

Рентгенологическая оценка коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза при применении индивидуальных лордозизирующих межтеловых имплантатов у пациентов с дегенеративным сколиозом

А.А. Денисов¹, Д.А. Пташников^{1,2}, Д.А. Михайлов¹, С.В. Масевнин¹, О.А. Смекаленков¹, Н.С. Заборовский¹

¹ ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

² ГБОУ ВПО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Актуальность. Развитие минимально инвазивной хирургии привело к разработке новых методов оперативного лечения позвоночника. Традиционные методики чаще всего сопряжены с рядом осложнений. Альтернативой является использование индивидуальных лордозизирующих кейджей, которые также способствуют непрямой декомпрессии невралных структур. **Цель исследования** — сравнить степень коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза, полученной при помощи индивидуальных лордозизирующих кейджей для переднего поясничного спондилодеза (anterior lumbar interbody fusion — ALIF) и при использовании традиционной техники из заднего доступа, трансфораминального спондилодеза (transforaminal lumbar interbody fusion — TLIF), остеотомии по Смит-Петерсону (Smith-Peterson osteotomy — SPO) и транспедикулярной фиксации. **Материал и методы.** Проведено одноцентровое ретроспективное когортное исследование, в котором приняли участие 63 пациента (средний возраст 53 года), проходивших лечение с 2018 по 2019 г. по поводу дегенеративных деформаций позвоночника. Пациенты были разделены на две группы: группа А состояла из 30 больных, которым был выполнен передний спондилодез индивидуальными лордозизирующими кейджами из минимально инвазивного переднего доступа (minimal invasive spinal surgery — MISS) без задней фиксации; группа В — из 33 больных, которым выполнен передний спондилодез стандартным кейджем из заднего доступа (TLIF) с проведением SPO и транспедикулярной фиксации. При измерении сегментарного и поясничного лордоза использовались телерентгенограммы в положении пациента стоя. Для точной оценки применяли ПО Surgimap (Nemaris, США). **Результаты.** При внутригрупповом сравнении в обеих группах послеоперационные значения сегментарного лордоза превосходили предоперационные. В межгрупповом сравнении в группе А наблюдалось значительное превосходство в увеличении сегментарного лордоза: L3-L4 на 8° ($p = 0,0005$); L4-L5 на 7° ($p = 0,0002$); L5-S1 на 7° ($p = 0,0001$). При сравнении общего поясничного лордоза в дооперационном периоде не было выявлено статистически значимой разницы между двумя группами ($p = 0,0043$). При этом в послеоперационных значениях группа А показала большую степень коррекции лордоза: 29,1° в сравнении с 22,5° соответственно ($p = 0,00005$). **Заключение.** Результаты исследования показывают, что применение индивидуальных лордозизирующих кейджей позволяет значительно увеличить сегментарный и общий поясничный лордоз у пациентов с дегенеративным сколиозом взрослых.

Ключевые слова: дегенеративный сколиоз, индивидуальный имплантат, поясничный лордоз, ALIF, TLIF.

Денисов А.А., Пташников Д.А., Михайлов Д.А., Масевнин С.В., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С. Рентгенологическая оценка коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза при применении индивидуальных лордозизирующих межтеловых имплантатов у пациентов с дегенеративным сколиозом. *Травматология и ортопедия России*. 2020;26(2):71-78. doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-71-78.

Cite as: Denisov A.A., Ptashnikov D.A., Mikhaylov D.A., Masevnin S.V., Smekalenkov O.A., Zaborovskii N.S. [Individual Lordotic Cages Implantation and Radiographic Evaluation of Segmental and Lumbar Lordosis Correction for Patients with Adult Degenerative Scoliosis]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2020;26(2):71-78. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2020-26-2-71-78.

✉ Денисов Антон Андреевич / Anton A. Denisov; e-mail: denisov1993@gmail.com

Рукопись поступила/Received: 20.02.2020. Принята в печать/Accepted for publication: 11.05.2020.

Individual Lordotic Cages Implantation and Radiographic Evaluation of Segmental and Lumbar Lordosis Correction for Patients with Adult Degenerative Scoliosis

A.A. Denisov¹, D.A. Ptashnikov^{1,2}, D.A. Mikhaylov¹, S.V. Masevnin¹, O.A. Smekalenkov¹, N.S. Zaborovskii¹

¹ Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

² Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

Abstract

Relevance. The development of minimally invasive surgery has led to the development of new methods for surgical treatment of the spine. Conventional surgical technique, such as vertebrotoomy is accompanied by a several number of disadvantages (high blood loss, prolonged hospital stay, long intraoperative time, postoperative neurological deficit). An alternative to improve sagittal balance in the spine is to use custom-made hyperlordotic cages, which can also be used for indirect decompression of neural structures. **The objective** is to compare the degree of segmental and total lumbar lordosis using hyperlordotic cages through ALIF and TLIF with posterior instrumentation. **Materials and Methods.** A single-center retrospective cohort study using 96 patients treated from 2018 to 2019 about degenerative spinal deformities. Comparison of two groups: group 1 (A) consisted of 30 patients who were held anterior spinal fusion with individual lordotic cages from minimally invasive anterior approach (MISS ALIF) without posterior fixation. Group 2 (B) consisted of 33 patients whom were performed spinal fusion from the posterior approach (TLIF) with Smith-Peterson Osteotomy (SPO) and transpedicular fixation. Measuring segmental and lumbar lordosis, teleradiographs were used in a standing position. For an accurate assessment, the non-commercial available Surgimap software, © Nemaris, was used. **Results.** Segmental lordosis were superior to preoperative ones. In the intergroup comparison, the ALIF group showed an excellent increase in the enlarged lordosis segment (L3-L4 in 8 degrees; $p = 0.0005$, L4-L5 in 7 degrees; $p = 0.0002$, L5-S1 in 7 degrees; $p = 0.0001$). When conducting an intergroup comparison of total lumbar lordosis in the preoperative period, there was a statistically significant difference between them ($p = 0.0043$). At the same time, a greater degree of correction of lordosis is shown in ALIF compared to TLIF group (29,1 in comparison with 22,5; $p = 0.00005$). **Conclusion.** The results of this study confirm that the using of custom-made lordotic cages can significantly increase segmental and total lumbar lordosis for patients with degenerative scoliosis in adults.

Keywords: degenerative scoliosis, individual implant, lumbar lordosis, ALIF, TLIF.

Введение

Развитие минимально инвазивной хирургии привело к разработке новых методов оперативного лечения заболеваний позвоночника, особенно это касается спондилодеза, который считается менее травматичным [1, 2]. Например, применение вертебротомии при дегенеративном сколиозе у взрослых сопровождается рядом недостатков: высокой кровопотерей, длительным пребыванием в стационаре и большой продолжительностью операции, послеоперационным неврологическим дефицитом [3, 4, 5, 6]. Альтернативой вертебротомии для коррекции сагиттального и фронтального баланса позвоночника является использование индивидуальных лордозизирующих кейджей, изготавливаемых при помощи 3D-печати [7]. Их преимуществом является способность проводить непрямую декомпрессию невралгических структур [2, 8, 9]. При этом возможность увеличивать сегментарный и общий поясничный лордоз путем установки через минимально инвазивный доступ дает возможность осуществлять такой же объем оператив-

ного вмешательства, как и при задних открытых методиках с применением вертебротомий и инструментальной фиксации позвоночника [10].

Цель исследования — сравнить степень коррекции сегментарного и общего поясничного лордоза, полученной при помощи индивидуальных лордозизирующих кейджей для переднего поясничного спондилодеза (anterior lumbar interbody fusion — ALIF) и при использовании традиционной техники из заднего доступа, трансфораминального спондилодеза (transforaminal lumbar interbody fusion — TLIF), остеотомии по Смит-Петерсону (Smith-Peterson osteotomy — SPO) и транспедикулярной фиксации.

Материал и методы

Дизайн исследования

Проведено одноцентровое ретроспективное когортное исследование, в котором приняли участие 63 пациента, проходивших лечение с 2018 по 2019 г. по поводу дегенеративных деформаций позвоночника.

Пациенты

Критерии включения:

- нарушение сагиттального баланса;
- L и N типы фронтальной дуги по классификации Schwab, не требующие коррекции фронтального профиля [11];
- ИМТ <35;
- возраст от 45 до 75 лет.

Критерии исключения:

- другие виды сколиотических деформаций;
- ригидность сколиотической дуги;
- высокая степень дегенерации и снижения высоты межпозвоночного диска [12];
- ИМТ >35;
- возраст >75 лет;
- метастатическая болезнь позвоночника.

Согласно принятым критериям, в исследование было включено 63 пациента: 35 (55%) женщин и 28 (45%) мужчин. Средний возраст больных составил 53 ± 5 года, среднее значение ИМТ — 32 ± 3 кг/м². У 53 пациентов преобладал N тип фронтальной деформации (менее 30°), у 10 пациентов — L тип (только поясничный отдел с углом Кобба от 31 до 38°).

Пациенты были разделены на две группы: в группу А вошли 30 пациентов, которым был выполнен передний спондилодез индивидуальными лордозизирующими кейджами из минимально инвазивного переднего доступа (MIS ALIF) без задней фиксации. В группу В вошли 33 пациента, которым был выполнен передний спондилодез стандартным кейджем из заднего доступа (TLIF) с проведением SPO и транспедикулярной фиксации.

Предоперационное планирование

Всем пациентам до операции выполнялись телерентгенограммы позвоночника в положении стоя. После этого при помощи некоммерческого программного обеспечения Surgimap (Nemaris, США) всем пациентам производилось измерение позвоночно-тазовых параметров (SVA, LL, PT и т.д.). Пациентам группы А выполнялось КТ-исследование с шагом 0,5 мм для построения трехмерной модели высокого разрешения оперируемого отдела позвоночника с контрастированием сосудов. При наличии противопоказаний (аллергическая реакция на контрастное вещество и т.п.) выполнялось МРТ. При помощи свободно распространяемого программного обеспечения 3DSlicer (Harvard, США) и Blender (Blender Foundation, Нидерланды) выполнялось сегментирование костей и прилежащих магистральных сосудов. На телерентгенограммах планировалось расположение кейджей и степень лордозизирующих углов, после чего производилась симуляция их установки при помощи Surgimap. После этого

в соответствии с полученными значениями проектировались соответствующие размеры кейджей (рис. 1).

С учетом представленных данных физические модели кейджей изготавливались из титанового порошка на промышленном 3D-принтере (рис. 2).

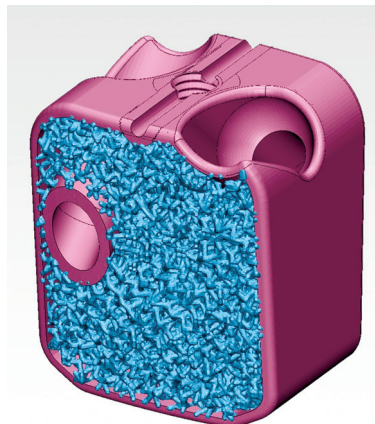


Рис. 1. Макет индивидуального кейджа

Fig. 1. Layout of an individual cage

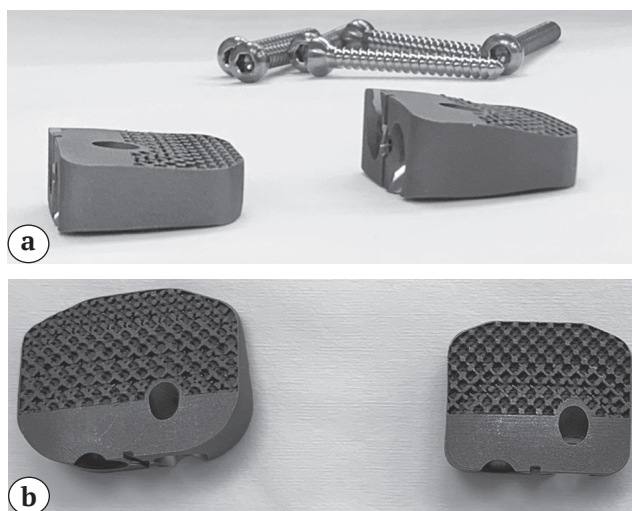


Рис. 2. Напечатанные титановые кейджи для ALIF: а — вид сбоку; б — вид сверху

Fig. 2. Printed titanium cages for ALIF: а — side view; б — top view

Хирургическая техника из переднего доступа

Выполнялся ретроперитонеальный доступ к поясничному отделу позвоночника. Нижние эпигастральные сосуды визуализировались, сохранялись и отводились кзади и латерально. Подвздошно-поясничная мышца и бедренно-половой нерв визуализировались. После идентификации сосудов (левая общая подвздошная артерия и вена) устанавливалась низкопрофильная узкая кольцевая система ретракторов. Затем подвздошные артерии и вены обнажались и отводились

в боковом направлении, чтобы визуализировать межпозвоночный диск. При этом срединные крестцовые сосуды дважды перевязывались и пережигались диатермокоагулятором. Диссекция тканей в области диска L5-S1 выполнялась тупферами, чтобы избежать повреждения диатермией симпатических нервов, пересекающих диск, для снижения риска ретроградной эякуляции у мужчин. При осуществлении доступа к L3-L5 сегментам восходящая подвздошно-поясничная вена должна быть перевязана. В противном случае в результате тракции может возникнуть значительное кровотечение. После выполнения Н-образной анулотомии при помощи дискотомы элеватором Кобба выполнялась тотальная дискэктомия. Далее производилось расширение межпозвоночного дискового пространства при помощи дистракторов, а затем имплантация межтелового имплантата (рис. 3). Устройство имплантата закреплялось с помощью винтов.

После гемостаза ретракторы удаляли. Устанавливали забрюшинный дренаж. Раны зашивали послойно по стандартной методике.

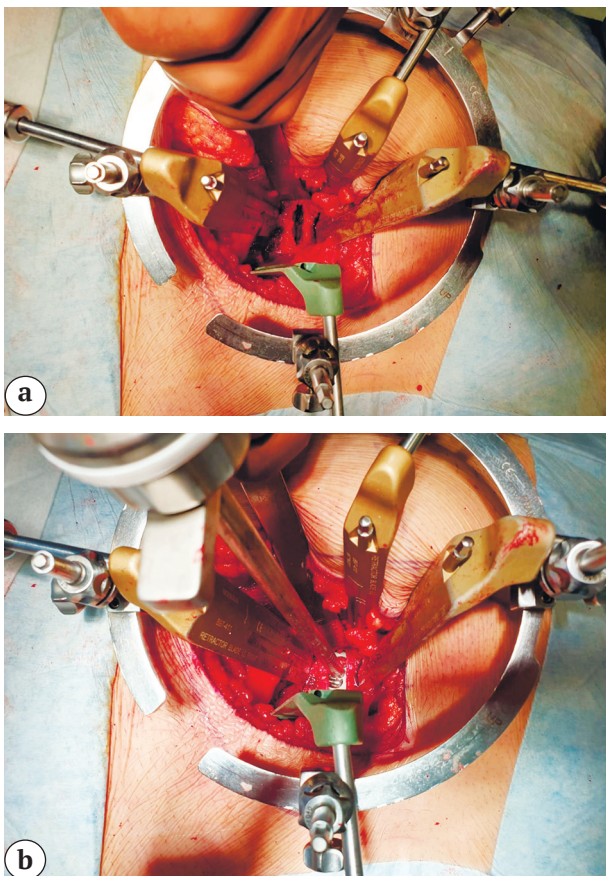


Рис. 3. Монтаж низкопрофильной кольцевой системы ретракторов для L5-S1 (a) и установка индивидуального лордозирующего кейджа (b)

Fig. 3. Installation of a retractor system for L5-S1 (a) and individual lordotic cage implantation (b)

Хирургическая техника из заднего доступа

После предварительной разметки при помощи ЭОП выполняли стандартный срединный доступ к телам позвонков. Рассекали подкожно-жировую клетчатку и фасцию, мягкие ткани скелетировали. Осуществляли доступ к задним структурам позвоночника. Выполняли резекцию межпозвоночных суставов, желтой, межкостистой, надкостистой связок на протяжении деформации позвоночника, тем самым достигая мобильности позвоночника. После визуализации треугольника Камбина (Kambin's triangle) осуществляли имплантацию по методике трансфораминального спондилодеза (TLIF). Устанавливали стандартный кейдж во фронтальной плоскости (в переднем отделе межпозвоночного пространства). Положение кейджа оценивалось на интраоперационной флюороскопии. После этого проводили транспедикулярную фиксацию оперируемого сегмента.

Рентгенологический анализ

При измерении сегментарного и поясничного лордоза использовались телерентгенограммы в положении пациента стоя, для точной оценки — ПО Surgimap (рис. 4).

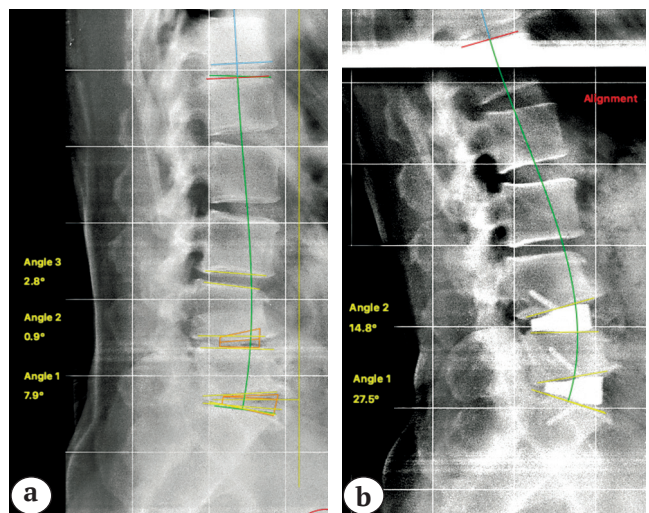


Рис. 4. Измерение сегментарного и общего лордоза при помощи программы Surgimap: а — рентгенограмма пациента до операции (слева представлены значения углов L5-S1 = 7,9°; L4-L5 = 0,9°); б — рентгенограмма того же пациента после установки индивидуальных межтеловых имплантатов (значения полученных углов сегментарного лордоза L5-S1 = 27,5°; L4-L5 = 14,8°)

Fig. 4. Measurement of segmental and lumbar lordosis using the Surgimap program: a — X-ray of the patient before the operation (on the left are the values of the angles L5-S1 = 7.9°, L4-L5 = 0.9°); b — X-ray of the same patient after individual interbody cage implantation (values of the obtained angles of segmental lordosis L5-S1 = 27.5°, L4-L5 = 14.8°)

Статистический анализ

Статистическая обработка проводилась с помощью ПО StatPlus:mac (AnalystSoft Inc., США) с использованием методов описательной статистики (box-plot, гистограммы, среднее значение со стандартным отклонением). Для межгруппового сравнения использовался параметрический тест с двусторонним *t*-критерием Стьюдента для разных дисперсий после проведения анализа на нормальность распределения. Статистическая значимость принималась на уровне $p < 0,001$.

Результаты

Анализ радиографических параметров проводился как внутри групп, так и между ними. При внутригрупповом сравнении в обеих группах послеоперационные значения сегментарного лордоза превосходили предоперационные (рис. 5, 6).

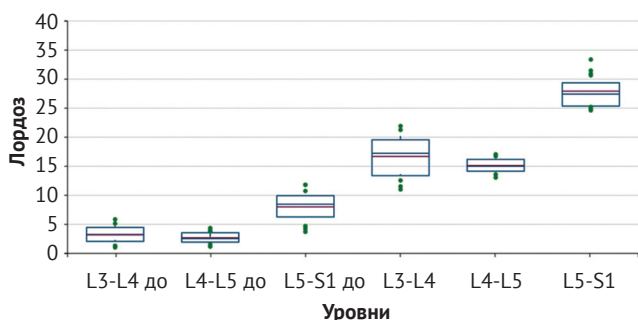


Рис. 5. Диаграмма размаха, отражающая изменения сегментарного лордоза до и после операции в группе А (ALIF)

Fig. 5. Box-plot showing changes in segmental lordosis before and after surgery in group A (ALIF)

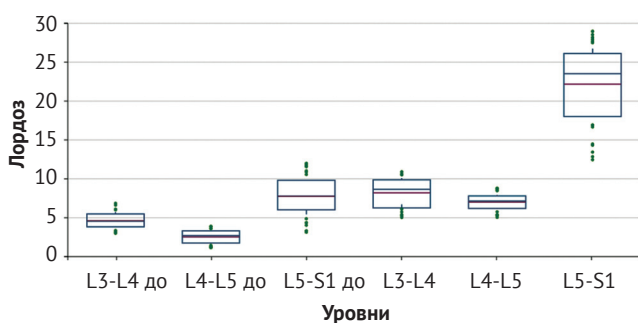


Рис. 6. Диаграмма размаха, отражающая изменения сегментарного лордоза до и после операции в группе В (TLIF, SPO, транспедикулярная фиксация)

Fig. 6. Box-plot showing changes in segmental lordosis before and after surgery in group B (TLIF, SPO, transpedicular fixation)

При межгрупповом сравнении в группе ALIF наблюдалось значительное превосходство в увеличении сегментарного лордоза: L3-L4 на 8° ($p = 0,0005$); L4-L5 на 7° ($p = 0,0002$); L5-S1 на 7° ($p = 0,0001$).

При проведении межгруппового сравнения общего поясничного лордоза в дооперационном периоде статистически значимой разницы между ними не было найдено ($p = 0,0043$). При этом в послеоперационных значениях группа А показала большую степень коррекции лордоза, чем группа В ($29,1^\circ$ в сравнении с $22,5^\circ$ соответственно; $p = 0,00005$) (табл.)

Таблица

Значения тотального лордоза со стандартными отклонениями (в скобках)

Срок	Группа А $n = 30$	Группа В $n = 33$	p^*
До операции	11,1 (2,1)	13,6 (1,63)	0,0043
После операции	29,1 (2,4)	22,5 (3,0)	0,00005

* — метод двустороннего *t*-критерия Стьюдента.

Обсуждение

При коррекции сагиттального баланса восстановление сегментарного лордоза является одной из основных целей вмешательства. Постепенные усовершенствования хирургической техники привели к разработке минимально инвазивных хирургических доступов для проведения сегментарной коррекции, например, лордозизирующих кейджей, используемых для ALIF, LLIF, которые позволяют скорректировать сегментарный лордоз до 20° [13]. Такой тип коррекции, очевидно, создает значительную нагрузку на межтеловой имплантат, а значит, и на замыкательные пластинки, сопротивляющиеся осевой нагрузке. Этот эффект может привести к продавливанию замыкательных пластин имплантатом, что может представлять собой потенциальный побочный эффект, поскольку за счет этого происходит уменьшение высоты диска, отрицательно влияющее не только на рентгенологические результаты коррекции, но и на клинические. Несмотря на некоторые положительные результаты [14], stand-alone кейджи для ALIF (без транспедикулярной фиксации) не доказали свою эффективность [15, 16]. Однако их самофиксирующая версия показывает лучшие клинические результаты по сравнению с установкой кейджей из заднего доступа с комбинированной транспедикулярной фиксацией [17]. Результаты нашего исследования подтверждают, что применение лордозизирующих кейджей с углами от 20° до

30° значительно увеличивает сегментарный и суммарный (общий) поясничный лордоз. Полученные результаты клинически сопоставимы с применением *pedicle subtraction osteotomy* (PSO) [18, 19, 20, 21]. Во всех клинических случаях были имплантированы кейджи с индивидуальным, заранее запланированным углом лордоза. Степень полученной коррекции сегментарного лордоза была практически идентична прогнозируемым результатам для группы А. Это может быть связано как с техникой установки имплантатов, которая в случае использования вентрального доступа требует полного освобождения передней продольной связки, так и с наличием конструктивных преимуществ используемого имплантата (форма клина). Нет сомнения в том, что необходимы дальнейшие исследования для определения стабильности полученной коррекции и функциональных результатов лечения.

Как видно из наших результатов, у пациентов с кифотизацией поясничного отдела позвоночника применение лордозизирующих кейджей обеспечивает практически полную коррекцию деформации, что соответствует результатам других исследований [22, 23, 24]. Средняя степень коррекции поясничного лордоза находилась в диапазоне от 27 до 43°, что говорит о восстановлении в пределах анатомической нормы. И, как уже было сказано ранее, причиной успешного результата может являться выполнение релиза передней продольной связки, которая дает существенное преимущество в восстановлении поясничного лордоза [25, 26].

Подавляющее большинство (77%) ALIF были выполнены на уровне L5-S1, что помогло создать более естественное распределение поясничного лордоза, чем при применении PSO, которая обычно выполняется на более проксимальных уровнях позвоночника и с резкой угловой коррекцией [19, 27]. В нашем исследовании значительное количество пациентов подверглось комплексной коррекции позвоночника. Тем не менее степень полученного лордоза, производимого каждым межтеловым устройством, различалась между группами. Однако в ретроспективной оценке были проанализированы только до- и послеоперационные рентгеновские снимки, так как большинство пациентов не проходило последующее послеоперационное обследование, а значит, существует вероятность потери полученной коррекции.

В данном исследовании ставилась цель изучить не клинические результаты переднего спондилодеза, а только полученную степень коррекции локальной деформации. Ограничением исследования, по нашему мнению, является ретроспективный дизайн работы, отсутствие оценки позвоночно-тазовых параметров, а также функциональных результатов. Для решения этих задач необходимо

провести проспективное исследование и оценить результаты через 6–12 мес. после операции, так как в большинстве случаев на этих сроках наблюдаются послеоперационные осложнения.

Результаты исследования подтверждают, что применение индивидуальных лордозизирующих кейджей позволяет значительно увеличить сегментарный лордоз (L3-L4 на 8°; $p = 0,0005$, L4-L5 на 7°; $p = 0,0002$, L5-S1 на 7°; $p = 0,0001$) и общий поясничный лордоз (до 29,1°, $p = 0,00005$) для пациентов с дегенеративным сколиозом взрослых.

Этика публикации

Пациенты дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании и публикацию клинического наблюдения.

Конфликт интересов: не заявлен.

Источник финансирования: государственное бюджетное финансирование.

Вклад авторов

Денисов А.А. — разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, статистическая обработка данных, написание и окончательное редактирование текста рукописи.

Пташников Д.А. — разработка дизайна исследования, редактирование текста рукописи.

Михайлов Д.А. — редактирование текста рукописи.

Масевнин С.В. — статистическая обработка данных, написание текста рукописи.

Смекаленков О.А. — обзор публикаций по теме статьи, написание текста рукописи.

Заборовский Н.С. — статистическая обработка данных.

Литература [References]

1. Лебедев В.Б., Епифанов Д.С., Костенко Г.В., Гходивала Т.С., Нурмухаметов Р.М., Педяш Н.В., Зуев А.А. Мини-инвазивная реконструкция позвоночного канала при дегенеративном поясничном стенозе. *Хирургия позвоночника*. 2017;14(3):67-73. doi: 10.14531/ss2017.3.67-73.
Lebedev V.B., Epifanov D.S., Kostenko G.V., Ghodivala T.S., Nurmukhametov R.M., Pedyash N.V., Zuev A.A. [Minimally invasive spinal canal reconstruction for degenerative lumbar spinal stenosis]. *Hirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2017;14(3): 67-73. (In Russian). doi: 10.14531/ss2017.3.67-73
2. Dangelmajer S., Zadnik P.L., Rodriguez S.T., Gokaslan Z.L., Sciubba D.M. Minimally invasive spine surgery for adult degenerative lumbar scoliosis. *Neurosurg Focus*. 2014;36(5):E7. doi:10.3171/2014.3.FOCUS144.
3. Козлов Д.М., Крутько А.В., Колотов Е.Б., Ахметьянов Ш.А. Отдаленные результаты хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов старше 60 лет. *Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко*. 2011;75(3):57-61.
Kozlov D.M., Krut'ko A.V., Kolotov E.B., Akhmet'yanov Sh.A. [Long-term results of surgical treatment for lumbar spine degenerative. Disease in patients above

- 60 of age]. *Voprosy neirokhirurgii imeni N.N. Burdenko* [Burdenko's Journal of Neurosurgery]. 2011;75(3):57-61. (In Russian).
4. Михайлов Д.А., Пташников Д.А., Масевнин С.В., Смекаленков О.А., Заборовский Н.С., Лапаева О.А., Мураби З. Результаты лечения пациентов пожилого и старческого возраста с дегенеративными деформациями и нестабильностью позвоночника. *Травматология и ортопедия России*. 2017;23(2):15-26. doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26. Mikhaylov D.A., Ptashnikov D.A., Masevnin S.V., Smekalenkov O.A., Zaborovski N.S., Lapaeva O.A., Mooraby Z. [Treatment outcomes in elderly and senile patients with degenerative deformations and instability of the spinal column]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2017;23(2):15-26. (In Russian). doi: 10.21823/2311-2905-2017-23-2-15-26.
 5. DeWald C.J., Stanley T. Instrumentation-related complications of multilevel fusions for adult spinal deformity patients over age 65: Surgical considerations and treatment options in patients with poor bone quality. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006;31(19 Suppl):S144-S151. doi: 10.1097/01.brs.0000236893.65878.39.
 6. Wang H., Zhang Z., Qiu G., Zhang J., Shen J. Risk factors of perioperative complications for posterior spinal fusion in degenerative scoliosis patients: a retrospective study. *BMC Musculoskelet Disord*. 2018;19(1):242. doi: 10.1186/s12891-018-2148-x.
 7. Пелеганчук А.В., Базлов В.А., Крутько А.В. Декомпрессивно-стабилизирующие оперативные вмешательства с использованием индивидуальных кейджей, изготовленных методом 3D-печати. *Хирургия позвоночника*. 2018;15(1):65-70. doi: 10.14531/ss2018.1.65-70. Peleganchuk A.V., Bazlov V.A., Krutko A.V. [Decompression and stabilization surgery using custom-made 3D printed cages]. *Hirurgiya pozvonochnika* [Spine Surgery]. 2018;15(1):65-70. (In Russian). doi: 10.14531/ss2018.1.65-70.
 8. Phillips F.M., Isaacs R.E., Rodgers W.B., Khajavi K., Tohmeh A.G., Deviren V. et al. Adult degenerative scoliosis treated with XLIF clinical and radiographical results of a prospective multicenter study with 24-month follow-up. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013;38(21):1853-1861. doi: 10.1097/BRS.0b013e3182a43f0b.
 9. Odeh K., Rosinski A., Nguyen J., Modak A., Leasure J., Siebert S., Kondrashov D. Anterior Lumbar Interbody Fusion May Provide Superior Decompression of the Foraminal Space Compared with Direct Foraminotomy: Biomechanical Cadaveric Study. *World Neurosurg*. 2020;135:e71-e76. doi: 10.1016/j.wneu.2019.10.139.
 10. Wang G., Hu J., Liu X., Cao Y. Surgical treatments for degenerative lumbar scoliosis: a meta analysis. *Eur Spine J*. 2015;24(8):1792-1799. doi: 10.1007/s00586-015-3942-x.
 11. Schwab F., Ungar B., Blondel B. et al. Scoliosis Research Society-Schwab Adult Spinal Deformity Classification. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2012;37(12):1077-1082. doi: 10.1097/BRS.0b013e31823e15e2
 12. Griffith J.F., Wang Y.X.J., Antonio G.E., Choi K.C., Yu A., Ahuja A.T. et al. Modified Pfirrmann grading system for lumbar intervertebral disc degeneration. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007;32(24). doi: 10.1097/BRS.0b013e31815a59a0
 13. Elowitz E., Yanni D., Chwajol M., Starke R.M., Perin N.I. Evaluation of indirect decompression of the lumbar spinal canal following minimally invasive lateral transpsoas interbody fusion: radiographic and outcome analysis. *Minim Invasive Neurosurg*. 2011;54(5-6): 201-206. doi: 10.1055/s-0031-1286334.
 14. Rahn K.A., Shugart R.M., Wylie M.W., Reddy K.K., Morgan J.A. The effect of lordosis, disc height change, subsidence, and transitional segment on stand-alone anterior lumbar interbody fusion using a nontapered threaded device. *Am J Orthop (Belle Mead NJ)*. 2010;39(12):E124-129.
 15. Li J., Dumonski M.L., Liu Q., Lipman A., Hong J., Yang N. et al. A multicenter study to evaluate the safety and efficacy of a stand-alone anterior carbon I/F Cage for anterior lumbar interbody fusion: two-year results from a Food and Drug Administration investigational device exemption clinical trial. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(26):1564-1570. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181ef5c14.
 16. Zelle B., Konig F., Enderle A., Bertagnoli R., Dorner J. Circumferential fusion of the lumbar and lumbosacral spine using a carbon fiber ALIF cage implant versus autogenous bone graft: a comparative study. *J Spinal Disord Tech*. 2002;15(5):369-376. doi: 10.1097/00024720-200210000-00005.
 17. Strube P., Hoff E., Hartwig T., Perka C.F., Gross C., Putzier M. Stand-alone anterior versus anteroposterior lumbar interbody single-level fusion after a mean follow-up of 41 months. *J Spinal Disord Tech*. 2012. 25(7): 362-369. doi: 10.1097/BSD.0b013e3182263d91.
 18. Barrey C., Perrin G., Michel F., Vital J.M., Obeid I. Pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine: indications, technical aspects, results and complications. *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014; 24 Suppl 1:S21-30. doi: 10.1007/s00590-014-1470-8.
 19. Manwaring J.C., Bach K., Ahmadian A.A., Deukmedjian A.R., Smith D.A., Uribe J.S. Management of sagittal balance in adult spinal deformity with minimally invasive anterolateral lumbar interbody fusion: a preliminary radiographic study. *J Neurosurg Spine*. 2014;20(5):515-522. doi: 10.3171/2014.2.SPINE1347.
 20. Cho K.J., Bridwell K.H., Lenke L.G., Berra A., Baldus C. Comparison of Smith-Petersen Versus Pedicle Subtraction Osteotomy for the Correction of Fixed Sagittal Imbalance. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2005;30(18): 2030-2037. doi: 10.1097/01.brs.0000179085.92998.ee.
 21. 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. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015;40(8):570-579. doi: 10.1097/BRS.0000000000000815.
 22. Anand N., Cohen R.B., Cohen J., Kahndehroo B., Kahwaty S., Baron E. The Influence of Lordotic cages on creating Sagittal Balance in the CMIS treatment of Adult Spinal Deformity. *Int J Spine Surg*. 2017;11:23. doi: 10.14444/4023.
 23. Marchi L., Oliveira L., Amaral R, Castro C., Coutinho T., Coutinho E., Pimenta L. Anterior elongation as a minimally invasive alternative for sagittal imbalance - a case series. *HSS J*. 2012;8(2):122-127. doi: 10.1007/s11420-011-9226-z.
 24. Ozgur B.M., Aryan H.E., Pimenta L., Taylor W.R. Extreme Lateral Interbody Fusion (XLIF): a novel surgical technique for anterior lumbar interbody fusion. *Spine J*. 2006;6(4):435-443. doi: 10.1016/j.spinee.2005.08.012.
 25. Saville P.A., Kadam A.B., Smith H.E., Arlet V. Anterior hyperlordotic cages: early experience and radiographic results. *J Neurosurg Spine*. 2016;25(6):713-719. doi: 10.3171/2016.4.spine151206.

26. Kapustka B., Kiwic G., Chodakowski P., Miodoński J.P., Wysokiński T., Łączyński M. et al. Anterior lumbar interbody fusion (ALIF): biometrical results and own experiences. *Neurosurg Rev.* 2020;43(2):687-693. doi: 10.1007/s10143-019-01108-1.
27. Cho K.J., Suk S.I., Park S.R., Kim J.H., Kang S.B., Kim H.S., Oh S.J. Risk factors of sagittal decompensation after long posterior instrumentation and fusion for degenerative lumbar scoliosis. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2010;35(17):1595-1601. doi: 10.1097/BRS.0b013e3181bdad89.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Денисов Антон Андреевич — аспирант, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург

Пташников Дмитрий Александрович — д-р мед. наук, профессор, научный руководитель отделения нейроортопедии и костной онкологии, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России; заведующий кафедрой травматологии и ортопедии ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург

Михайлов Дмитрий Аркадьевич — канд. мед. наук, нейрохирург, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург

Масевнин Сергей Владимирович — канд. мед. наук, травматолог-ортопед, онколог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург

Смекаленков Олег Анатольевич — канд. мед. наук, нейрохирург, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург

Заборовский Никита Сеогеевич — канд. мед. наук, травматолог-ортопед, онколог, ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Р.Р. Вредена» Минздрава России, Санкт-Петербург

AUTHORS' INFORMATION:

Anton A. Denisov — PhD Student, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Dmitry A. Ptashnikov — Dr. Sci. (Med.), Professor, the Head of Scientific Department of Neuroorthopedics and Bone Tumors, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics; the Head of Traumatology and Orthopedics Department, Mechnikov North-Western State Medical University, St. Petersburg, Russian Federation

Dmitry A. Mikhailov — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Sergey V. Masevnin — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Oleg A. Smekalenkov — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Vreden National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Nikita S. Zaborovski — Cand. Sci. (Med.), Orthopedic Surgeon, Vreden National medical research center of traumatology and orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation