

## МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНЫЙ ТРАНСФОРАМИНАЛЬНЫЙ МЕЖТЕЛОВОЙ СПОНДИЛОДЕЗ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ СЕГМЕНТАРНОГО И ПОЯСНИЧНОГО ЛОРДОЗА

Сангинов А.Д.<sup>1</sup>, Байков Е.С.<sup>1</sup>, Пелеганчук А.В.<sup>1</sup>, Маркин С.П.<sup>1</sup>, Леонова О.Н.<sup>1</sup>, Крутько А.В.<sup>1</sup>

<sup>1</sup>ФГБУ «Новосибирский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени Я.Л. Цивьяна» Минздрава России, Новосибирск, e-mail: dr.sanginov@gmail.com

Авторами выполнен систематический обзор литературы с целью изучения сегментарного и глобального лордоза после минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза (MIS-TLIF) при хирургическом лечении дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. Обзор проведен согласно рекомендациям «Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions». Для поиска статей использовались научные базы данных PubMed, Scopus и Google Scholar. В работу включено 34 статьи. Количество пациентов составило 1994 человека. Частота осложнений и реопераций равнялась 7,1% и 3,6% соответственно, объем кровопотери составил 264 мл. Сразу после операции отмечается улучшение показателей как сегментарного, так и глобального лордоза ( $p=0,000$  и  $p=0,031$  соответственно). Простая линейная регрессия выявила зависимость достигаемого сегментарного / глобального лордоза от его предоперационной величины. Чем больше величина дооперационного сегментарного лордоза, тем меньше объем достигаемого сегментарного лордоза. Выполнение минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза и транспедикулярной фиксации из парасагиттального доступа позволяет скорректировать показатели сегментарного и глобального поясничного лордоза в необходимом объеме. Величина достигаемого сегментарного и/или глобального поясничного лордоза обратно пропорциональна его предоперационной величине.

Ключевые слова: TLIF, лордоз, минимально инвазивная хирургия, дегенеративный спондилолистез, стеноз позвоночного канала.

## MINIMALLY INVASIVE TRANSFORAMINAL LUMBAR INTERBODY FUSION AND RESTORATION OF SEGMENTAL AND LUMBAR LORDOSIS

Sanginov A.J.<sup>1</sup>, Baykov E.S.<sup>1</sup>, Peleganchuk A.V.<sup>1</sup>, Markin S.P.<sup>1</sup>, Leonova O.N.<sup>1</sup>, Krutko A.V.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Novosibirsk Research Institute of Traumatology and Orthopaedics n.a. Ya.L. Tsivyan, Novosibirsk, e-mail: dr.sanginov@gmail.com

The aim of the study was to assess the possibility of restoring segmental and global lordosis in degenerative diseases of the lumbar spine with a minimally invasive method from the posterior parasagittal approach. Systematical review includes all cases of surgical treatment of lumbar disease (degenerative or isthmic spondylolisthesis, degenerative stenosis, lumbar disc herniation, degenerative scoliosis) in accordance with the Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions. Electronic databases, including PubMed, Scopus, and Google Scholar were used for search. A combined search of databases and an analysis of references revealed 34 articles eligible for inclusion to analysis with total amount 1994 patients with the rate of complications and reoperations was 7.1 and 3.6%, respectively. The magnitudes of both segmental and global lordosis improved immediately postoperatively ( $p<0.001$  and  $p=0.03$ , respectively). Simple linear regression revealed dependence between the achieved segmental/global lordosis and their preoperative magnitude. The higher the preoperative segmental lordosis, the smaller volume of segmental lordosis is achieved. Both segmental and global lordosis may be improved by transforaminal lumbar interbody fusion and transpedicular fixation through the minimally invasive parasagittal approach. The magnitude of achieved lordosis is inversely proportional to its preoperative magnitude and is retained in the follow-up.

Keywords: TLIF, lordosis, minimally-invasive surgery, degenerative spondylolisthesis, spinal stenosis.

Минимально инвазивные методики прочно обосновались в хирургии позвоночника, особенно при лечении дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника. В настоящее время при необходимости выполнения моносегментарного спондилодеза наилучшей методикой признан минимально инвазивный трансфораминальный межтеловой

спондилодез с транскутанной транспедикулярной фиксацией [1]. Методика заднего межтелового спондилодеза впервые была применена в 1944 г. хирургами Briggs и Milligan: они после выполнения ламинэктомии заполняли межтеловой промежуток аутокостью [2]. С течением времени проводилось усовершенствование методики фиксации позвоночника и появлялись новые техники. Авторами Hoover и Goldner в 1960-х гг. была впервые описана методика циркулярного спондилодеза, также техника спондилодеза 360° и результаты его проведения достаточно полно отражены в работах O'Brien. В 1990-е гг. Harms определил более широкие возможности и показания для применения техники трансфораминального межтелового спондилодеза [3], и с того времени разработано множество вариантов и модификаций межтелового спондилодеза.

Wiltse при выполнении декомпрессии корешков спинного мозга на поясничном отделе позвоночника применил двусторонний парасагиттальный доступ с последующим выполнением спондилодеза [4]. Foley и Ozgur с соавторами описали методику выполнения минимально инвазивного TLIF (MI TLIF) [5, 6], и с тех пор эта техника широко применяется в хирургии позвоночника, в том числе при лечении различных форм дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника.

Минимально инвазивные технологии в хирургии позвоночника позволяют провести вмешательство через небольшие параспинальные разрезы кожи, последующее раздвигание мышц осуществляется при помощи тубулярных ретракторов – все это позволяет уменьшить повреждение паравертебральных мышц, снижает объем костной резекции элементов заднего опорного комплекса позвоночника, уменьшает ятрогенные и травматические последствия. Широко описаны варианты техник минимально инвазивного TLIF [7–10] и обозначены их преимущества, такие как меньшая раневая площадь, малый объем кровопотери, быстрое заживление послеоперационной раны, низкая частота осложнений, меньшая выраженность болевого синдрома в послеоперационном периоде и, как следствие, низкая потребность в анальгетиках, ранняя активизация пациентов и начало восстановительного периода, сокращение времени пребывания в стационаре и скорое возвращение к активной деятельности [11–13].

Однако существуют и ограничения в показаниях к применению минимально инвазивного TLIF: спондилолистез любой этиологии II степени и больше, необходимость коррекции деформации позвоночника на нескольких уровнях, грубые дегенеративные изменения позвоночника, сформированный задний костный блок после предшествующих хирургических вмешательств на позвоночнике [14]. Также в качестве недостатков методики отмечают более высокую лучевую нагрузку на пациента и операционную бригаду [15, 16].

По данным литературы, минимально инвазивный трансфораминальный межтеловой спондилодез показывает хорошие клинические результаты, низкую частоту осложнений и реопераций [17, 18]. К тому же выполнение минимально инвазивного TLIF обеспечивает достаточно высокую частоту формирования искусственного межтелового блока [19, 20]. Одними из основных радиологических параметров, оценивающих результат проведенного оперативного вмешательства, являются показатели сагиттального баланса, в особенности поясничный лордоз. Многие исследователи оценивают только клинические результаты после выполнения трансфораминального межтелового спондилодеза, однако восстановление сагиттального баланса, если в этом есть потребность, – не менее важный показатель. Большинство авторов при необходимости восстановления поясничного лордоза на оперируемом уровне предпочитают применение традиционного открытого вмешательства через срединный доступ. Однако основными существенными недостатками традиционного срединного доступа являются травматическое ятрогенное повреждение мышечно-связочного аппарата вследствие длительной мышечной ретракции, излишнее повреждение заднего опорного комплекса позвоночника, в том числе капсулы фасеточных суставов как оперированного уровня, так и смежных сегментов, что может провоцировать усиление дегенерации и/или развитие синдрома смежного сегмента [21, 22], а также стойкие послеоперационные боли в поясничном отделе позвоночника из-за травматичности доступа и большей раневой поверхности.

В 2016 г. Uribe et al. была опубликована обзорная статья о возможности восстановления поясничного лордоза при выполнении разных вариантов минимально инвазивного межтелового спондилодеза. В работе проанализированы результаты XLIF, MIS-TLIF, mini-open PLIF, mini-ALIF, однако, учитывая гетерогенность подходов, показаний и возможностей методик, однозначные выводы сделать не представляется возможным, как и оценить возможности минимально инвазивного TLIF при коррекции сегментарного и поясничного лордоза [23].

В целом основными задачами хирургического вмешательства при дегенеративных заболеваниях позвоночника являются улучшение клинической картины (уменьшение или купирование болевого синдрома), достижение наиболее благоприятного и эффективного функционального исхода, восстановление трудоспособности. Отсутствие коррекции сагиттального дисбаланса в виде недостаточности поясничного лордоза на оперированном уровне после оперативного вмешательства оказывает непосредственное влияние на исход лечения в целом, а также может способствовать дальнейшему усилению прогрессии дегенеративного процесса в смежных сегментах. Мы предполагаем, что коррекцию и восстановление сегментарного и глобального поясничного лордозов при дегенеративных

заболеваниях поясничного отдела позвоночника можно осуществить минимально инвазивными методиками. Для проверки данной гипотезы нами были проведены систематический обзор литературы и анализ полученных данных.

**Материалы и методы исследования.** Мы провели систематический обзор литературы для изучения сегментарного и глобального лордоза после минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза (MIS-TLIF) при хирургическом лечении дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника. Обзор осуществлялся согласно рекомендациям «Cochrane Handbook for Systematic Reviews of Interventions».

Для поиска статей мы использовали научные базы данных PubMed, Scopus и Google Scholar. Ключевыми словами для нахождения были «TLIF», «lumber», «deform\*» или «kyph\*», «mis\*» или «mini\*» и «inv\*» и «surg\*», «transforamin\*», «fusion» и «lordos\*». Требованиями для поиска были англоязычные статьи, опубликованные в 2006–2020 гг. Последний поиск выполнен в конце марта 2020 г. Работу проводили три автора параллельно.

Критериями включения были: оригинальные статьи с обязательной оценкой сегментарного и общего поясничного лордоза до и после операции. Критерии исключения: TLIF из традиционного открытого доступа, обзорные статьи, кадаверные и in-vitro исследования, письмо редактору. Использовалась трехступенчатая селекция отбора релевантных статей. Два автора независимо друг от друга собрали данные из релевантных статей. Спорные случаи решались совместно либо с участием третьего автора. Некоторые недостающие данные получены у авторов статей путем переписки. Сведения (количество пациентов, дизайн исследования, типы декомпрессии и фиксации, величина лордоза, срок наблюдения, частота осложнений и реоперации, объем кровопотери) внесены в отдельную таблицу.

Полученные данные прошли статистическую обработку. Небольшой размер общей выборки, состоящей из отдельных случаев, препятствовал выполнению статистического анализа с использованием параметрических методов и расчета размеров эффекта. По этой причине данные представлены в виде сводной таблицы для всех пациентов. Общие тенденции и закономерности были выявлены и проанализированы.

Для сравнения пред- и послеоперационных данных использовано R Statistical Package (<http://www.r-project.org>). Линейная регрессия применялась для оценки корреляции между изменениями сегментарного и поясничного лордоза (в градусах и в процентах) и предоперационных данных. Для статистического анализа использовано ПО IBM SPSS 21, изменение считалось достоверным при  $p < 0,05$ .

**Результаты исследования и их обсуждение.** В результате поиска в научных базах обнаружены 2002 полнотекстовые научные статьи. Мы исключили 1933 работ как не соответствующие критериям отбора: другой дизайн работы, тип операции, другая опция лечения, не оригинальная статья, экспериментальные работы и т.п. Среди 69 потенциальных статей 27 также исключены после изучения абстрактов: 22 статьи имели другой дизайн исследования, 1 работа была как письмо редактору, 3 статьи описывали другую технику операции и 1 статья не была опубликована. После изучения текста 42 статей 8 из них исключены из работы в связи с несоответствием целям нашей работы.

Таким образом, в работу включено 34 статей. Основные анализируемые параметры из включенных в обзор статей приведены в таблице 1.

Таблица 1

Основные анализируемые параметры включенных в обзор статей

№	Авторы	Год	Дизайн исследования	Кол-во пациентов (n)	Срок наблюдения (мес)	Декомпрессия	Винтовая фиксация	Сегментарный лордоз до операции (°)	Сегментарный лордоз после операции (°)	Сегментарный лордоз в сроках наблюдения (°)	Поясничный лордоз до операции (°)	Поясничный лордоз после операции (°)	Поясничный лордоз в сроках наблюдения (°)	Осложнение (%)	Реоптация (%)	Кровопотеря (ml)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1	Anand et al	2006	Проспективное	44	30	Односторонняя	Парасагитальная по Wiltse	2	NA	9	NA	NA	NA	NA		300
2	Aoki et al	2015	Ретроспективное	22 (grA-PI-LL≤10)	0	«Overt op» при необх.	Транскутанная	NA	NA	NA	43,1	44	NA	9,1	4,5	NA
				30 (grAB-PI-LL≥10)							30,4	29,4				
3	Barbagallo et al	2014	Серия случаев	8	30,12	по Wiltse	Транскутанная	NA	NA	NA	56,87	66,5	NA	0	0	NA
4	Cheng et al	2017	Проспективное	43	24	«Overt op»	Парасагитальная по Wiltse	8,5	NA	12,7±6,7 (12 mo.)	NA	NA	NA	4,7	0	393,5±144,0
5	Choi et al	2016	Проспективное	22	12	Односторонняя - 76,2%, «Overt op» - 23,8%	Транскутанная	13,3	16,5	7,8±1,3	44,3	48,6	47,1	14,3	4,5	212 ± 90,1
6	Giorgi et al	2015	Проспективное мульти центровое	182	12	Односторонняя	Парасагитальная по Wiltse	6,9±5,2 (L5-S1); 8,3±6,6 (L4-L5); 7,4±2,5 (L3-L4)	NA	7,3±5,1 (L5-S1); 7,1±5,4 (L4-L5); 6,2±2,6 (L3-L4)	53,4	NA	51,9	7,7	5	143±108,9
7	Gu et al	2015	Проспективное	35 гр.А (одностор. фикс.)	32,1 ± 7,5	«Overt op»	Парасагитальная по Wiltse	21,54	21,49	19,80 ± 3,34 (12 mo.)	40,29	36,41	33,03	8,6	0	190,9±61,0
				39 (двустор. фикс.)	31,7 ± 8,0			Транскутанная	19,95	20,2	18,92 ± 2,68 (12 mo.)	41,36	35,92	33,15	12,8	0
8	Hara et al	2015	Ретроспективное	24 (mTLIF)	27,7	«Overt op»	Транскутанная	8,5	10	NA	41,9	48,2	NA	NA	NA	NA
9	Kasukawa et al	2015	Серия случаев	10	16	Односторонняя	Парасагитальная по Wiltse	9,4	15,8	15,7±6,0	NA	NA	NA	0	NA	429±289
				6	13			12	15,2	11,0±7,7	NA	NA	NA	0	NA	210±114
				10	8			7	10,9	11,4±3,6	NA	NA	NA	30	NA	188±167
10	Kim et al	2015	Ретроспективное	18(ист-мич.)	17,84 ± 6,48	«Overt op»	Транскутанная	12,59	12,68	NA	49,59	45,88	NA	5,5	5,5	222,22
				23(деревер.)	21,65 ± 11,65			10,76	12,17	NA	43,86	46,13	NA	5,5	0	203,91
11	Lawton et al	2014	Ретроспективное	19 (L4L5)	12	Односторонняя	Транскутанная	5,54	5,38	NA	NA	NA	NA	0	0	101,32±72,87
				17 (L5S1)				7,82	9,35							102,94±90,52
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
12	Hyeong-Jin Lee et al	2016	Ретроспективное	38	15,5±11,61	Односторонняя - 24, «Overt op» - 14	Транскутанная	12,95	15,89	10,6	36	35,62	42,97	15,8	2,6	NA

13	Won-chul Lee et al	2016	Ретроспективное	27	12	«Overtop»	Транскутанная	NA	NA	NA	34,18	NA	39,65	0	0	527,41 ± 219,66
14	Yi-bing Li et al	2017	Проспективное	103	51,8±6,8	Односторонняя и по Wiltse	Парасагитальная по Wiltse	NA	NA	NA	31,6	49,8	46,3	0,97	0	NA
15	Liang et al	2015	Ретроспективное	119	51,7	Односторонняя and «Overtop»	Транскутанная	6,4	NA	6,4±4,4	35,6	NA	38,7	13,4	0,84	135,1 ± 113,5
16	Lin et al	2017	Ретроспективное	35 (<65)	18,98	Односторонняя and «Overtop»	Транскутанная	11,54	14,14	12,21 ± 5,07	41,93	43,18	42,34	14,29	2,8	304,29± 179,2
				41 (>65)				13,13	15,67	13,37 ± 4,21	38,01	40,23	39,44	17,07	4,9	290,24± 120,53
17	Lindley et al	2014	Ретроспективное	15	6,4	по Wiltse	Парасагитальная по Wiltse	5,3	13,7	13	NA	NA	NA	NA	NA	NA
				10	7,4	Односторонняя	Транскутанная	4,8	5,7	4,8	NA	NA	NA	NA	NA	NA
18	You Lv et al	2017	Проспективное	50	36	«Overtop»	Транскутанная	15,2	NA	20,1 ± 1,84	35,1	NA	41,2	4	0	143,1 ± 37,4
19	Sang-Hyuk Min et al	2014	Ретроспективное	20	25,24	Односторонняя по Wiltse	Транскутанная	15,05	18,6	17,65±1,10	29,85	37,25	35,8	0	0	308,75± 30,52
				10	23,46	Односторонняя по Wiltse	Транскутанная	17,9	20,7	18,70± 1,58	41,3	47,5	44,8	0	0	575,00± 61,57
20	Shen et al	2013	Проспективное рандомизированное	31	18	«Overtop»	Транскутанная	20,5	19,8	21,7±4,9	45,3	41,2	38,5	12,9	3,2	NA
				34				19,3	20,5	20,8±5,5	46,9	40,5	40,5	5,9	0	
21	Wang et al	2015	Серия случаев	18	6,78± 1,66	NA	NA	5,48	8,69	NA	NA	NA	NA	0	0	290,28± 67,00
22	Wong et al	2014	Проспективное	144	45	Односторонняя and Overtop	Транскутанная	Lordotic change (degrees per level) 5,65			NA	NA	NA	26,7	8,3	115
23	Kim et al	2009	Ретроспективное	46	(29,7)	по Wiltse	Парасагитальная по Wiltse	15,8	18,3	NA	51,2	52,6	NA	6,5	NA	397,6± 205,7
24	Dahdaleh et al	2013	Проспективное рандомизированное	20	12,4 ± 7,2	Односторонняя	Парасагитальная по Wiltse	13,7	NA	14,1	NA	NA	NA	5	0	156±68
				16	11,4 ± 6,1	Односторонняя	Транскутанная	9,3	NA	11,4	NA	NA	NA	6,25	0	95±42
25	Dong et al	2008	Ретроспективное	27	38,6	по Wiltse	Парасагитальная по Wiltse	11,9	13,9	NA	43,1	44,6	NA	7,4	0	338,1
26	Kim et al	2011	Ретроспективное	56	32,4	«Overtop»	Транскутанная	14,7	18,5	15,9±7,81	28,4	38,4	35,8± 11,82	NA	NA	410,6
27	Min et al	2013	Ретроспективное	172	24,53	«Overtop»	Транскутанная	15,22	19,37	17,49±1,35	34,14	42,65	36,69±2,03	NA	NA	NA
28	Isaacs et al	2016	Проспективное	26	24	«Overtop»	Транскутанная	8,3	9,9	8,6	56,9	55,4	59,5	19,2	3,8	NA
29	Ammar H. Hawasli et al.	2017	Ретроспективное	16 стат. кейдж	14,6±7,1	по Wiltse	Транскутанная	5,8±3,0	8,1±3,6	8,09±0,84	54,3±3,62	50±2,37	58,68±1,96	NA	2,3	NA
				28 расшир. кейдж	7,1±4,2			5,8±4,2	11,0±4,1	10,99±0,77	52,2±2,3	50,8±2,7	56,89±2,12			
30	Lara W. Massie et al	2018	Ретроспективное	44	24	Односторонняя	Транскутанная	5,63	10,58	8,75	47,37	50,55	51,6	NA	6,8	64,8±43,5
31	Claudia Pereira et al	2018	Ретроспективное	117	12	Односторонняя	Транскутанная	8,1±4,7	NA	7,7±4,33	54,7±14,9	NA	56,7±13,4	NA	NA	NA
32	Benjamin Khechen et al	2019	Ретроспективное	30 стат. кейдж	6	Односторонняя	Транскутанная	18,1±5,4	NA	19,1±5,5	58±11,5	NA	60,4±12,8	NA	NA	53,2±29,6
				30 расшир. кейдж				19±6		20±5,7	52,4±10,5		54,9±10,5			
33	Kai Su et al	2019	Ретроспективное	25	19	Односторонняя	Транскутанная	6±6	NA	3±4	47±16	NA	43±14	NA	NA	NA
34	Joseph H. McMordie et al	2020	Ретроспективное	50	11,5± 7,6	Односторонняя	Транскутанная	8,1±0,6	NA	11,3±0,6	51,5±1,5	NA	56,2±1,5	6	4	NA

Количество пациентов составило 1994 человек, срок наблюдения в среднем 19,4 месяца. Частота осложнений и реопераций равнялась 7,1% и 3,6% соответственно, объем кровопотери составил 264 мл.

Во всех исследованиях описано увеличение сегментарного лордоза после операции. Мы проанализировали изменение сегментарного и общего поясничного лордоза сразу после оперативного вмешательства и в сроках наблюдения. Для третьей точки использованы финальные данные, приведенные авторами статей (табл. 2, 3, 4).

Сразу после операции отмечается улучшение показателей как сегментарного, так и глобального лордоза ( $p=0,000$  и  $p=0,031$  соответственно) (табл. 2).

Таблица 2

Сравнение показателей лордоза до и сразу после операции

Лордоз	До операции	После операции	Изменение (°)	Изменение (%)	P*
Сегментарный	11.2 (5.1, 2 -21.5)	14.4 (4.7, 5.4-21.5)	2.7 (2.1, -0.7 - 8.4)	31.9 (36.9, -3.4 - 158.5)	<b>0.000</b>
Поясничный	41.6 (7.9, 28.4 -56.9)	44.8 (8.4, 29.4 -66.5)	2.8 (5.8, -6.4 - 18.2)	7.9 (16.6, -13.6 - 57.6)	<b>0.031</b>

В динамике отмечается достоверное уменьшение показателя сегментарного лордоза ( $p=0,000$ ), однако при этом поясничный лордоз достоверно не уменьшается ( $p=0,086$ ) (табл. 3).

Таблица 3

Сравнение показателей лордоза после операции и на финальном сроке наблюдения

Лордоз	После операции	Контроль	Изменение (°)	Изменение (%)	P*
Сегментарный	14.4 (4.7, 5.4 - 21.5)	13.9 (4.9, 4.8 - 21.7)	-1.8 (2.5, -8.7 - 1.9)	-11.3 (15, -52.7 - 9.6)	<b>0.000</b>
Поясничный	44.8 (8.4, 29.4 - 66.5)	40.5 (5.1, 33 - 51.9)	-1.6 (3.1, -6 - 7.4)	-3.6 (8.2, -14 - 20.6)	0.086

При сравнении сегментарного лордоза до операции и на финальном сроке наблюдения выявлено его достоверное улучшение ( $p=0,000$ ), общий поясничный лордоз также увеличивается, однако изменение статистически не достоверно ( $p=0,255$ ) (табл. 4).

Таблица 4

Сравнение показателей лордоза до операции и на финальном сроке наблюдения

Лордоз	До операции	Контроль	Изменение (°)	Изменение (%)	P*
Сегментарный	11.2 (5.1, 2 - 21.5)	13.9 (4.9, 4.8 - 21.7)	1.5 (3.1, -5.5 - 7.7)	30 (77.4, -41.4 - 350)	<b>0.000</b>
Поясничный	41.6 (7.9, 28.4 - 56.9)	40.5 (5.1, 33 - 51.9)	1.8 (6.2, -8.2 - 14.7)	6.6 (17.4, -19.9 - 46.5)	<b>0.255</b>

Как видно из таблиц, показатели SL сразу после операции и на финальном сроке наблюдения достоверно больше в сравнении с дооперационными данными ( $p=0,000$ ).

Восстановление лордоза зависит от множества факторов. Релиз и субтотальная резекция противоположного фасеточного сустава позволяют увеличить величину достигаемого сегментарного лордоза за счет появления мобильности позвоночно-двигательного сегмента. Нами проведена оценка изменений показателей сегментарного лордоза в зависимости от типа декомпрессии (табл. 5).

Таблица 5

Изменение сегментарного лордоза в зависимости от типа декомпрессии

Тип декомпрессии	Изменение лордоза, °	P value	Изменение лордоза, %	P value
------------------	----------------------	---------	----------------------	---------

Односторонняя	2,97 ± 2,48*	0,157	33,43 ± 28,52	0,116
«Overtop»	0,98 ± 1,5		7,82 ± 10,62	
Односторонняя	2,97 ± 2,48*	0,822	33,43 ± 28,52	0,64
Двусторонняя (по Wiltse)	3,45 ± 3,37		52,47 ± 70,69	
«Overtop»	0,98 ± 1,5	0,242	7,82 ± 10,62	0,296
Двусторонняя (по Wiltse)	3,45 ± 3,37		52,47 ± 70,69	

\*Среднее ± стандартное отклонение

Двусторонняя декомпрессия из одностороннего доступа («overtop») использована в 10 исследованиях, односторонняя декомпрессия (со стороны субстрата и/или клинических проявлений) – в 13 работах, двусторонняя декомпрессия из доступа Wiltse – в 4 статьях, в остальных работах описаны разные объемы декомпрессии в зависимости от патоморфологического субстрата. Однако в большинстве статей не указано, был ли проведен релиз противоположного фасеточного сустава и каков объем его резекции. Как видно из таблицы 5, величина достигаемого сегментарного лордоза достоверно не зависит от типа декомпрессии.

Простая линейная регрессия выявила зависимость достигаемого сегментарного/глобального лордоза от его предоперационной величины. Чем больше величина дооперационного сегментарного лордоза, тем меньше объем достигаемого сегментарного лордоза (рис. 1). Такая же зависимость получена для глобального лордоза (рис. 2). Полученные данные могут быть полезными при планировании хирургического лечения моно- или бисегментарной дегенеративной патологии поясничного отдела позвоночника.

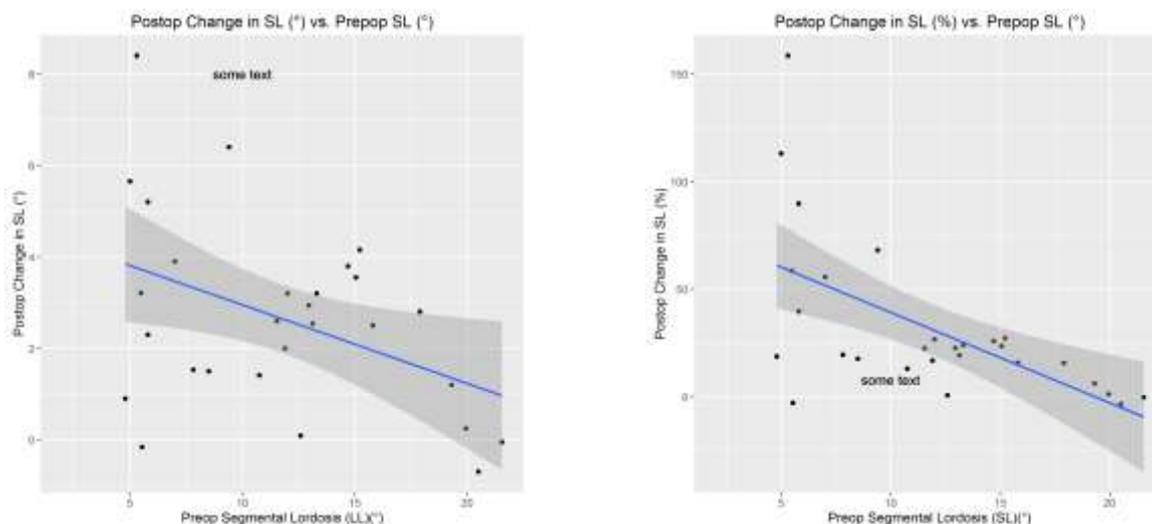
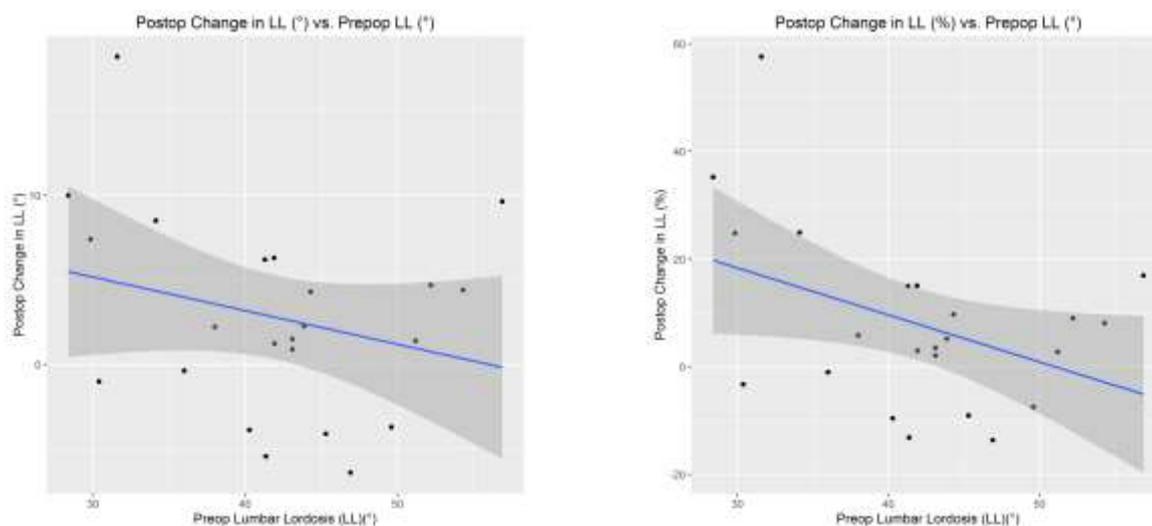


Рис. 1. Регрессионный анализ зависимости изменений SL в градусах (слева) и в процентах (справа) от величины предоперационного SL



*Рис. 2. Регрессионный анализ зависимости изменений LL в градусах (слева) и в процентах (справа) от величины предоперационного LL*

Уменьшение сегментарного и общего поясничного лордоза часто сопровождает течение дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника. Это проявление сагиттального дисбаланса обуславливает более выраженную нагрузку на мышечный корсет, что приводит к появлению или усилению болевого синдрома в спине, а также к сопутствующему прогрессированию дегенерации смежных сегментов. Нормальные показатели глобального поясничного лордоза индивидуальны, обычно определяются в пределах 40–60°. Восстановление необходимого поясничного лордоза и других параметров сагиттального баланса является неотъемлемой частью стабилизирующих операций, проведение этого этапа улучшает клинический результат хирургического вмешательства, уменьшает частоту развития синдрома смежного сегмента [24–26] и значительно улучшает удовлетворенность пациента проведенным лечением в целом [27, 28].

Yamasaki et al. при ретроспективном анализе результатов хирургического лечения пациентов с дегенеративными заболеваниями позвоночника методом TLIF в 43,3% случаев выявили рентгенологические признаки синдрома смежного сегмента, а также установили значимую корреляцию между нарушением параметров сагиттального баланса и развитием патологии смежного сегмента [25].

Для коррекции деформации позвоночника и гармонизации параметров сагиттального баланса используются разные виды вертебротомии, включая SPO, PSO, остеотомию Ponte (PO), угловую остеотомию (CO) и VCR в зависимости от типа и степени деформации. Операции типа PSO и VCR имеют большие возможности коррекции при выраженных деформациях позвоночника, однако они также являются высокотравматичными, имеют значительную длительность операции, сопровождаются большой кровопотерей и сопряжены

с высоким риском осложнений, в особенности с неврологическим дефицитом. При деформациях меньшей выраженности часто используют SPO, PO, CO, эти варианты вертебротомий характеризуются несколько меньшей вероятностью возникновения осложнений [29]. Осложнения после вертебротомии всех типов, по данным разных авторов, колеблются от 16,9% до 78%, а частота ревизионных вмешательств в течение первого года после такого типа операций составляет 20–33% случаев [30–32].

Есть мнение о возможности коррекции поясничного лордоза методиками минимально инвазивного OLIF и XLIF. Эти техники позволяют уменьшить хирургическую травматичность и объем кровопотери, к тому же являются эффективными при коррекции фронтальной деформации [27].

Choi et al. в своем исследовании изучали клинико-рентгенологические результаты минимально инвазивного TLIF у 22 пациентов с дегенеративной патологией поясничного отдела позвоночника на L5-S1 уровне. Было выявлено значимое увеличение показателей сегментарного и поясничного лордоза в сроках 6 и 12 месяцев после оперативного вмешательства. Так, значения сегментарного лордоза до оперативного вмешательства, сразу после операции, через 6 и 12 месяцев после хирургического лечения составили  $13,3 \pm 4,3^\circ$ ,  $16,5 \pm 4,9^\circ$ ,  $15,6 \pm 5,9^\circ$ ,  $15,5 \pm 4,4^\circ$  соответственно ( $p < 0,05$ ) [33].

Из представленного обзора три статьи посвящены клинико-рентгенологическим результатам минимально инвазивного TLIF у пациентов старше 65 лет. У больных пожилого и старческого возраста наиболее часто применяют минимально инвазивные технологии, учитывая более высокий риск интра- и послеоперационных осложнений у этой возрастной группы. Так, D.Y.Lee et al. в ретроспективном исследовании оценили клинико-рентгенологические результаты минимально инвазивного TLIF у 27 пациентов возрастом более 65 лет. По мнению авторов, был достигнут хороший клинический результат: сегментарный лордоз после операции значимо улучшился (с  $11,9^\circ$  на предоперационных снимках до  $13,9^\circ$  после операции,  $p = 0,024$ ), при этом изменение глобального поясничного лордоза было не значимым [34]. H.J. Lee et al. получили неоднозначные рентгенологические результаты хирургического лечения 38 пациентов пожилого и старческого возраста методикой минимально инвазивного TLIF: сегментарный лордоз на оперированном уровне значимо увеличился (с  $12,9 \pm 5,19^\circ$  по предоперационным данным до  $15,89 \pm 5,86^\circ$  сразу после операции,  $p < 0,05$ ), изменение глобального поясничного лордоза сразу после операции не было статистически значимым, однако в течение всего срока послеоперационного наблюдения до 3 лет отмечались значимое уменьшение сегментарного лордоза и увеличение поясничного лордоза [35]. Авторы объясняют это наблюдение малым количеством пациентов и разным сроком их наблюдения. Также и Lin et al. выявили увеличение

сегментарного и поясничного лордоза у пациентов старшей возрастной группы сразу после операции и их уменьшение в течение послеоперационного периода в сроках наблюдения, что говорит о потере коррекции в послеоперационном периоде [36].

Были изучены результаты выполнения минимально инвазивного TLIF на разных уровнях поясничного отдела позвоночника. Так, Lawton et al. сравнивали клинко-рентгенологические исходы хирургического лечения на уровнях L4-L5 и L5-S1 поясничного отдела позвоночника и не выявили различий в послеоперационных результатах [37].

Также в литературе широко обсуждается возможность коррекции сегментарного лордоза на поясничном отделе позвоночника за счет использования разных форм и типов межтеловых кейджей, их позиционирования в межпозвонковом промежутке. Wang et al. показали возможность значимого увеличения сегментарного лордоза (с  $5,48^\circ$  на предоперационных снимках до  $8,69^\circ$  на послеоперационном этапе,  $p < 0,001$ ) при установке межтелового имплантата поперечно в передние отделы межпозвонкового промежутка. Значение поясничного лордоза в отдаленном послеоперационном периоде в работе не оценивалось, потому невозможно определить, была ли потеря коррекции [38]. Nawasli et al. и Yee et al. изучали возможности коррекции параметров сагиттального баланса, в том числе сегментарного и поясничного лордоза, только за счет использования статических и расширяемых кейджей, установленных методикой минимально инвазивного TLIF. Так, было выявлено значимое увеличение сегментарного лордоза только за счет использования расширяемого кейджа [39–41]. Lindley et al. [42] отмечали значимое увеличение сегментарного лордоза при билатеральном TLIF с использованием управляемого кейжда. Альтернативой билатеральному TLIF является унилатеральный TLIF с двусторонней декомпрессией и установкой двух имплантатов. Это позволяет выполнить адекватную декомпрессию дурального мешка, избегая повреждения срединных структур и контрлатеральных параспинальных мышц, уменьшая ятрогенное воздействие на анатомические структуры позвоночника. По данным разных авторов, параметры сегментарного и поясничного лордоза при двусторонней декомпрессии из одностороннего доступа сопоставимы с параметрами при билатеральном доступе по Wiltse и при традиционном срединном доступе [43–45].

Частота послеоперационных осложнений после минимально инвазивного TLIF составляет 0,6–31,6% и после открытых вмешательств – 9,2–52% [46, 47], что не позволяет однозначно судить о преимуществах одного или другого метода. Одним из наиболее частых осложнений билатеральной декомпрессии из одностороннего доступа является повреждение твердой мозговой оболочки – по данным разных авторов, частота встречаемости данного осложнения достигает 12,9% случаев [48–40]. Wong et al. в ретроспективном анализе данных

513 пациентов, оперированных методом минимально инвазивного TLIF, в 15,6% случаев зафиксировали наличие осложнений. Также и при выполнении этой методики чаще прочих встречалось повреждение твердой мозговой оболочки – до 5,1% случаев. По данным тех же авторов, риск возникновения осложнений увеличивается при ревизионных и многоуровневых вмешательствах [47].

### **Заключение**

Учитывая обобщенные и систематизированные данные, можно заключить, что выполнение минимально инвазивного трансфораминального межтелового спондилодеза и транспедикулярной фиксации из парасагиттального доступа позволяет скорректировать показатели сегментарного и глобального поясничного лордоза в необходимом объеме. Однако в динамике послеоперационного наблюдения в ряде случаев отмечается потеря коррекции – уменьшение значения достигнутого сегментарного лордоза на поясничном отделе позвоночника. Величина достигаемого сегментарного и/или глобального поясничного лордоза обратно пропорциональна его предоперационной величине.

### **Список литературы**

1. Bin Abd Razak H. R., Dhoke P., Tay K. S., Yeo W., and Yue W. M. Single-level minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion provides sustained improvements in clinical and radiological outcomes up to 5 years postoperatively in patients with neurogenic symptoms secondary to spondylolisthesis. *Asian Spine J.* 2017. vol. 11, no. 2. P. 204–212.
2. De Kunder S. L., Rijkers K., Caelers I. J., De Bie R. A., Koehler P. J., and Van Santbrink H. Lumbar Interbody Fusion: A Historical Overview and a Future Perspective. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2018. vol. 43, no. 16. P. 1161–1168.
3. Harms J. and Rolinger H. Die Operative Behandlung Der Spondylolisthese Durch Dorsale Aufrichtung Und Ventrale Verblockung. *Z. Orthop. Ihre Grenzgeb.* 1982. vol. 120, no. 3. P. 343–347.
4. Wiltse L., Bateman J., Hutchinson R., and Nelson W. The Paraspinal Sacrospinalis-Splitting Approach to the Lumbar Spine. *J. Bone Jt. Surg. Am.* 1968. vol. 50, no. 5. P. 919–926.
5. Foley K. T., Holly L. T., and Schwender J. D. Minimally invasive lumbar fusion. *Spine (Phila Pa 1976).* 2003. vol. 1, no. 28. P. 26–35.
6. Ozgur B. M., Yoo K., Rodriguez G., and Taylor W. R. Minimally-invasive technique for transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF). *Eur. Spine J.* 2005. vol. 14, no. 9. P. 887–894.
7. Wang J., Zhou Y., and Feng Z. Comparison of one-level minimally invasive and open transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative and isthmic spondylolisthesis grades 1 and

2. *Eur Spine J.* 2010. no. 2. P. 1780–1784.
8. Adogwa O., Parker S. L., Bydon A., Cheng J., and McGirt M. J. Comparative Effectiveness of Minimally Invasive Versus Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: 2-year Assessment of Narcotic Use, Return to Work, Disability, and Quality of Life. *J. Spinal Disord Tech.* 2011. vol. 24, no. 8. P. 479–84.
9. Min S. H. and Yoo J. S. The clinical and radiological outcomes of multilevel minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Eur. Spine J.* 2013. vol. 22, no. 5. P. 1164–1172.
10. Kulkarni A., Bohra H., Dhruv A., Sarraf A., Bassi A., and Patil V. Minimal Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Versus Open Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *Indian J. Orthop.* 2016. vol. 50, no. 5. P. 464–472.
11. Lucio J. C., van Conia R. B., de Luzio K. J., Lehmen J. A., Rodgers J. A., and Rodgers W. B. Economics of less invasive spinal surgery: An analysis of hospital cost differences between open and minimally invasive instrumented spinal fusion procedures during the perioperative period. *Risk Manag. Healthc. Policy.* 2012. vol. 5. P. 65–74.
12. Khechen B., Haws B.E., Patel D.V., Yoo J.S., Guntin J.A., Cardinal K.L. Static Versus Expandable Devices Provide Similar Clinical Outcomes Following Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion. *HSS J.* 2020. vol. 16, no. 1. P. 46–53.
13. Massie L. W., Zakaria H. M., Schultz L. R., Basheer A., Buraimoh M. A., and Chang V. Assessment of radiographic and clinical outcomes of an articulating expandable interbody cage in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion for spondylolisthesis. *Neurosurg. Focus.* 2018. vol. 44. no. 1. P. 1–9.
14. Garg B. and Mehta N. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion (MI-TLIF): A review of indications, technique, results and complications. *J. Clin. Orthop. Trauma.* 2019. vol. 10. P. S156–S162.
15. Hammad A., Wirries A., Ardeshiri A., Nikiforov O., and Geiger F. Open versus minimally invasive TLIF: Literature review and meta-analysis. *J. Orthop. Surg. Res.* 2019. vol. 14, no. 1. P. 1–21.
16. Silva P. S., Pereira P., Monteiro P., Silva P. A., and R. Vaz. Learning curve and complications of minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Neurosurg. Focus.* 2013. vol. 35, no. 2. P. 2–7.
17. Li Y. B., Wang X. D., Yan H. W., Hao D. J., and Liu Z. H. The Long-term Clinical Effect of Minimal-Invasive TLIF Technique in 1-Segment Lumbar Disease. *Clin. Spine Surg.* 2017. vol. 30, no. 6. P. E713–E719.
18. Wong A. P., Smith Z.A., Stadler J.A., Hu X.Y., Yan J.Z., Li X.F., Lee J.H., Khoo L.T. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion (MI-TLIF): Surgical Technique,

Long-Term 4-year Prospective Outcomes, and Complications Compared With an Open TLIF Cohort. *Neurosurg. Clin. NA.* 2014. vol. 25, no. 2. P. 279–304.

19. Kim M. C., Chung H. T., Kim D. J., Kim S. H., and Jeon S. H. The clinical and radiological outcomes of minimally invasive transforaminal lumbar interbody single level fusion. *Asian Spine J.* 2011. vol. 5, no. 2. P. 111–116.

20. Giorgi H., Prebet R., Delhaye M., Aurouer N., Manqione P., Blondel B., Tropiano P. Minimally invasive posterior transforaminal lumbar interbody fusion: One-year postoperative morbidity, clinical and radiological results of a prospective multicenter study of 182 cases. *Orthop. Traumatol. Surg. Res.* 2015. vol. 101, no. 6. P. S241–S245.

21. Kim C. W. Scientific basis of minimally invasive spine surgery: Prevention of multifidus muscle injury during posterior lumbar surgery. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2010. vol. 35, no. SUPPL. 26S. P. 281–286.

22. Su K., Luan J., Wang Q., Yang Y., Mei W., and Zhang Z. Radiographic Analysis of Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion versus Conventional Open Surgery on Sagittal Lumbar-Pelvic Alignment for Degenerative Spondylolisthesis. *World Neurosurg.* 2019. vol. 124. P. e733–e739.

23. Uribe J. S., Myhre S. L., and Youssef J. A. Preservation or Restoration of Segmental and Regional Spinal Lordosis Using Minimally Invasive Interbody Fusion Techniques in Degenerative Lumbar Conditions. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2016. vol. 41, no. 8. P. s50–s55.

24. Kim K. H., Lee S.H., Shim C.S., Lee D.Y., Park H.S., Pan W.J. Adjacent segment disease after interbody fusion and pedicle screw fixations for isolated L4-L5 Spondylolisthesis: A minimum five-year follow-up. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2010. vol. 35, no. 6. P. 625–634.

25. Yamasaki K., Hoshino M., Omori K., Igarashi H., Nemoto Y., Tsuruta T., Matsumoto K., Risk factors of adjacent segment disease after transforaminal inter-body fusion for degenerative lumbar disease. *Spine (Phila. Pa. 1976).* 2017. vol. 42, no. 2. P. E86–E92.

26. Pereira C., Santos Silva P., Cunha M., Vaz R., and Pereira P., “How Does Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion Influence Lumbar Radiologic Parameters. *World Neurosurg.* 2018. vol. 116. P. e895–e902.

27. Hara M., Nishimura Y., Nakajima Y., Umebayashi D., Takemoto M., Transforaminal lumbar interbody fusion for lumbar degenerative disorders: Mini-open TLIF and corrective TLIF. *Neurol. Med. Chir. (Tokyo).* 2015. vol. 55, no. 7. P. 547–556.

28. Kepler C. K., Rihn J.A., Radcliff K.E., Patel A.A., Anderson D.G. Vaccaro A.R., Hilibrand A.S., Albert T.J. Restoration of lordosis and disk height after single-level transforaminal lumbar interbody fusion. *Orthop. Surg.* 2012. vol. 4, no. 1. P. 15–20.

29. Berjano P., Pejrona M., Damilano M., Cecchinato R., Aguirre M. F. I., and Lamartina C.

Corner osteotomy: a modified pedicle subtraction osteotomy for increased sagittal correction in the lumbar spine. *Eur. Spine J.* 2014. vol. 24, no. 1. P. 58–65.

30. Barrey C., Perrin G., Michel F., Vital J. M., and Obeid I. Pedicle subtraction osteotomy in the lumbar spine: Indications, technical aspects, results and complications. *Eur. J. Orthop. Surg. Traumatol.* 2014. vol. 24, no. SUPPL.1. P. 21-30.

31. Eskilsson K., Sharma D., Johansson C., and Hedlund R. Pedicle subtraction osteotomy: A comprehensive analysis in 104 patients. Does the cause of deformity influence the outcome?. *J. Neurosurg. Spine.* 2017. vol. 27, no. 1. P. 56–62.

32. La Maida G. A., Luceri F., Gallozzi F., Ferraro M., and Bernardo M. Complication rate in adult deformity surgical treatment: safety of the posterior osteotomies. *Eur. Spine J.* 2015. vol. 24. P. 879–886.

33. Choi W. S., Kim J. S., Ryu K. S., Hur J. W., and Seong J. H. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion at L5-S1 through a Unilateral Approach: Technical Feasibility and Outcomes. *Biomed Res. Int.*, 2016. DOI: 10.1155/2016/2518394.

34. Lee D. Y., Jung T. G., and Lee S. H. Single-level instrumented mini-open transforaminal lumbar interbody fusion in elderly patients. *J. Neurosurg. Spine.* 2008. vol. 9, no. 2. P. 137–144.

35. Lee H. J., Kim J. S., Ryu K. S. Minimally Invasive TLIF Using Unilateral Approach and Single Cage at Single Level in Patients over 65. *Biomed Res. Int.*, 2016. DOI: 10.1155/2016/4679865.

36. Lin G. X., Quillo-Olvera J., Jo H.J., Lee H.J. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: A Comparison Study Based on End Plate Subsidence and Cystic Change in Individuals Older and Younger than 65 Years. *World Neurosurg.* 2017. vol. 106. P. 174–184.

37. Lawton C. D., Smith Z.A., Nixon A.T., Dahdaleh N.S. The effect of surgical level on self-reported clinical outcomes after minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: L4-L5 versus L5-S1. *World Neurosurg.* 2014. vol. 81, no. 1. P. 177–182.

38. Wang S. J., Han Y. C., Pan F. M., Ma B., and Tan J. Single transverse-orientation cage via MIS-TLIF approach for the treatment of degenerative lumbar disease: A technical note. *Int. J. Clin. Exp. Med.* 2015. vol. 8. P. 14154–14160.

39. Hawasli A. H., Khalifeh J. M., Chatrath A., Yarbrough C. K., and Ray W. Z. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with expandable versus static interbody devices: Radiographic assessment of sagittal segmental and pelvic parameters. *Neurosurg. Focus.* 2017. vol. 43, no. 2. P. 1–9.

40. Yee T. J., Joseph J. R., Terman S. W., and Park P. Expandable vs Static Cages in Transforaminal Lumbar Interbody Fusion: Radiographic Comparison of Segmental and Lumbar Sagittal Angles. *Neurosurgery.* 2017. vol. 81, no. 1. P. 69–74.

41. McMordie J. H., Schmidt K. P., Gard A. P., and Gillis C. C. Clinical and Short-Term Radiographic Outcomes of Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion with Expandable Lordotic Devices. *Clin. Neurosurg.* 2020. vol. 86, no. 2. P. E147–E155.
42. Lindley T. E., Viljoen S. V., and Dahdaleh N. S. Effect of steerable cage placement during minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion on lumbar lordosis. *J. Clin. Neurosci.* 2014. vol. 21, no. 3. P. 441–444.
43. Lee W. C., Park J.Y., Kim K.H. Kuh S.U., Chin D.K., Kim K.S., Cho Y.E. Minimally Invasive Transforaminal Lumbar Interbody Fusion in Multilevel: Comparison with Conventional Transforaminal Interbody Fusion. *World Neurosurg.* 2016. vol. 85. P. 236–243.
44. Cheng X., Zhang K., Sun X., Zhao C., Li H., Ni B., Zhao J. Clinical and radiographic outcomes of bilateral decompression via a unilateral approach with transforaminal lumbar interbody fusion for degenerative lumbar spondylolisthesis with stenosis. *Spine J.* 2017. vol. 17, no. 8. P. 1127–1133.
45. Gu G., Zhang H., Fan G., He S., Menq X., Gu X., Yan N., Guan X. Clinical and radiological outcomes of unilateral versus bilateral instrumentation in two-level degenerative lumbar diseases. *Eur. Spine J.* 2015. vol. 24, no. 8. P. 1640–1648.
46. Vazan M., Gempt J., Meyer B., Buchmann N., and Ryang Y. M. Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion versus open transforaminal lumbar interbody fusion: a technical description and review of the literature. *Acta Neurochir. (Wien).* 2017. vol. 159, no. 6. P. 1137–1146.
47. Wong A. P. Smith Z.A., Nixon A.T., Lawton C.D., Dahdaleh N.S., Wong R.H., Auffinger B., Lam S., Song J.K., Liu J.C., Koski T.R., Fessler R.G. Intraoperative and perioperative complications in minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion: A review of 513 patients. *J. Neurosurg. Spine.* 2015. vol. 22, no. 5. P. 487–495.
48. Brodano G. B., Martikos K., Lolli F., Gasbarrini A., Cioni A. Transforaminal lumbar interbody fusion in degenerative disk disease and spondylolisthesis grade I: Minimally invasive versus open surgery. *J. Spinal Disord. Tech.* 2015. vol. 28, no. 10. P. E559–E564.
49. Lin J. H. and Chiang Y. H. Unilateral approach for bilateral foramen decompression in minimally invasive transforaminal interbody fusion. *World Neurosurg.* 2014. vol. 82, no. 5. P. 891–896.
50. Lee K. H., Yue W. M., Yeo W., Soeharno H., and Tan S. B. Clinical and radiological outcomes of open versus minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion. *Eur. Spine J.* 2012. vol. 21, no. 11. P. 2265–2270.