только ближайшие рентгенологические результаты декомпрессивно-корригирующего вмешательства методом TLIF, создаваемые вертебрологом непосредственно во время операции. В отдаленных сроках важными рентгенологическими результатами становятся вероятное проседание имплантата, формирование межтелового блока и его скорость, потеря коррекции и динамика параметров локального и глобального сагиттального баланса.

Закключение

Наиболее часто оперируемый сегмент при сочетании дегенеративного стеноза и спондилолистеза – L₄–L₅. Медиана значений сегментарного угла после операции при выполнении TLIF (открытого или минимально-инвазивного) при использовании всего доступного для вертебролога арсенала составляет 7°. Чем меньше сегментарный угол до операции, тем больше возможна его интраоперационная коррекция.

Литература/References

1. Крылов В.В., Коновалов А.Н., Дашьян В.Г., Кондаков Е.Н., Танияшин С.В., Горельшев С.К., Древал О.Н., Гринь А.А., Парфенов В.Е., Кушнирук П.И., Гуляев Д.А., Колотвинов В.С., Рзаев Д.А., Поштаев К.Е., Кравец Л.Я., Можейко Р.А., Касьянов В.А., Кордонский А.Ю., Трифонов И.С., Каландари А.А., Шатохин Т.А., Айрапетян А.А., Далибальян В.А., Григорьев И.В., Сытник А.В. Состояние нейрохирургической службы Российской Федерации. *Вопросы нейрохирургии им Н.Н. Бурденко*. 2017;81(1):5–12. [Krylov VV, Konovalov AN, Dash'yan VG, Kondakov EN, Taniashin SV, Gorelyshev SK, Dreval' ON, Grin' AA, Parfenov VE, Kushniruk PI, Gulyaev DA, Kolotvinov VS, Rzaev DA, Poshataev KE, Kravets LYa, Mozheiko RA, Kas'yanov VA, Kordonskii AYu, Trifonov IS, Kalandari AA, Shatokhin TA, Airapetyan AA, Dalibaldyan VA, Grigor'ev IV, Sytnik AV. Neurosurgery in Russian Federation. *Burdenko's Journal of Neurosurgery*. 2017;81(1):5–12]. DOI: 10.17116/neiro20178075-12 EDN: YFSQXX
2. Maruenda JI, Barrios C, Garibo F, Maruenda B. Adjacent segment degeneration and revision surgery after circumferential lumbar fusion: outcomes throughout 15 years of follow-up. *Eur Spine J*. 2016;25:1550–1557. DOI: 10.1007/s00586-016-4469-5
3. Contreras LAN, Karantzoulis V, Trenado C, Velazquez K, Su rez-Guti rrez MA, Mantilla-Mayans P, Sanchez-Porrás R, Santos E, Vazifehdan F. Optimizing lordosis preservation in monosegmental lumbar spondylodesis: evaluating the efficacy of a novel noninvasive technique using intraoperative hip hyperextension. *J Orthop Traumatol*. 2025;26:68. DOI: 10.1186/s10195-025-00884-5
4. Herrington BJ, Fernandes RR, Urquhart JC, Rasoulinejad P, Siddiqi F, Bailey CS. L3–L4 hyperlordosis and decreased lower lumbar lordosis following short-segment L4–L5 lumbar fusion surgery is associated with L3–L4 revision surgery for adjacent segment stenosis. *Global Spine J*. 2025;15:382–391. DOI: 10.1177/21925682231191414
5. Thijs D, Kashtiar A, Beld S, Van de Kelft E. Surgical management of lower back pain: Is optimizing spinopelvic alignment beneficial for patient outcomes? *Life (Basel, Switzerland)*. 2025;15:833. DOI: 10.3390/life15060833
6. Леонова О.Н., Кузьмин Н.С., Байков Е.С., Крутько А.В. Сегментарный лордоз при стабилизации на поясничном уровне у пациентов с дегенеративной патологией: несистематический обзор литературы. *Хирургия позвоночника*. 2025;22(3):67–78. [Leonova ON, Kuzmin NS, Baykov ES, Krukko AV. Segmental lordosis in lumbar stabilization in patients with degenerative pathology: a non-systematic literature review. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2025;22(3):67–78]. DOI: 10.14531/ss2025.3.67-78 EDN: KFWRXW
7. Chaker AN, Melhem M, Kagithala D, Telemi E, Mansour TR, Simo L, Springer K, Schultz L, Jarabek K, Rademacher AF, Brennan M, Kim E, Nerenz DR, Khalil JG, Easton R, Perez-Cruet M, Aleem I, Park P, Soo T, Tong D, Abdulhak M, Schwalb JM, Chang V. A propensity score-matched comparison between single-stage and multistage anterior/posterior lumbar fusion surgery: a Michigan Spine Surgery Improvement Collaborative study. *J Neurosurg Spine*. 2024;42:340–347. DOI: 10.3171/2024.8.SPINE24423
8. Schwab F, Blondel B, Chay E, Demakakos J, Lenke L, Tropiano P, Ames C, Smith JS, Shaffrey CI, Glassman S, Farcy JP, Lafage V. The comprehensive anatomical spinal osteotomy classification. *Neurosurgery*. 2014;74:112–120. DOI: 10.1227/NEU.0000000000001820
9. Gadjradj PS, Basiliou M, Goldberg JL, Sommer F, Navarro-Ramirez R, Mykolajtchuk C, Ng AZ, Medary B, Hussain I, H rtl R. Decompression alone versus decompression with fusion in patients with lumbar spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis. *Eur Spine J*. 2023;32:1054–1067. DOI: 10.1007/s00586-022-07507-1
10. Inoue D, Matsumori H, Shigematsu H, Ueda Y, Morita T, Kawasaki S, Ikejiri M, Tanaka Y. Impact of cage angle on spinal alignment in posterior lumbar interbody fusion: A comparison of 12°, 16°, and 22° cages. *Spine Surg Relat Res*. 2025;9:580–587. DOI: 10.22603/ssrr.2025-0027
11. Le Huec JC, Charosky S, Barrey C, Rigal J, Aunoble S. Sagittal imbalance cascade for simple degenerative spine and consequences: algorithm of decision for appropriate treatment. *Eur Spine J*. 2011;20 Suppl 5:699–703. DOI: 10.1007/s00586-011-1938-8
12. O'Connor B, Bansal A, Leveque JC, Drolet CE, Shen J, Nemani V, Canlas G, Louie PK. Early compensatory segmental angle changes at L3–L4 and L4–L5 after a L5–S1 interbody fusion for a grade 1 spondylolisthesis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2024;49:865–872. DOI: 10.1097/BRS.0000000000004845
13. Ajiboye RM, Alas H, Mosich GM, Sharma A, Pourtaheri S. Radiographic and clinical outcomes of anterior and transforaminal lumbar interbody fusions: a systematic review and meta-analysis of comparative studies. *Clin Spine Surg*. 2018;31:E230–E238. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000549
14. Yingsakmongkol W, Jitpakdee K, Varakornpipat P, Choentrakool C, Tanasansomboon T, Limthongkul W, Singhatanadigje W, Kotheeranurak V. Clinical and radiographic comparisons among minimally invasive lumbar interbody fusion: a comparison with three-way matching. *Asian Spine J*. 2022;16:712–722. DOI: 10.31616/asj.2021.0264
15. Amaral R, Pokorny G, Marcelino F, Moriguchi R, Pokorny J, Barreira I, Mizael W, Yoza M, Fragoso S, Pimenta L. Lateral versus posterior approaches to treat degenerative lumbar pathologies - systematic review and meta-analysis of recent literature. *Eur Spine J*. 2023;32:1655–1677. DOI: 10.1007/s00586-023-07619-2
16. Martin CT, Niu S, Whicker E, Ward L, Yoon ST. Radiographic factors affecting lordosis correction after transforaminal lumbar interbody fusion with unilateral facetectomy. *Int J Spine Surg*. 2020;14:681–686. DOI: 10.14444/7099
17. Wang D, Chen X, Han D, Wang W, Kong C, Lu S. Radiographic and surgery-related predictive factors for increased segmental lumbar lordosis following lumbar fusion surgery in patients with degenerative lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J*. 2024;33:2813–2823. DOI: 10.1007/s00586-024-08248-z
18. Kim M, Kumar R, Drolet CE, Bs MA, Hanks T, Yamaguchi K, Krause K, Nemani VM, Leveque JC, Louie PK. What is the early fate of adjacent segmental lordosis compensation at L3–4 and L5–S1 following a lateral versus transforaminal lumbar interbody fusion at L4–5? *Eur Spine J*. 2024;33:3503–3508. DOI: 10.1007/s00586-024-08384-6
19. Василенко И.И., Евсюков А.В., Рябых С.О., Амелина Е.В., Кубецкий Ю.Е., Гарипов И.И., Рзаев Д.А. Лечение пациентов с дегенеративными деформациями поясничного отдела позвоночника с использованием MIS-технологий: анализ 5-летних результатов. *Хирургия позвоночника*. 2022;19(4):52–59. [Vasilenko II, Evsyukov AV, Ryabykh SO, Amelina EV, Kubetsky YuE, Garipov II, Rzaev JA. Treatment of patients with degenerative deformities of the lumbar spine using MIS technologies: analysis of 5-year results. *Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika)*. 2022;19(4):52–59]. DOI: 10.14531/ss2022.4.52-59 EDN: BEXXQF
20. Crawford CH 3rd, Epperson TN 4th, Gum JL, Owens RK 2nd, Djurasovic M, Glassman SD, Carreon LY. Predictors of segmental lumbar lordosis following midline posterior (transforaminal) lumbar interbody fusion: Does interbody device type matter? *N Am Spine Soc J*. 2022;11:100145. DOI: 10.1016/j.xnsj.2022.100145
21. Berlin C, Zang F, Halm H, Quante M. Preoperative lordosis in L4/5 predicts segmental lordosis correction achievable by transforaminal lumbar interbody fusion. *Eur Spine J*. 2021;30:1277–1284. DOI: 10.1007/s00586-020-06710-2
22. Alahmari A, Thornley P, Glennie A, Urquhart JC, Al-Jahdali F, Rampersaud R, Fisher C, Siddiqi F, Rasoulinejad P, Bailey CS. Preoperative disc angle is an important predictor of segmental lordosis after degenerative spondylolisthesis fusion. *Glob Spine J*. 2024;14:610–619. DOI: 10.1177/2192568222118845

23. Sulaiman S, V AN, N SAJ, K AM, Shekoba M, S S, B M. Radiographic and surgical predictive factors for restoring segmental lumbar lordosis and normal spinopelvic balance following TLIF surgery in lumbar spondylolisthesis patients. *BMC Musculoskelet Disord.* 2025;26:926. DOI: 10.1186/s12891-025-08893-5
24. Khalifeh JM, Massie LW, Dibble CF, Dorward IG, Macki M, Khandpur U, Alshohatec K, Jain D, Chang V, Ray WZ. Decompression of lumbar central spinal canal stenosis following minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Clin Spine Surg.* 2021;34:E439–E449. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001192

Статья поступила в редакцию 22.01.2026

Рецензирование пройдено 18.03.2026

Подписано в печать 20.04.2026

Received 22.01.2026

Review completed 18.03.2026

Passed for printing 20.04.2026

Дополнительная информация

Вклад авторов. Концептуализация: А.В. Крутько, Е.С. Байков; сбор данных: Е.С. Байков, Н.С. Кузьмин; методология: О.Н. Леонова, Н.С. Кузьмин, А.В. Крутько; администрирование проекта: А.В. Крутько; написание первичной рукописи: А.В. Крутько, О.Н. Леонова, Е.С. Байков, Н.С. Кузьмин; написание финальной рукописи: А.В. Крутько, О.Н. Леонова, Е.С. Байков, Н.С. Кузьмин. Все авторы одобрили рукопись (версию для публикации), а также согласились нести ответственность за все аспекты работы, гарантируя надлежащее рассмотрение и решение вопросов, связанных с точностью и добросовестностью любой ее части.

Этическая экспертиза. Исследование одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» (заседания № 1/20 от 17.08.2020, № 1/24 от 26.02.2024).

Согласие на публикацию. Все участники добровольно подписали форму информированного согласия до включения в исследование.

Источники финансирования. Отсутствуют.

Раскрытие интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Информация об авторах

✉ Ольга Николаевна Леонова, канд. мед. наук; Россия, 115172, Москва, Новоспасский пер., 9; eLibrary SPIN: 4907-0634; ORCID: 0000-0002-9916-3947; onleonova@gmail.com

Евгений Сергеевич Байков, канд. мед. наук; eLibrary SPIN: 5367-5438; ORCID: 0000-0002-4430-700X; Evgen-bajk@mail.ru

Никита Сергеевич Кузьмин; eLibrary SPIN: 2978-5700; ORCID: 0009-0007-7447-024X; nikkuzmin1997@gmail.com

Александр Владимирович Крутько, д-р мед. наук; eLibrary SPIN: 8006-6351; ORCID: 0000-0002-2570-3066; KrutkoAV@cito-priorov.ru

Authors' Info

✉ Olga Nikolayevna Leonova, MD, Cand. Sci. (Medicine); 9 Novospassky Lane, Moscow, 115172, Russia; eLibrary SPIN: 4907-0634; ORCID: 0000-0002-9916-3947; onleonova@gmail.com

Evgenii Sergeevich Baykov, MD, Cand. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: 5367-5438; ORCID: 0000-0002-4430-700X; evgen-bajk@mail.ru

Nikita Sergeevich Kuzmin; eLibrary SPIN: 2978-5700; ORCID: 0009-0007-7447-024X; nikkuzmin1997@gmail.com

Aleksandr Vladimirovich Krutko, MD, Dr. Sci. (Medicine); eLibrary SPIN: 8006-6351; ORCID: 0000-0002-2570-3066; KrutkoAV@cito-priorov.ru