

РЕЗУЛЬТАТЫ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ПАЦИЕНТОВ С МНОГОУРОВНЕВЫМИ ДЕГЕНЕРАТИВНЫМИ ЗАБОЛЕВАНИЯМИ ПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ МЕТОДИК МИНИМАЛЬНО ИНВАЗИВНОГО И ОТКРЫТОГО ТРАНСФОРАМИНАЛЬНОГО МЕЖТЕЛОВОГО СПОНДИЛОДЕЗА

Бывальцев В.А.^{1,2,3,4}, Калинин А.А.^{1,2}, Шепелев В.В.¹, Пестряков Ю.Я.¹

¹ФГБОУ ВО «Иркутский государственный медицинский университет Минздрава России», Иркутск, e-mail: byval75vadim@yandex.ru;

²НУЗ «Дорожная клиническая больница на ст. Иркутск-Пассажирский» ОАО «РЖД», Иркутск;

³ФГБНУ «Иркутский научный центр хирургии и травматологии», Иркутск;

⁴ГБОУ ДПО «Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования», Иркутск

Цель исследования: провести сравнительный анализ результатов хирургического лечения пациентов с многоуровневыми дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника при использовании методик минимально инвазивного и открытого трансфораминального межтелового спондилодеза. В проспективное нерандомизированное исследование включены 127 пациентов, оперированных в период с января 2014 г. по декабрь 2017 г. Выделено 2 группы пациентов: в первой (Open-TLIF, n=59) проводились поэтапный двухуровневый трансфораминальный межтеловой спондилодез, открытая транспедикулярная стабилизация из срединного доступа; во второй (MIS-TLIF, n=68) осуществлялся параспинальный доступ с последовательной установкой тубулярного ретрактора на смежных сегментах для трансфораминальной имплантации межтеловых кейджей и симультанной транспедикулярной стабилизацией. Оценивались клинические результаты и инструментальные данные. При сравнении результатов в группе MIS-TLIF выявлены значимо лучшие показатели отдаленных клинических параметров выраженности болевых ощущений в поясничном отделе позвоночника ($p<0,001$) и функционального статуса по ODI ($p<0,001$). Количество периоперационных осложнений в группе Open-TLIF составило 28,8%, в группе MIS-TLIF — 7,3% ($p=0,004$). Оценка площади многораздельной мышцы по MPT до операции и в среднем через 24 месяца установила мышечную атрофию более 50% в группе Open-TLIF и не более 15% в группе MIS-TLIF ($p<0,001$). Минимально инвазивный трансфораминальный поясничный межтеловой спондилодез при контрлатеральном расположении патологического процесса позволяет значительно снизить повреждение многораздельной мышцы и риски развития неблагоприятных периоперационных последствий, а также значимо улучшить отдаленные клинические результаты пациентов в сравнении с двухуровневой ригидной стабилизацией, выполненной из срединного доступа.

Ключевые слова: поясничный отдел позвоночника, дегенеративные заболевания, задняя ригидная стабилизация, открытый трансфораминальный поясничный спондилодез, минимально инвазивные хирургические технологии

RESULTS OF SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH MULTILEVEL DEGENERATIVE DISEASES OF THE REMOVAL OF THE LUMBAR SPINE BY USING MINIMAL-INVASIVE AND OPEN TRANSFORAMINAL INTERBODY FUSION

Byvaltsev V.A.^{1,2,3,4}, Kalinin A.A.^{1,2}, Shepelev V.V.¹, Pestryakov Y.Y.¹

¹FSBIHE «Irkutsk state medical university of the ministry of public health of the Russian Federation», Irkutsk, e-mail: byval75vadim@yandex.ru;

²NHF «Road clinical hospital, Irkutsk-Passenger station» of JSC Russian Railways, Irkutsk;

³FSBRI «Irkutsk Research Center Surgery and Traumatology», Irkutsk;

⁴SBIAGE «Irkutsk state medical academy of postgraduate education», Irkutsk

To conduct a comparative analysis of the results of surgical treatment of patients with multilevel degenerative diseases of the lumbar spine using methods of minimally invasive and open transforaminal interbody fusion. The prospective non-randomized study included 127 patients operated on from January 2014 to December 2017. Two groups of patients were identified: in the first (Open-TLIF, n=59), a phased two-level transforaminal interbody fusion, open transpedicular stabilization from the middle access was performed; in the second (MIS-TLIF, n=68), paraspinous approach was performed with sequential installation of a tubular retractor on adjacent segments for transforaminal implantation of interbody cages and simultaneous transpedicular stabilization. Perioperative parameters, clinical results and instrumental data were evaluated. Comparison of the results in the

MIS-TLIF group revealed significantly better indicators of the remote clinical parameters of severity of pain in the lumbar spine ($p<0,001$) and functional status in ODI ($p<0,001$). The number of perioperative complications in the Open-TLIF group was 28,8%, in the MIS-TLIF group – 7,3% ($p=0,004$). An estimate of the area of the multifidus muscle on MRI of the lumbar spine before surgery and on average after 24 months established muscle atrophy of more than 50% in the Open-TLIF group and no more than 15% in the MIS-TLIF group ($p<0,001$). Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion with the contralateral location of the pathological process can significantly reduce damage to the multifidus muscle and the risks of adverse perioperative effects, as well as significantly improve the long-term clinical results of patients compared to the two-level rigid stabilization performed from the midline approach.

Keywords: lumbar spine, degenerative diseases, posterior rigid stabilization, open transforaminal lumbar spinal fusion, minimally invasive surgical technologies

Ригидный спондилодез является одним из частых вариантов хирургического лечения дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника, несмотря на высокие риски развития дегенерации смежных сегментов, значимое повреждение паравертебральных тканей, формирование хронического болевого синдрома в нижней части спины вторичного (некомпрессионного) происхождения и развитие псевдоартроза [1].

Установлено, что дорзальные декомпрессивно-стабилизирующие вмешательства способствуют отеку и жировому перерождению мышечной ткани, ее истончению и атрофии, что подтверждается по данным магнитно-резонансной томографии (МРТ) [2]. Учитывая существенное ограничение информативности при проведении МРТ в послеоперационном периоде за счет ферромагнитного эффекта установленных металлоконструкций, расчет площади поперечного сечения мышцы по сравнению с мультиспиральной компьютерной томографией является более достоверным [3]. Считается, что поясничная многораздельная мышца (*m. multifidus lumborum*) является основой стабильности поясничного отдела позвоночника, имеет наибольший поперечный размер и ближайшее расположение к задним структурам позвоночника [2]. Указанная мышца наиболее уязвима к повреждению при дорзальной хирургии, так как иннервируется только медиальной ветвью дорзальной части спинномозгового нерва одноименной стороны. Поэтому выполнение классического срединного доступа, помимо прямого повреждения многораздельной мышцы, сопровождается ее денервацией и протяженной селективной атрофией с уменьшением общей площади поперечного сечения [4].

Ряд исследований подтвердил преимущество минимально инвазивных параспинальных доступов перед срединными в виде меньшей тракции мягких тканей и сохранения иннервации паравертебральных мышц [2, 5]. Remes V. с соавт. [6] отметили схожие атрофические изменения паравертебральной мускулатуры после проведения передних, заднебоковых и задних декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств за счет изменения двигательной активности пациентов после операции. Сравнения вышеуказанных параметров при выполнении многоуровневых хирургических вмешательств у пациентов с дегенеративными заболеваниями в специализированной литературе отсутствуют.

Целью исследования явилось проведение сравнительного анализа результатов хирургического лечения пациентов с многоуровневыми дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника при использовании методик минимально инвазивного и открытого трансфораминального межтелового спондилодеза.

Материалы и методы исследования

В проспективное нерандомизированное когортное одноцентровое исследование включены 127 пациентов с симптоматичными многоуровневыми дегенеративными заболеваниями поясничного отдела позвоночника (2 смежных позвоночно-двигательных сегмента) и контрлатеральным расположением патологического процесса, которым проведены декомпрессивно-стабилизирующие хирургические вмешательства в период с января 2014 г. по декабрь 2017 г. Исследование одобрено этическим комитетом Иркутского ГМУ (протокол № 3 от 18.12.2013 г.). Для части пациентов, включенных в исследование, минимальный период наблюдения составил 12 месяцев, а максимальный – 58 месяцев. Средний послеоперационный катамнез (медиана) составил 24 месяца для пациентов обеих групп.

В зависимости от способа хирургического вмешательства выделено 2 группы пациентов: в I (Open-TLIF, n=59) проводились реконструкция позвоночного канала, дискэктомия, поэтапный трансфораминальный межтеловой спондилодез, открытая транспедикулярная стабилизация из срединного доступа с двухсторонним скелетированием паравертебральных тканей. Во второй группе (MIS-TLIF, n=68) осуществлялся параспинальный доступ на расстоянии 2,5–3,0 см от срединной линии с последовательной установкой тубулярного ретрактора на смежных сегментах для реконструкции позвоночного канала, дискэктомии, трансфораминальной имплантации межтеловых кейджей, симультанной транспедикулярной стабилизации.

Клинические параметры изучались по уровню болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника на основании визуально-аналоговой шкалы (ВАШ) и функционального статуса по индексу Освестри (ODI) до операции, при выписке, через 12 и 24 месяца после операции.

Нейровизуализационные данные получены с помощью аппарата МРТ Siemens Magnetom Essenza 1,5 Т. Для определения границ и вычисления площади многораздельной мышцы использовали аксиальные МРТ-граммы в T2-режиме ВИ с помощью программного обеспечения MultiVox DICOM Viewer двумя рентгенологами, которые были ослеплены в отношении типа проведенной операции. В ручном режиме осуществлялись выделение *m. multifidus lumborum* по ее анатомическим ориентирам, подсчет площади поперечного сечения мышцы проводился программой автоматически внутри выделенной области (рис. 1

а, б, в). Итоговые изменения (разница показателей до и после операции) подсчитывались как суммарные значения с правой и левой сторон одноименного уровня.

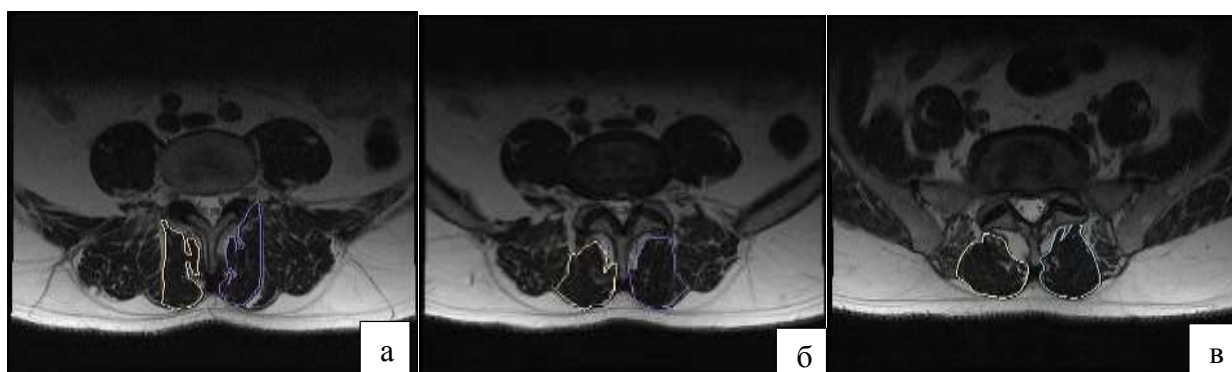


Рис. 1. Сагиттальные МРТ-граммы поясничного отдела позвоночника, светлым цветом выделена правая многораздельная мышца, темным цветом выделена левая многораздельная мышца на уровне: а – LIII-LIV, б – LIV-LV, в – LV-SI

Статистическая обработка результатов исследования проведена на персональном компьютере с использованием программы Statistica 8,0. Использованы критерии непараметрической статистики: Манна–Уитни (M-U) для межгруппового сравнения, критерий Вилкоксона (W) для зависимых выборок, хи-квадрат Пирсона (χ^2) для бинаминальных признаков, в качестве нижней границы достоверности принят уровень $p < 0,05$. Полученные результаты представлены медианой, значениями 1-го и 3-го квартилей – Me (Q₂₅;Q₇₅).

Результаты исследования и их обсуждение

Результаты

Общие сведения о пациентах исследуемых групп представлены в таблице 1. Установлено, что анализируемые группы по полу, возрасту, конституциональным особенностям и дооперационным клиническим данным были сопоставимыми.

Таблица 1

Исходные данные о пациентах исследуемых групп

Критерии	Группа I (n=59)	Группа II (n=68)	p
Возраст (лет), Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)	43 (35;56)	45 (34;57)	0,35
Пол [(муж/ жен), % муж]	39/20 (66,1)	47/21 (69,1)	0,23
ИМТ (кг/м ²)	25,7 (23,9;27,1)	25,3 (23,5;27,4)	0,78
ВАШ поясничный отдел, мм, Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)	81 (71;88)	83 (73;89)	0,47
ODI, %, Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)	82 (70;86)	84 (68;90)	0,19

Примечание: ИМТ – индекс массы тела; p – уровень статистической значимости; ВАШ – визуально-аналоговая шкала боли; ODI – функциональный статус Освестри

В обеих группах отмечено значимое снижение уровня болевого синдрома ($p_w < 0,001$). При анализе изменения выраженности болевого синдрома в поясничном отделе в динамике

зарегистрированы значительно меньшие показатели по ВАШ во II группе ($p_{M-U} < 0,001$), что обусловлено снижением ятрогенного повреждения паравертебральных тканей при доступе и выполнении всех этапов декомпрессивно-стабилизирующего вмешательства (рис. 2).

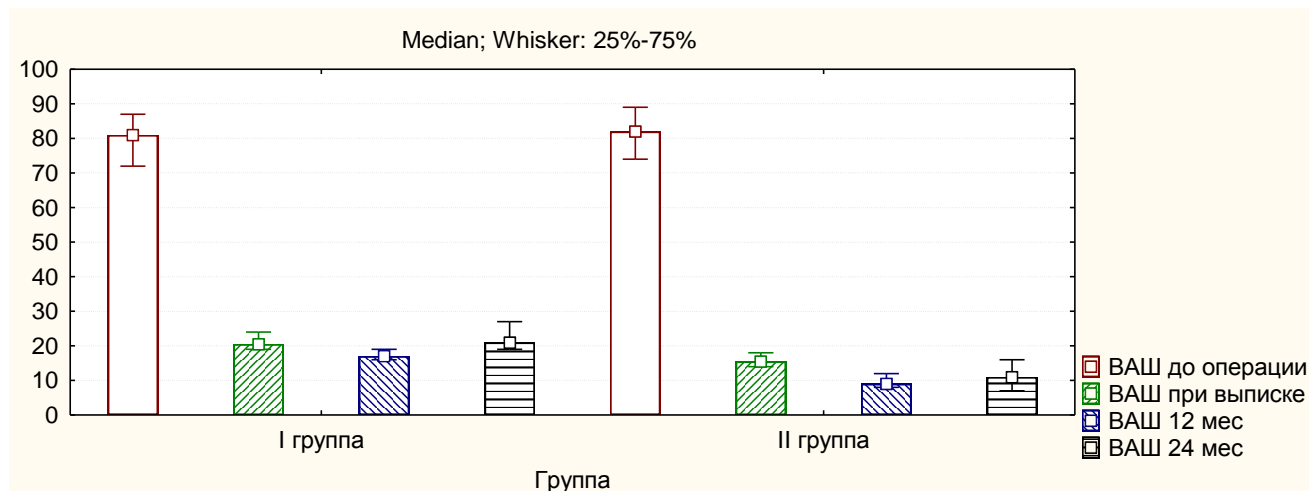


Рис. 2. Изменение уровня болевого синдрома по ВАШ (0–100 мм) в поясничном отделе позвоночника в группах исследуемых пациентов

У всех исследуемых пациентов зарегистрировано улучшение функциональной активности ($p_w < 0,001$). При сравнении функционального статуса по ODI при выписке, через 12 и 24 месяцев верифицированы значимо лучшие показатели во II группе ($p_{M-U} < 0,001$), что связано с сохранением функционального состояния паравертебральных мышц и двигательной активности пациентов (рис. 3).

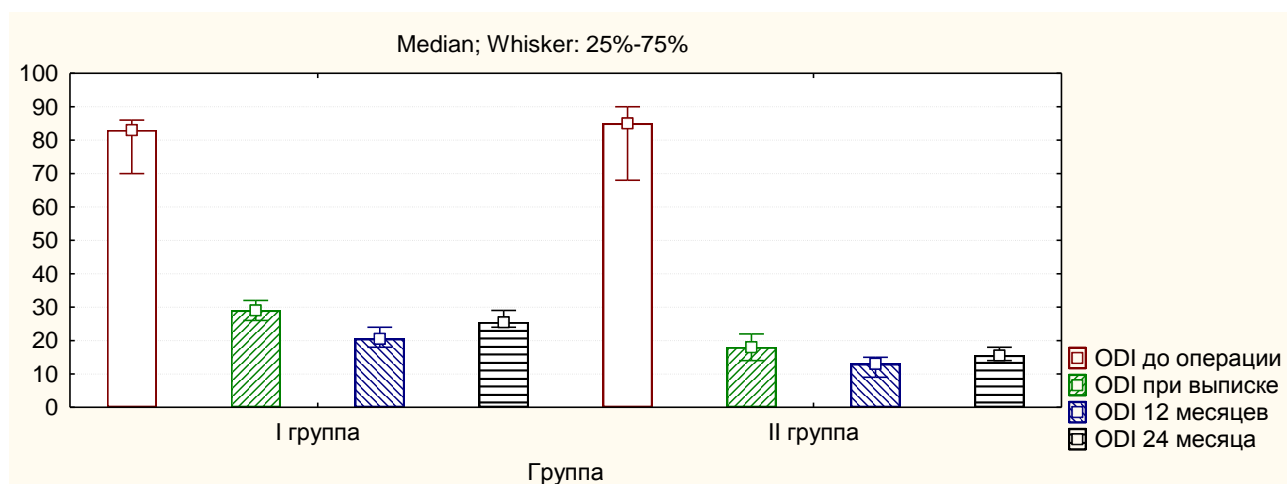


Рис. 3. Изменение уровня функционального статуса по ODI (0—100 %) в исследуемых группах пациентов

В ходе исследования в обеих группах не обнаружено неблагоприятных последствий, связанных с непосредственной установкой стабилизирующих конструкций. При сравнительном анализе количества послеоперационных осложнений выявлено их

статистически значимо большее число в группе I ($p_{M-U}=0,004$): после Open-TLIF отмечено 17 (28,8%) осложнений – повреждение твердой мозговой оболочки, инфекция области хирургического вмешательства, клинически значимая дегенерация на смежном с операцией уровне, формирование псевдоартроза, развитие послеоперационного болевого синдрома, связанного с грубыми рубцово-спаечными изменениями; после MIS-TLIF 5 (7,3%) – повреждение твердой мозговой оболочки, клинически значимая дегенерация на смежном с операцией уровне, формирование псевдоартроза.

Полученные характеристики изменения состояния многораздельной мышцы на оперированных и смежном уровнях представлены в таблице 2. При сравнительной оценке площади многораздельной мышцы по МРТ поясничного отдела позвоночника до операции и в отдаленном послеоперационном периоде (в среднем через 24 месяца) отмечена статистически значимая мышечная атрофия в I группе пациентов (в среднем более 50%) по сравнению со II группой (не более 15 %) ($p_{M-U}<0,001$).

Таблица 2

Изменения многораздельной мышцы у пациентов исследуемых групп

Площадь мышц, см ² Me (Q ₂₅ ;Q ₇₅)	Группа I (n=59)			Группа II (n=68)		
	До операции	Отдаленный период	Изменения %	До операции	Отдаленный период	Изменения %
Нижележащий уровень операции	6,2 (5,3;7,1)	3,0 (2,2;3,8)*	51,6 %	7,3 (6,4;7,9)	6,3 (6,1;7,2)*	13,7 %
Вышележащий уровень операции	6,7 (5,6;7,4)	2,9 (1,8;3,3)*	56,7 %	7,1 (6,7;7,8)	6,2 (6,0;7,0)*	12,7 %
Смежный с операцией уровень	6,9 (5,8; 7,3)	5,8 (5,1;6,2)*	15,9 %	7,2 (6,6;7,9)	7,0 (6,3;7,8)*	2,8 %

Примечание: * – показаны значения, имеющие статистически значимые различия

Обсуждение

Минимально инвазивная хирургия позвоночника является ведущим направлением в спинальной хирургии и разработана для оптимизации клинических и рентгенологических исходов путем снижения ятрогенной агрессии в отношении кожного покрова, паравертебральных мягких тканей и костных структур [6, 7].

Традиционный срединный доступ с двухсторонним скелетированием паравертебральных мышц сопровождается атрофией и грубым повреждением многораздельной мышцы, которая обеспечивает динамическое равновесие в пояснично-крестцовой области и поддерживает физиологический позвоночно-тазовый баланс [8, 9].

Установлено, что длительное сдавление многораздельной мышцы приводит к

внутрикостному повреждению иннервирующей ветви спинального нерва и ишемическому некрозу мышечной ткани [10]. Kim K. с соавт. [11] показали, что ограничение скелетирования мышц от остистых отростков также снижает их атрофию. Waschke A. с соавт. [12] при исследовании 30 пациентов (13 мужчин и 17 женщин) после одноуровневого ригидного спондилодеза из срединного доступа по методике PLIF через 12 месяцев после операции отметили значимое снижение электромиографической моторной активности ($p=0,001$) и уменьшение объема паравертебральных мышц на 60,4–67,8%.

Ряд исследователей подтвердили большую мышечную атрофию и жировую дегенерацию одноуровневого открытого PLIF в отличие от MIS-TLIF. Так, остаточный объем многораздельной мышцы в отдаленном послеоперационном периоде составил 58,1–63,2% и 87,8–91,4% соответственно [2, 13].

Показано, что меньшая хирургическая агрессия способствует лучшему клиническому исходу операции [13, 14]. Fan S. с соавт. [15] установили через 1 год лучшие клинические параметры после выполнения MIS-PLIF по сравнению с Open-PLIF. При этом Putzier M. с соавт. [16] не выявили статистически значимых различий в клинических исходах по VAS и ODI между открытой PLIF и MIS-TLIF, аналогичные результаты получены Hung C. с соавт. [17].

Несмотря на меньшую тракцию паравертебральных тканей и риски развития повреждения невралных структур по сравнению с Open-PLIF, методика Open-TLIF также сопряжена со значимой денервацией многораздельной мышцы и ее послеоперационной атрофией [3]. В связи с этим разработка параспинального доступа и применение транскутанной транспедикулярной стабилизации являются технологиями, направленными на снижение ятрогенной хирургической травматизации тканей [1, 4].

Так, Li Y. с соавт. [18] при сравнении односегментарной Open-TLIF и MIS-TLIF установили лучшие показатели снижения уровня болевого синдрома, восстановления качества жизни и меньшую атрофию паравертебральных мышц при использовании минимально инвазивных технологий в среднем катамнезе $54,4 \pm 5,9$ месяца.

Тем не менее в настоящее время остается открытым вопрос о влиянии вида оперативного вмешательства на мышечную атрофию. Min S. с соавт. [19] и Wang H. с соавт. [20] свидетельствуют о сопоставимом уровне атрофии паравертебральных мышц через 1 год после операции вне зависимости от вида дорзальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств. А экспериментальное исследование Kim Y. с соавт. [21] указывает на вероятное влияние на атрофию многораздельной мышцы именно самой ригидной стабилизации за счет изменения мышечной активности и ее приспособления к ятрогенной стабильности позвоночных сегментов. Кроме того, выяснено, что исходная мышечная

атрофия, подтвержденная нейровизуализационными данными, значимо влияет на выраженность болевого синдрома в поясничном отделе и функциональную активность пациентов [21, 22].

Кроме этого, информации о сравнении клинической эффективности и степени повреждения паравертебральных тканей при использовании полисегментарных минимально инвазивных и открытых методик трансфораминального поясничного межтелового спондилодеза с транспедикулярной стабилизацией в специализированной литературе не выявлено.

В проведенном исследовании во всех случаях отмечены значимый регресс дооперационного болевого синдрома и восстановление качества жизни в катамнезе. При этом выяснено, что выполнение многоуровневого MIS-TLIF позволило добиться лучших клинических исходов и меньшей атрофии многораздельной мышцы в среднем через 24 месяца после операции по сравнению с методикой Open-TLIF.

Заключение. Минимально инвазивный трансфораминальный поясничный межтеловый спондилодез при контрлатеральном расположении патологического процесса позволяет значительно снизить повреждение многораздельной мышцы с сохранением ее площади, сократить риски развития неблагоприятных периоперационных последствий, а также значимо снизить уровень болевого синдрома в поясничном отделе позвоночника и улучшить функциональный статус в отдаленном послеоперационном периоде в сравнении с двухуровневой ригидной стабилизацией, выполненной из срединного доступа.

Список литературы

1. Бывальцев В.А., Калинин А.А. Возможности применения минимально инвазивных дорсальных декомпрессивно-стабилизирующих вмешательств у пациентов с избыточной массой тела и ожирением // Вопросы нейрохирургии им. Н.Н. Бурденко. 2018. № 5. С. 69-80.
2. Tandon R., Kiyawat V., Kumar N. Clinical Correlation between Muscle Damage and Oswestry Disability Index Score after Open Lumbar Surgery: Does Open Surgery Reduces Functional Ability? *Asian Spine J.* 2018. Vol. 12. no 3. P. 518-523. DOI: 10.4184/asj.2018.12.3.518.
3. Kalichman L., Carmeli E., Been E. The Association between Imaging Parameters of the Paraspinal Muscles, Spinal Degeneration, and Low Back Pain. *Biomed Res Int.* 2017. Vol. 2017. P. 2562957. DOI: 10.1155/2017/2562957.
4. Zotti M.G.T., Boas F.V., Clifton T., Piche M., Yoon W.W., Freeman B.J.C. Does pre-operative magnetic resonance imaging of the lumbar multifidus muscle predict clinical outcomes

following lumbar spinal decompression for symptomatic spinal stenosis? *Eur Spine J.* 2017. Vol. 26. no 10. P. 2589-2597. DOI: 10.1007/s00586-017-4986-x.

5. Kim K., Isu T., Sugawara A., Matsumoto R., Isobe M. Comparison of the effect of 3 different approaches to the lumbar spinal canal on postoperative paraspinal muscle damage. *Surg Neurol.* 2008. Vol. 69. P. 109-113. DOI: 10.1016/j.surneu.2007.04.021.

6. Remes V., Lamberg T., Tervahartiala P., Helenius I., Schlenzka D., Yrjönen T., Osterman K., Seitsalo S., Poussa M. Long-term outcome after posterolateral, anterior, and circumferential fusion for high-grade isthmic spondylolisthesis in children and adolescents: magnetic resonance imaging findings after average of 17-year follow-up. *Spine.* 2006. Vol. 31. no 21. P. 2491-2499. DOI: 10.1097/01.brs.0000239218.38489.db.

7. Бывальцев В.А., Калинин А.А., Голобородько В.Ю. Оптимизация хирургической помощи и анестезиологического пособия при лечении многоуровневых дегенеративных заболеваний поясничного отдела позвоночника у пациентов с избыточной массой тела и ожирением // *Вестник Российской академии медицинских наук.* 2018. Т. 73. № 6. С. 401-410.

8. Xie Q., Zhang J., Lu F., Wu H., Chen Z., Jian F. Minimally invasive versus open Transforaminal lumbar Interbody fusion in obese patients: a meta-analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2018. Vol. 19. no 1. P. 15. DOI: 10.1186/s12891-018-1937-6.

9. Lee J.H., Lee S.H. Does lumbar paraspinal muscles improve after corrective fusion surgery in degenerative flat back? *Indian J. Orthop.* 2017. Vol. 51 (2). P. 147-154. DOI: 10.4103/0019-5413.201713.

10. Zhu H.F., Wang G.L., Zhou Z.J., Fan S.W. Prospective Study of Long-term Effect between Multifidus Muscle Bundle and Conventional Open Approach in One-level Posterior Lumbar Interbody Fusion. *Orthop Surg.* 2018. Vol. 10. no 4. P. 296-305. DOI: 10.1111/os.12402.

11. Kim K., Isu T., Sugawara A., Matsumoto R., Isobe M. Comparison of the effect of 3 different approaches to the lumbar spinal canal on postoperative paraspinal muscle damage. *Surg Neurol.* 2008. Vol. 69. P. 109-113. DOI: 10.1016/j.surneu.2007.04.021.

12. Waschke A., Hartmann C., Walter J., Dünisch P., Wahnschaff F., Kalff R., Ewald C. Denervation and atrophy of paraspinal muscles after open lumbar interbody fusion is associated with clinical outcome—electromyographic and CT-volumetric investigation of 30 patients. *Acta Neurochir.* 2014. Vol. 156. no 2. P. 235-244. DOI: 10.1007/s00701-013-1981-9.

13. Fan S.W., Hu Z.J., Fang X.Q., Zhao F.D., Huang Y., Yu H.J. Comparison of paraspinal muscle injury in one-level lumbar posterior inter-body fusion: modified minimally invasive and traditional open approaches. *Orthop. Surg.* 2010. Vol. 2. no 3. P. 194-200. DOI: 10.1111/j.1757-7861.2010.00086.x.

14. Mukai Y., Takenaka S., Hosono N., Miwa T., Fuji T. Intramuscular pressure of the multifidus

muscle and low-back pain after posterior lumbar interbody fusion: comparison of mini-open and conventional approaches. *J. Neurosurg. Spine.* 2013. Vol. 19. no 6. P. 651-657. DOI: 10.3171/2013.8.SPINE13183.

15. Fan S., Hu Z., Zhao F., Zhao X., Huang Y., Fang X. Multifidus muscle changes and clinical effects of onelevel posterior lumbar interbody fusion: minimally invasive procedure versus conventional open approach. *Eur. Spine J.* 2010. Vol. 19. P. 316-324. DOI: 10.1007/s00586-009-1191-6.

16. Putzier M., Hartwig T., Hoff E.K., Streitparth F., Strube P. Minimally invasive TLIF leads to increased muscle sparing of the multifidus muscle but not the longissimus muscle compared with conventional PLIF-a prospective randomized clinical trial. *Spine J.* 2016. Vol. 16. no 7. P. 811-819. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.07.460.

17. Hung C.W., Wu M.F., Hong R.T., Weng M.J., Yu G.F., Kao C.H. Comparison of multifidus muscle atrophy after posterior lumbar interbody fusion with conventional and cortical bone trajectory. *Clin. Neurol. Neurosurg.* 2016. Vol. 145. P. 41-45. DOI: 10.1016/j.clineuro.2016.03.005.

18. Li Y.B., Wang X.D., Yan H.W., Hao D.J., 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. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000334.

19. Min S.H., Kim M.H., Seo J.B., Lee J.Y., Lee D.H. The quantitative analysis of back muscle degeneration after posterior lumbar fusion: comparison of minimally invasive and conventional open surgery. *Asian Spine J.* 2009. Vol. 3. P. 89-95. DOI: 10.4184/asj.2009.3.2.89.

20. Wang H.L., Lu F.Z., Jiang J.Y., Ma X., Xia X.L., Wang L.X. Minimally invasive lumbar interbody fusion via MAST quadrant retractor versus open surgery: a prospective randomized clinical trial. *Chin. Med. J.* 2011. Vol. 124. P. 3868-3874.

21. Kim Y.E., Choi H.W. Does stabilization of the degenerative lumbar spine itself produce multifidus atrophy? *Med. Eng. Phys.* 2017. Vol. 49. P. 63-70. DOI: 10.1016/j.medengphy.2017.07.008.

22. Fortin M., Lazáry À., Varga P.P., Battié M.C. Association between paraspinal muscle morphology, clinical symptoms and functional status in patients with lumbar spinal stenosis. *Eur. Spine J.* 2017. Vol. 26. no 10. P. 2543-2551. DOI: 10.1007/s00586-017-5228-y.