

<https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-23-3-12-18>

© А.Е. Боков*, А.А. Булкин, С.Я. Калинина, А.В. Леонтьев, С.Г. Млявых



СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ПРИМЕНЕНИЯ ПРЯМОГО ЛАТЕРАЛЬНОГО И ТРАНСФОРАМИНАЛЬНОГО ПОЯСНИЧНОГО МЕЖТЕЛОВОГО СПОНДИЛОДЕЗА У ПАЦИЕНТОВ С ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА

Приволжский исследовательский медицинский университет, Нижний Новгород, Россия

✉ *А.Е. Боков, Приволжский исследовательский медицинский университет, 603005, Нижний Новгород, пл. Минина и Пожарского. д. 10/1, Andrei_Bokov@mail.ru

Поступила в редакцию 14 мая 2021 г. Принята к печати 19 августа 2021 г.

Введение	У пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника применяются различные методики спондилодеза, однако преимущества их использования не доказаны.
Цель	Оценка влияния типа спондилодеза на частоту развития нестабильности имплантата и проведение ревизионных операций, связанных с ней.
Материал и методы	Данное моноцентровое проспективное исследование включало 133 пациента с дегенеративным стенозом поясничного отдела позвоночника и подтвержденной нестабильностью позвоночно-двигательных сегментов. Больным выполнялся трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез (TLIF) с одним кейджем или прямой латеральный межтеловой спондилодез (DLIF) с установкой кейджей стандартных размеров. При выполнении TLIF использовалась стандартная открытая методика, в то время как у больных, которым делали DLIF, применялась перкутанная установка винтов. Длительность наблюдения составила 18 месяцев. Для оценки различий в частоте возникновения признаков нестабильности фиксатора, по данным МСКТ и ревизионных вмешательств, использовался точный тест Фишера. Для оценки связи между потенциальными факторами риска и количеством осложнений применялась логистическая регрессия.
Результаты	Использование технологии DLIF, выявляемой по данным МСКТ (32,9 против 3,6%, $p < 0,0001$), приводит к значительному снижению частоты возникновения нестабильности винтов и выполнения ревизионных вмешательств, связанных с данной ситуацией (11,8 против 0%, $p = 0,0122$). Результаты логистической регрессии, учитывающей такие факторы, как плотность костной ткани и количество уровней, на которых выполнен спондилодез, подтверждают связь снижения частоты развития осложнений и использования технологии DLIF.
Выводы	Применение технологии DLIF вместо TLIF у пациентов с дегенеративным стенозом на уровне поясничного отдела позвоночника может привести к значительному снижению частоты развития нестабильности винтов и выполнения связанных с этим последующих ревизионных операций.
Ключевые слова:	прямой латеральный межтеловой спондилодез, трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез, дегенеративные заболевания
Цитировать:	Боков А.Е., Булкин А.А., Калинина С.Я., Леонтьев А.В., Млявых С.Г. Сравнительный анализ результатов применения прямого латерального и трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. <i>Инновационная медицина Кубани</i> . 2021;(3):12–18. https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-23-3-12-18

© Andrey E. Bokov*, Anatoliy A. Bulkin, Svetlana Y. Kalinina, Andrei V. Leontev, Sergey G. Mlyavykh

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE RESULTS USING DIRECT LATERAL INTERBODY SPONDILODESIS AND TRANSFORAMINAL LUMBAR INTERBODY SPONDILODESIS IN PATIENTS WITH DEGENERATIVE DISEASES OF THE LUMBAR SPINE

Privolzhsky Research Medical University, Nizhny Novgorod, Russian Federation

✉ *Andrey E. Bokov, Privolzhsky Research Medical University, Minin and Pozharskiy Square, 10/1, Nizhny Novgorod, 603005, Andrei_Bokov@mail.ru

Received: May 14, 2020. Accepted: August 19, 2021.

Introduction	Various spondylodesis techniques are used in patients with degenerative diseases of the lumbar spine, but the benefits of these techniques have not been proven.
Objective	of the study was to assess the effect of the type of fusion on the incidence of implant instability and related revision surgeries.
Material and Methods	This monocentric prospective study included 133 patients with degenerative stenosis of the lumbar spine and confirmed instability of spinal motion segments. Patients underwent transforaminal lumbar interbody



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.

Results

fusion (TLIF) with a single cage or direct lateral interbody fusion (DLIF) using standard-sized cages. The conventional open technique was used to supplement TLIF with pedicle screws while percutaneous screw placement was applied in patients treated with DLIF. The duration of follow-up was 18 months. Fisher's exact test was used to assess differences in the incidence of fixator instability based on MSCT and revision interventions. Logistic regression was used to assess the association between potential risk factors and complication rates.

Conclusion

The use of DLIF detected by MSCT (32.9 vs 3.6%, $p < 0.0001$) resulted in a significant reduction in the incidence of screw instability and associated revision interventions (11.8 vs 0%, $p = 0.0122$). The results of logistic regression, taking into account factors such as bone density and the number of levels at which spondylodesis was performed, confirm the relationship between the reduced incidence of complications and the use of DLIF technology.

Keywords:

Using DLIF instead of TLIF in patients with degenerative stenosis at the lumbar spine level can lead to a significant reduction in the frequency of screw instability and associated revision surgeries.

Cite this article as:

direct lateral interbody fusion, transforaminal lumbar interbody fusion, degenerative diseases
Bokov A.E., Bulkin A.A., Kalinina S.Y., Leontev A.V., Mlyavykh S.G. Comparative analysis of the results using direct lateral interbody spondilodesis and transforaminal lumbar interbody spondilodesis in patients with degenerative diseases of the lumbar spine. *Innovative Medicine of Kuban*. 2021;(3):12–18. <https://doi.org/10.35401/2500-0268-2021-23-3-12-18>

ВВЕДЕНИЕ

Дегенеративный стеноз позвоночного канала в поясничном отделе позвоночника является распространенным заболеванием среди стареющего населения. Пациентам со стенозом и подтвержденной сегментарной нестабильностью требуется проведение декомпрессии нервных корешков и выполнение спондилодеза с транспедикулярной фиксацией, что является наиболее эффективным решением в данном случае [1, 2].

На сегодняшний день разработаны различные методы, позволяющие обеспечить спондилодез измененных сегментов: PLIF (задний поясничный межтеловой спондилодез), TLIF (трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез), DLIF (прямой латеральный межтеловой спондилодез), ALIF (передний поясничный межтеловой спондилодез), однако в литературе до сих пор не было представлено доказательств преимущества одной методики, по сравнению с другой. Все более популярным становится использование технологии DLIF из латерального малоинвазивного доступа в качестве эффективного варианта достижения не прямой декомпрессии невралических структур и восстановления сагиттального баланса [3]. С другой стороны, доказательств того, что применение DLIF обеспечивает лучшие результаты, чем прямая декомпрессия с помощью TLIF, недостаточно, особенно, если требуется короткая фиксация. Таким образом, четких рекомендаций по рациональному применению данных методов не существует [4–7]. Источником дополнительной путаницы в результатах многих исследований является то, что подавляющее большинство работ основано на динамике оценки числовых значений субъективных шкал – ВАШ, ODI и других опросников, которые еще не стандартизированы.

Среди взрослого населения пожилого возраста высокую распространенность имеет измененное

качество костной ткани. Это патологическое состояние ассоциировано с наиболее часто регистрируемым осложнением – развитием нестабильности имплантатов [11, 12]. Принимая во внимание значительную тенденцию к увеличению числа ежегодно выполняемых стабилизирующих оперативных вмешательств, необходимо разработать оптимальную хирургическую стратегию для снижения частоты возникающих осложнений. Согласно результатам указанных исследований, ожидается, что у пациентов, подверженных риску развития нестабильности транспедикулярных винтов, наилучшие результаты могут быть достигнуты при использовании широких кейджей, однако данный факт требует дальнейшего изучения [13, 14].

ЦЕЛЮ

исследования явилась оценка влияния типа спондилодеза на частоту развития нестабильности имплантата и проведения ревизионных операций, связанных с ней.

МАТЕРИАЛ И МЕТОДЫ

Данное моноцентровое проспективное исследование включает 133 пациента (32 мужчины и 101 женщину) с дегенеративным стенозом на уровне поясничного отдела позвоночника и подтвержденной нестабильностью позвоночно-двигательных сегментов. Средний возраст участников на момент операции составлял 56 лет, SD (стандартное отклонение) = 8,7763; диапазон 29–79 лет. В период с 2012 по 2018 г. больным было проведено оперативное лечение с выполнением трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза (TLIF) или прямого латерального межтелового спондилодеза (DLIF) в сочетании с транспедикулярной фиксацией сегмента. Продолжительность наблюдения составила 18 месяцев. Для оценки результатов использовались

рентгенографические критерии нестабильности транспедикулярных винтов. Данное исследование было рассмотрено и одобрено локальным этическим комитетом ФГБОУ ВО «ПИМУ» Минздрава России. Все пациенты подписывали письменное информированное согласие.

Критерии включения: наличие дегенеративного стеноза позвоночного канала на поясничном уровне с признаками нестабильности сегмента, подтвержденными на функциональных рентгенограммах, или существование симптоматического нестабильного спондилолистеза низкой степени.

Показания к оперативному вмешательству:

- неврологический дефицит, связанный со стенозом позвоночника;
- нейрогенная перемежающаяся хромота;
- признаки нестабильности сегмента позвоночника;
- наличие аксиального и корешкового болевого синдрома с результатом ВАШ более 4 баллов (0–10 баллов) и индексом ODI более 40%, устойчивых к повторному консервативному лечению в течение 3 мес.

Критерии исключения:

- спондилолистез высокой степени (3 степень и выше);
- сагиттальный и фронтальный дисбаланс, дегенеративные деформации, требующие фиксации более 5 сегментов, или выполнения позвоночно-тазовой фиксации;
- опухолевые поражения поясничного отдела позвоночника;
- ревизионные операции;

- мальпозиции и повторные перепроведения винтов, выявленные по данным КТ;
- различные типы спондилодеза, выполненные на разных уровнях;
- хирургические вмешательства более чем на двух уровнях;
- оперативные вмешательства с вовлечением пояснично-крестцового сегмента;
- двустороннее удаление фасеточных суставов и ламинэктомия.

Перед хирургическим лечением все пациенты прошли функциональную рентгенографию и компьютерную томографию (КТ). Критерием нестабильности позвоночника была передняя трансляция более чем на 3 мм [15]. КТ проводилась с уровнями T12–L5 с использованием одного и того же компьютерного томографа (Aquilion 32, Toshiba Corporation). Для расчетов плотности костной ткани использовали интегрированное программное обеспечение (версия Vitrea 5.2.497.5523), включающее соотношение ширины и уровня окна 2000/500. Во время КТ-исследования проводилась оценка радиоденсивности губчатого слоя тела позвонка в единицах Хаунсфилда (HU) на стандартном уровне L3 в сагиттальной, аксиальной и фронтальной плоскостях. КТ-исследование выполнялось двумя независимыми сертифицированными врачами-рентгенологами. Измерения в аксиальной плоскости осуществлялись на уровне середины ножек позвонков, а в сагиттальной и фронтальной – вдоль геометрического центра тела позвонка при выборе образца губчатой кости с использованием максимальной площади без перехода в кортикальную область.

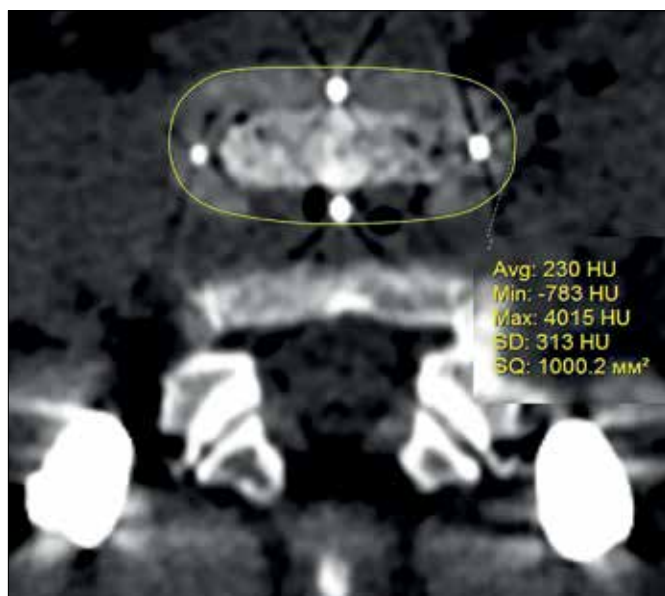


Рисунок 1. Кейдж, используемый при DLIF. Послеоперационное КТ-изображение в аксиальной плоскости
Figure 1. Cage used for DLIF, postoperative CT image in axial plane

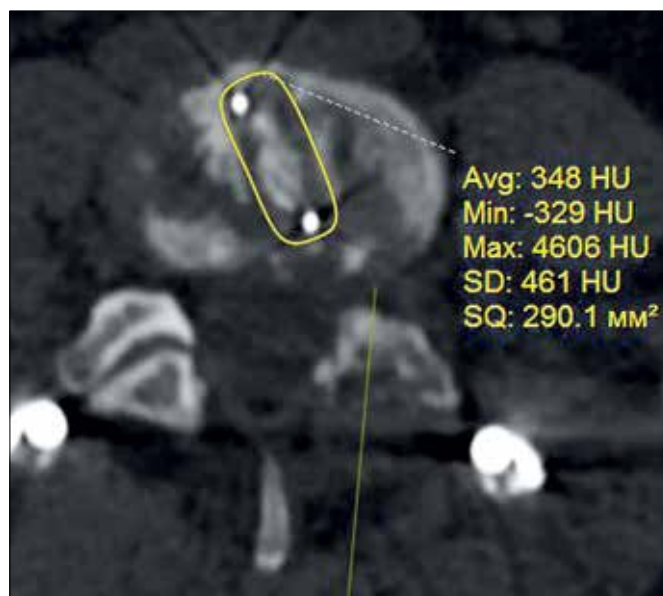


Рис. 2. Кейдж, используемый при TLIF. Послеоперационное КТ-изображение в аксиальной плоскости
Figure 2. Cage used for TLIF, postoperative CT image in axial plane

На основании полученных результатов для каждого случая была рассчитана средняя плотность костной ткани.

Пациентам выполнялось хирургическое вмешательство по технологии TLIF с использованием одного кейджа либо по технологии DLIF. Методика TLIF была стандартной, открытой с односторонним удалением дугоотростчатых суставов. DLIF проводилась по стандартной методике с использованием бокового доступа через поясничную мышцу [16]. При выполнении DLIF и TLIF использовались кейджи стандартных размеров, площадь которых составляла 1 тыс. мм² в первом случае (рис. 1) и 290 мм² – во втором (рис. 2).

Для выполнения TLIF применялся аутотрансплантат из локально собранной кости, в то время как при DLIF – аллотрансплантат. При выполнении DLIF передняя продольная связка не рассекалась. Во всех случаях применялась двусторонняя транспедикулярная фиксация позвоночно-двигательного сегмента полиаксиальными винтами. Алгоритм был стандартный, использовалась прямая траектория для установки винта. При TLIF выполнялась обычная открытая методика транспедикулярной фиксации, в то время как при DLIF – перкутанная фиксация. Транспедикулярные винты вводились, по крайней мере, в переднюю треть тела позвонка. Бикортикальная установка винтов не использовалась.

Продолжительность послеоперационного наблюдения составила 18 мес. Все пациенты прошли клиническое обследование в сроки 3, 6, 12, 18 мес. КТ проводилась через 6 и 12 мес. после операции, а также независимо от сроков наблюдения в случае, если выявлялись клинические признаки нестабильности имплантата. Регистрировались случаи нестабильности транспедикулярных винтов, выявленные по данным КТ. Критериями нестабильности винта была радиопрозрачная зона вокруг него размером 1 мм или более и/или наличие двойного контура (double halo) [17]. Случаи нестабильности транспедикулярных винтов были разделены на клинически значимые и бессимптомные.

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ

Для оценки статистической значимости наблюдаемых различий по частоте возникновения нестабильности транспедикулярных винтов и выполняемых ревизионных операций использовался точный двусторонний критерий Фишера. Статистически значимыми считались значения $p < 0,05$. Связь между частотой возникновения нестабильности винта и потенциальными факторами риска оценивалась с помощью логистического регрессионного анализа (использовалась общая многомерная модель логистической регрессии). Для выполнения расчетов применялась программа Statistica 12 (StatSoft).

Таблица 1
Общая характеристика пациентов,
включенных в исследование

Table 1
General characteristics of the patients included in the study

Параметр	Значение
Возраст, лет	56.7395±0.7913SD = 8.7763 Диапазон 29–79
Соотношение мужчин/женщин	32/101
Плотность костной ткани в HU	121.1275±3.3913, SD = 38.8152 Диапазон 43.2–244.0
Число выполненных DLIF	57 (42,9%)
Число фиксаций на 2-х уровнях	50 (38,2%)
Количество пациентов с плотностью костной ткани ниже 110 HU	55 (41,4%)

РЕЗУЛЬТАТЫ

Всего в исследование включено 133 пациента, общая характеристика группы приведена в таблице 1.

К концу периода наблюдения КТ-признаки нестабильности транспедикулярных винтов были выявлены у 27 пациентов (20,6%), из них у 9 (6,9%) отмечалось ухудшение состояния с нарастанием болевого синдрома более 4 баллов по ВАШ и увеличением ODI более чем на 40%; последним 9-и больным выполнено ревизионное вмешательство. Относительно высокая распространенность КТ-признаков нестабильности может быть объяснена значительной долей больных с плотностью костной ткани ниже 110 HU, что является специфичным (90%) признаком остеопороза, диагностированным у 55 (41,4%) пациентов. Частота возникновения нестабильности транспедикулярных винтов в подгруппах больных, которым был выполнен TLIF и DLIF, составила 25 (32,9%) и 2 (3,5%) случаев соответственно, а частота выполнения ассоциированных с ней ревизионных операций – 9 (11,8%) и 0 (0%) случаев соответственно. Различия в частоте возникновения нестабильности транспедикулярных винтов, обнаруженные на КТ, и ревизионных операций были статистически значимыми, $p < 0,0001$ для частоты возникновения нестабильности и $p = 0,0102$ для частоты клинически значимой нестабильности, требующей ревизионного вмешательства (использовался точный двусторонний критерий Фишера).

Для оценки влияния метода хирургического лечения на частоту возникновения нестабильности транспедикулярных винтов была использована общая модель логистической регрессии. В анализ включались следующие факторы: методы межтелового спондило-

Таблица 2
Параметры оцениваемой общей многомерной модели логистической регрессии
Table 2
Parameters of the estimated general multivariate logistic regression model

Компоненты регрессионной модели	Коэффициенты регрессии и их статистическая значимость	OR на единицу изменения с 95% CI
Пересечение	–0.2577 p = 0.8060	
Плотность костной ткани в HU	0,01862982 p = 0.0138	1.0188 [1.00188; 1.0340]
Количество уровней фиксации	–0,8784294 p = 0.1002	0.4154 [0.1454; 1.1867]
Применение DLIF или TLIF	2,551193 p = 0.0012	12.8224 [2.7785; 59.1729]

деза (DLIF или TLIF), а также учтены радиоденсивность в HU и количество уровней, на которых выполнен спондилодез, поскольку эти факторы могли повлиять на результаты. Параметры оцениваемой общей многомерной модели логистической регрессии представлены в таблице 2.

Общая пригодность оцениваемой общей многомерной логистической регрессионной модели составила $\chi^2 = 30,3270$, $p < 0,0001$. Снижение значений радиоденсивности костной ткани в HU было ассоциировано со статистически значимым увеличением частоты возникновения нестабильности транспедикулярного фиксатора в то время, как применение DLIF привело к значительному снижению частоты возникновения нестабильности металлоконструкции. Влияние протяженности фиксации (спондилодез и фиксация на 1 или 2 уровнях) оказалось незначимым статистически. Результаты сравнительного анализа показывают, что применение DLIF может привести к снижению частоты развития расшатывания транспедикулярного фиксатора и ревизионных хирургических вмешательств из-за нестабильности имплантата.

ОБСУЖДЕНИЕ

В настоящее время доказано, что транспедикулярная фиксация с межтеловым спондилодезом является наиболее эффективным методом лечения пациентов со стенозом позвоночного канала и нестабильностью его сегментов, однако остается значимо высоким количество случаев нестабильности металлоконструкции, связанное с ухудшением плотности кости среди пациентов пожилого возраста [17–19]. Для выявления больных, подверженных риску развития нестабильности имплантата, все большую популярность обретает оценка радиоденсивности в HU, которая коррелирует с содержанием кальция и механическими

свойствами кости [20, 21]. Также было установлено, что пороговые значения в 110 HU и 130 HU имеют максимальную специфичность для выявления остеопороза и остеопении соответственно [22]. Анализ предоперационных КТ демонстрирует высокую распространенность случаев с нарушением качества костной ткани, соответствующим остеопорозу, – 54 (41,2%). Эти цифры объясняют относительно высокую частоту возникновения нестабильности винтов в исследуемой группе.

Для достижения стабильности измененного сегмента в литературе предлагаются различные типы межтелового спондилодеза, среди которых наиболее часто используются PLIF, TLIF, DLIF, OLIF и ALIF [4]. Несмотря на значительное количество опубликованных работ, четких рекомендаций по рациональному применению различных видов спондилодеза на данный момент не разработано. Источником дополнительных противоречий в результатах многих анализов является то, что подавляющее большинство работ основано на динамике субъективных шкал оценки интенсивности боли, индекса ограничения жизнедеятельности и качества жизни, которые не всегда стандартизированы [8]. Слабыми сторонами таких исследований является то, что оценка результатов оперативного лечения может зависеть от многих факторов, включающих точность постановки диагноза, социально-экономические, поведенческие и психологические аспекты [9, 10]. Болевой синдром может не иметь отношения к выполненному оперативному лечению и быть причиной дисфункции крестцово-подвздошных сочленений, дегенерации диска или фасеточных суставов на соседнем уровне [23, 24]. Работы, основанные на оценке результатов с использованием КТ-скрининга для выявления нестабильности винтов, также имеют недостаток, поскольку не все случаи нестабильности были клинически значимыми [17]. Поэтому в качестве критерия оценки исходов была взята частота возникновения нестабильности транспедикулярных винтов и количество ассоциированных с ней ревизионных вмешательств.

По результатам биомеханических исследований наиболее частыми механизмами возникновения нестабильности транспедикулярного винта являются микродвижения, вызванные качательными и вращательными движениями в кранио-каудальном направлении, увеличивающими нагрузку на зону контакта кости и винта [25]. Для их минимизации необходим выбор наиболее стабильного типа спондилодеза, особенно у пациентов с нарушенным качеством костной ткани. С помощью биомеханических тестов были получены некоторые доказательства того, что применение широких кейджей может привести к уменьшению нагрузки на винты, стержни и замыкательные пластины [13, 26]. С другой стороны, различные типы спондилодеза, использующие двустороннюю постановку винтов,

приводят примерно к одинаковому уменьшению диапазона движений. Кроме того, разница в результатах с использованием шкал интенсивности боли и индекса ограничения жизнедеятельности оказалась незначительной [27–29]. Таким образом, на данный момент нет четких доказательств того, что DLIF имеет преимущества перед TLIF, особенно если предположить, что оба метода выполнены без технических нарушений и при правильном отборе пациентов.

Чтобы избежать ошибки, связанной с применением субъективных шкал оценки интенсивности боли и индекса ограничения жизнедеятельности, были использованы рентгенографические признаки нестабильности транспедикулярного фиксатора. Учитывая, что КТ-признаки нестабильности могут быть бессимптомными, в качестве дополнительного критерия была взята частота клинически значимой нестабильности, требующей ревизионного вмешательства.

Таким образом, основные результаты анализа показывают, что применение DLIF может обеспечить значительное снижение частоты возникновения нестабильности транспедикулярного винта по данным КТ и количества ревизионных вмешательств по причине расшатывания винтов, что может быть объяснено выгодным распределением сил и уменьшением нагрузки на область контакта винт-кость. Результаты применения логистической регрессии с учетом наиболее значимых факторов, влияющих на результат, подтверждают вывод о том, что наблюдаемый эффект применения DLIF является клинически значимым и имеет потенциал у пациентов, подверженных риску развития нестабильности имплантата.

ОГРАНИЧЕНИЯ

Данное исследование имеет ограничения, которые следует указать. Во-первых, оно не является рандомизированным; во-вторых, число участников относительно невелико, чтобы обеспечить регрессионную модель, подходящую для прогнозирования развития нестабильности металлоконструкции. С другой стороны, результаты исследования свидетельствуют о том, что применение DLIF с широким кейджем приводит к уменьшению частоты возникновения нестабильности транспедикулярного винта и связанных с этим количеством ревизионных вмешательств.

ВЫВОДЫ

Тип применяемого межтелового спондилодеза может влиять на частоту возникновения нестабильности транспедикулярных винтов у пациентов с дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника. Использование технологии DLIF вместо TLIF обеспечивает значительное снижение случаев возникновения нестабильности винтов и ревизионных операций, связанных с ней.

ЛИТЕРАТУРА/REFERENCES

1. Resnick DK, Watters WC, Sharan A, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 9: lumbar fusion for stenosis with spondylolisthesis. *J Neurosurg Spine*. 2014;21:54–61. PMID: 24980586. <https://doi.org/10.3171/2014.4.SPINE14274>
2. Wang JC, Dailey AT, Mummaneni PV, et al. Guideline update for the performance of fusion procedures for degenerative disease of the lumbar spine. Part 8: lumbar fusion for disc herniation and radiculopathy. *J Neurosurg Spine*. 2014;21:48–53. PMID: 24980585. <https://doi.org/10.3171/2014.4.SPINE14271>
3. Formica M, Quarto E, Zanirato A, et al. Lateral lumbar interbody fusion: what is the evidence of indirect neural decompression? A systematic review of the literature. *HSS J*. 2020;16(2):143–154. PMID: 32523482. PMCID: PMC7253558. <https://doi.org/10.1007/s11420-019-09734-7>
4. Mobbs RJ, Phan K, Malham G, Seex K, Rao PJ. Lumbar interbody fusion: techniques, indications and comparison of interbody fusion options including PLIF, TLIF, MI-TLIF, OLIF/ATP, LLIF and ALIF. *J Spine Surg*. 2015;1(1):2–18. PMID: 27683674. PMCID: PMC5039869. <https://doi.org/10.3978/j.issn.2414-469X.2015.10.05>
5. Joseph JR, Smith BW, La Marca F, Park P. Comparison of complication rates of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion: a systematic review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2015;39(4):E4. PMID: 26424344. <https://doi.org/10.3171/2015.7.FOCUS15278>
6. Cho JY, Goh TS, Son SM, Kim DS, Lee JS. Comparison of anterior approach and posterior approach to instrumented interbody fusion for spondylolisthesis: a meta-analysis. *World Neurosurg*. 2019;129:e286–e293. PMID: 31129223. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.05.130>
7. Keorochana G, Setrkraising K, Woratanarat P, Arirachakaran A, Kongtharvonskul J. Clinical outcomes after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion and lateral lumbar interbody fusion for treatment of degenerative lumbar disease: a systematic review and meta-analysis. *Neurosurg Rev*. 2018;41(3):755–770. PMID: 28013419. <https://doi.org/10.1007/s10143-016-0806-8>
8. Winebrake JP, Lovecchio F, Steinhaus M, Farmer J, Sama A. Wide variability in patient-reported outcomes measures after fusion for lumbar spinal stenosis: a systematic review. *Global Spine J*. 2020;10(2):209–215. PMID: 32206520. PMCID: PMC7076598. <https://doi.org/10.1177/2192568219832853>
9. Baber Z, Erdek MA. Failed back surgery syndrome: current perspectives. *J Pain Res*. 2016;9:979–987. PMID: 27853391. PMCID: PMC5106227. <https://doi.org/10.2147/JPR.S92776>
10. Clancy C, Quinn A, Wilson F. The aetiologies of failed back surgery syndrome: a systematic review. *J Back Musculoskelet Rehabil*. 2017;30(3):395–402. PMID: 27689601. <https://doi.org/10.3233/BMR-150318>
11. Zou D, Sun Z, Zhou S, Zhong W, Li W. Hounsfield units value is a better predictor of pedicle screw loosening than the T-score of DXA in patients with lumbar degenerative diseases. *Eur Spine J*. 2020;29(5):1105–1111. PMID: 32211997. <https://doi.org/10.1007/s00586-020-06386-8>
12. St Jeor JD, Jackson TJ, Xiong AE, et al. Average lumbar hounsfield units predicts osteoporosis-related complications following lumbar spine fusion. *Global Spine J*. 2020; 2192568220975365. PMID: 33222537. <https://doi.org/10.1177/2192568220975365>
13. Zhang T, Bai S, Dokos S, Cheung JP, Diwan AD. XLIF interbody cage reduces stress and strain of fixation in spinal reconstructive surgery in comparison with TLIF cage with bilateral or unilateral fixation: a computational analysis. *Annu Int*

Conf IEEE Eng Med Biol Soc. 2019;2019:1887–1890. PMID: 31946266. <https://doi.org/10.1109/EMBC.2019.8856592>

14. Lu T, Lu Y. Comparison of biomechanical performance among posterolateral fusion and transforaminal, extreme, and oblique lumbar interbody fusion: a finite element analysis. *World Neurosurg.* 2019;129:e890–e899. PMID: 31226452. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2019.06.074>

15. Leone A, Guglielmi G, Cassar-Pullicino VN, Bonomo L. Lumbar intervertebral instability: a review. *Radiology.* 2007;245(1):62–77. PMID: 17885181. <https://doi.org/10.1148/radiol.2451051359>

16. Spiker WR, Goz V, Brodke DS. Lumbar interbody fusions for degenerative spondylolisthesis: review of techniques, indications, and outcomes. *Global Spine J.* 2019;9(1):77–84. PMID: 30775212. PMCID: PMC6362558. <https://doi.org/10.1177/2192568217712494>

17. Galbusera F, Volkheimer D, Reitmaier S, Berger-Roscher N, Kienle A, Wilke HJ. Pedicle screw loosening: a clinically relevant complication? *Eur Spine J.* 2015;24(5):1005–1016. PMID: 25616349. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-3768-6>

18. Wu ZX, Gong FT, Liu L, et al. A comparative study on screw loosening in osteoporotic lumbar spine fusion between expandable and conventional pedicle screws. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(4):471–476. PMID: 22146812. <https://doi.org/10.1007/s00402-011-1439-6>

19. 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(8):1063–1067. PMID: 27312862. <https://doi.org/10.1007/s00402-016-2487-8>

20. Khan SN, Warkhedkar RM, Shyam AK. Analysis of hounsfield unit of human bones for strength evaluation. *Procedia Materials Science.* 2014;6:512–519. <https://doi.org/10.1016/j.mspro.2014.07.065>

21. Schwaiger BJ, Gersing AS, Baum T, Noël PB, Zimmer C, Bauer JS. Bone mineral density values derived from routine lumbar spine multidetector row CT predict osteoporotic vertebral fractures and screw loosening. *AJNR Am J Neuroradiol.* 2014;35(8):1628–1633. PMID: 24627455. PMCID: PMC7964446. <https://doi.org/10.3174/ajnr.A3893>

22. 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.* 2019;44(4):E239–E244. PMID: 30063528. <https://doi.org/10.1097/BRS.00000000000002813>

23. Peh W. Image-guided facet joint injection. *Biomed Imaging Interv J.* 2011;7(1):e4. PMID: 21655113. PMCID: PMC3107686.

24. Bokov A, Isrelov A, Skorodumov A, Aleynik A, Simonov A, Mlyavykh S. An analysis of reasons for failed back surgery syndrome and partial results after different types of surgical lumbar nerve root decompression. *Pain Physician.* 2011;14(6):545–557. PMID: 22086096.

25. Mizuno T, Kasai Y, Sakakibara T, Yoshikawa T, Inaba T. Biomechanical study of rotational micromovement of the pedicle screw. *Springerplus.* 2016;5(1):1016. PMID: 27441135. PMCID: PMC4938808. <https://doi.org/10.1186/s40064-016-2694-3>

26. Cadman J, Sutterlin C. 3rd, Dabirrahmani D, Appleyard R. The importance of loading the periphery of the vertebral endplate. *J Spine Surg.* 2016;2(3):178–184. PMID: 27757430. PMCID: PMC5067271. <https://doi.org/10.21037/jss.2016.09.08>

27. Hiyama A, Katoh H, Sakai D, Tanaka M, Sato M, Watanabe M. Short-term comparison of preoperative and postoperative pain after indirect decompression surgery and direct decompression surgery in patients with degenerative

spondylolisthesis. *Sci Rep.* 2020;10(1):18887. PMID: 33144633. PMCID: PMC7642323. <https://doi.org/10.1038/s41598-020-76028-y>

28. Verla T, Winnegan L, Mayer R, et al. Minimally invasive transforaminal versus direct lateral lumbar interbody fusion: effect on return to work, narcotic use, and quality of life. *World Neurosurg.* 2018;116:e321–e328. PMID: 29738856. <https://doi.org/10.1016/j.wneu.2018.04.201>

29. Lee YS, Kim YB, Park SW, Chung C. Comparison of transforaminal lumbar interbody fusion with direct lumbar interbody fusion: clinical and radiological results. *J Korean Neurosurg Soc.* 2014;56(6):469–474. PMID: 25628805. PMCID: PMC4303721. <https://doi.org/10.3340/jkns.2014.56.6.469>

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

Боков Андрей Евгеньевич, к. м. н., заведующий отделением онкологии и нейрохирургии Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-5203-0717>

Булкин Анатолий Алексеевич, к. м. н., врач-нейрохирург отделения онкологии и нейрохирургии Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-4391-7698>

Калинина Светлана Яновна, к. м. н., врач-нейрохирург отделения онкологии и нейрохирургии Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-1368-0888>

Леонтьев Андрей Владимирович, врач-нейрохирург отделения онкологии и нейрохирургии Университетской клиники, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). <https://orcid.org/0000-0003-2728-1618>

Млявых Сергей Геннадьевич, к. м. н., руководитель НИИ травматологии и ортопедии, и.о. зав. кафедрой травматологии, ортопедии и нейрохирургии им. М.В. Колокольцева, Приволжский исследовательский медицинский университет (Нижний Новгород, Россия). <https://orcid.org/0000-0002-6310-4961>

Финансирование

Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

AUTHOR CREDENTIALS

Andrey E. Bokov, Cand. of Sci. (Med.), Chief of Department of Oncology and Neurosurgery, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-5203-0717>

Anatoliy A. Bulkin, Cand. of Sci. (Med.), Neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-4391-7698>

Svetlana Y. Kalinina, Cand. of Sci. (Med.), Neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-1368-0888>

Andrei V. Leontev, Neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0003-2728-1618>

Sergey G. Mlyavykh, Cand. of Sci. (Med.), Head of Institute of Traumatology and Orthopedics Neurosurgeon, Privolzhsky Research Medical University (Nizhny Novgorod, Russian Federation). <https://orcid.org/0000-0002-6310-4961>

Funding: the study was not sponsored.

Conflict of interest: none declared.