

МАЛОИНВАЗИВНАЯ РЕКОНСТРУКЦИЯ ДУГИ ПОЗВОНКА ПРИ ЛЕЧЕНИИ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА У ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

DOI: 10.17691/stm2021.13.5.08

УДК 616.721.7-001.7-089.844-053.2

Поступила 13.03.2021 г.



А.Р. Сяндюков, к.м.н., зав. детским травматолого-ортопедическим отделением¹;

Н.С. Николаев, д.м.н., профессор, главный врач¹; зав. кафедрой травматологии, ортопедии и экстремальной медицины²;

В.А. Кузьмина, врач функциональной диагностики¹;

С.А. Александров, врач-травматолог-ортопед¹;

П.Н. Корняков, врач-травматолог-ортопед¹;

В.Ю. Емельянов, к.м.н., научный сотрудник¹; доцент кафедры акушерства и гинекологии²

¹Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования Минздрава России, ул. Федора Гладкова, 33, Чебоксары, Чувашская республика, 428020;

²Чувашский государственный университет им. И.Н. Ульянова, Московский проспект, 15, Чебоксары, Чувашская республика, 428015

Цель исследования — оценить эффективность методики реконструкции дуги позвонка при истмическом спондилолистезе I степени крючково-винтовой системой с использованием малоинвазивной хирургии путем сравнения полученных результатов с результатами классической методики стабилизации сегмента с межтеловым спондилодезом.

Материалы и методы. В исследовании участвовали 26 пациентов в возрасте от 11 до 17 лет. Сроки наблюдения составили 1–7 лет. Сформированы две группы: 1-я (n=6) — пациентам выполняли классическую операцию по стабилизации сегмента L₅-S₁; 2-я (n=20) — проводили реконструкцию дуги L₅-позвонка с использованием малоинвазивной техники. В каждой группе оценивали болевой синдром с помощью ВАШ, критериев Masgab до и после операции, а также кровопотерю, продолжительность операции в минутах и госпитализации в днях.

Результаты. По шкале Masgab не отмечено статистически значимых различий в ходе применения двух представленных методик, однако при использовании методики синтеза дуги остается сохранным позвоночно-двигательный сегмент. Кроме того, во 2-й группе установлены меньшая кровопотеря (44,0±19,6 в сравнении с 300,0±130,4 мл, p<0,0001), продолжительность операции (176,0±41,6 в сравнении с 349,2±93,2 мин, p<0,0001) и время госпитализации (6,9±1,6 в сравнении с 10,0±2,1 сут, p=0,0025) в контроле.

Заключение. Методика реконструкции дуги позвонка из малоинвазивного доступа дает возможность стабилизировать позвоночно-двигательный сегмент, а также сохранить биомеханику и движения в позвоночнике. Использование подобной методики позволяет сократить сроки стационарного лечения пациентов, осуществить раннее восстановление и реабилитацию за счет снижения времени операции и кровопотери.

Ключевые слова: спондилолистез; истмический спондилолистез; спондилодез; реконструкция дуги позвонка.

Как цитировать: Syundyukov A.R., Nikolayev N.S., Kuzmina V.A., Aleksandrov S.A., Korniyakov P.N., Emelyanov V.Yu. Minimally invasive reconstruction of vertebral arch in spondylolisthesis in children and adolescents. *Sovremennye tehnologii v medicine* 2021; 13(5): 62–69, <https://doi.org/10.17691/stm2021.13.5.08>

English

Minimally Invasive Reconstruction of Vertebral Arch in Spondylolisthesis in Children and Adolescents

A.R. Syundyukov, MD, PhD, Head of the Pediatric Traumatological and Orthopedic Unit¹;

N.S. Nikolayev, MD, DSc, Professor, Chief Doctor¹; Head of the Department of Traumatology, Orthopedics and Extreme Medicine²;

V.A. Kuzmina, Functional Diagnostician¹;

S.A. Aleksandrov, Traumatologist-Orthopedist¹;

P.N. Korniyakov, Traumatologist-Orthopedist¹;

V.Yu. Emelyanov, MD, PhD, Researcher¹; Associate Professor²

Для контактов: Емельянов Владимир Юрьевич, e-mail: vemelianov@mail.ru

¹Federal Center of Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Ministry of Health of the Russian Federation, 33 Fedor Gladkov St., Cheboksary, Chuvash Republic, 428020, Russia;

²Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, 15 Moskovsky Prospect, Cheboksary, Chuvash Republic, 428015, Russia

The aim of the study was to assess the effectiveness of the minimally invasive technique used to reconstruct the vertebral arch with a pedicle screw hook system in grade I isthmic spondylolisthesis in comparison with the traditional technique of segment stabilization with interbody fusion.

Materials and Methods. The study included 26 patients aged from 11 to 17 years. The follow-up period lasted from 1 to 7 years. Two groups were formed: in group 1 (n=6), segments L₅-S₁ were stabilized using the traditional technique; in group 2 (n=20), the arch of the L₅ vertebra was reconstructed by means of minimally invasive surgery. The pain syndrome was assessed in each study group using the visual analogue scale and Macnab criteria before and after surgery; blood loss, duration of surgery in minutes, and hospitalization in days were also measured.

Results. According to the Macnab scale, the two presented techniques did not show any statistically significant differences; however, when the arch synthesis technique was employed the spinal motion segment remained intact. Furthermore, in group 2, the volume of blood loss was smaller (44.0±19.6 compared to 300.0±130.4 ml, p<0.0001), the duration of the operation was 176.0±41.6 compared to 349.2±93.2 min, p<0.0001, and hospital stay was 6.9±1.6 compared to 10.0±2.1 days, p=0.0025 in the control group.

Conclusion. The technique of vertebral arch reconstruction by a minimally invasive access gives the possibility to stabilize the spinal motion segment and to preserve biomechanics and movements in the spine. This technique allows for shorter inpatient stays for patients as well as earlier recovery and rehabilitation due to reduced surgery time and blood loss.

Key words: spondylolisthesis; isthmic spondylolisthesis; spondylolisthesis; vertebral arch reconstruction.

Введение

В детском и подростковом возрасте основной причиной возникновения и прогрессирования спондилолистеза являются нарушение трофики тканей и микротравмы, приводящие к появлению зон лизиса в межсуставной части дуги позвонка [1, 2]. Спондилолистез ведет к нестабильности и нарушениям взаимоотношений позвонков, что в свою очередь приводит к нарушениям сагиттального баланса, возникновению выраженного болевого синдрома в спине, который может иррадиировать в ноги и в дальнейшем приводить к ухудшению функций нижних конечностей [3]. В 80% случаев зоны лизиса локализируются на L₅-позвонке, реже — на уровне L₄-позвонка, встречаются описания локализации данной патологии на других уровнях поясничного отдела позвоночника и многоуровневых поражений [4].

Классическим методом лечения спондилолистеза и спондилолистеза является хирургическое вмешательство, включающее декомпрессию, редукцию соскользнувшего позвонка, транспедикулярную фиксацию сегментов позвоночника и создание спондилодеза 360° [5–8]. При наличии спондилолистеза I степени у детей и подростков с болевым синдромом, но без неврологических нарушений основным подходом является консервативная терапия, однако известен и альтернативный хирургический путь лечения. Так называемая хирургическая реконструкция дуги позвонка, предложенная J.E. Vuck в 1970 г. [9], получила свое развитие в работах ряда других авторов [10, 11]. Она позволяет стабилизировать сегмент и предотвратить прогрессирование соскальзывания без его фиксации. Суть всех предложенных методов сво-

дится к созданию предпосылок к консолидации дуги позвонка. Причем способы фиксации в рамках одного позвонка варьируют от компрессии винтом до скрепления проволокой. С развитием малоинвазивных техник разработан также малотравматичный подход к выполнению данного типа хирургического вмешательства [12].

Возникновение зон лизиса в межсуставной части дуги связано с нагрузкой на данный сегмент позвоночника: в точке point pivot (пояснично-крестцовой точке поворота в средней костно-связочной колонне между последним поясничным позвонком и крестцом) концентрируется максимальное напряжение на позвончик [13]. Предпосылкой к возникновению данной патологии может служить нарушение позвоночно-тазовых параметров сагиттального баланса [14]. Несмотря на современную классификацию спондилолистезов, основанную на ключевых показателях углов позвоночно-тазового соотношения, таких как pelvic incidence — PI, pelvic tilt — PT, sacral slope — SS, lumbar lordosis — LL (рис. 1), вопрос о стандартных показателях таза и позвоночника при спондилолистезе и спондилолистезе легкой степени у детей и подростков и их изменении после операции до конца не решен [15]. В литературе также недостаточно данных об эффективности реконструкции дуги позвонка крючково-винтовой конструкцией (по Morscher) в ее малоинвазивном исполнении и абсолютно отсутствуют публикации о применении интраоперационного нейромониторинга при подобных вмешательствах.

Цель исследования — оценить эффективность реконструкции дуги позвонка при истмическом спондилолистезе I степени у детей и подростков крючково-винтовой системой с использованием малоинвазив-

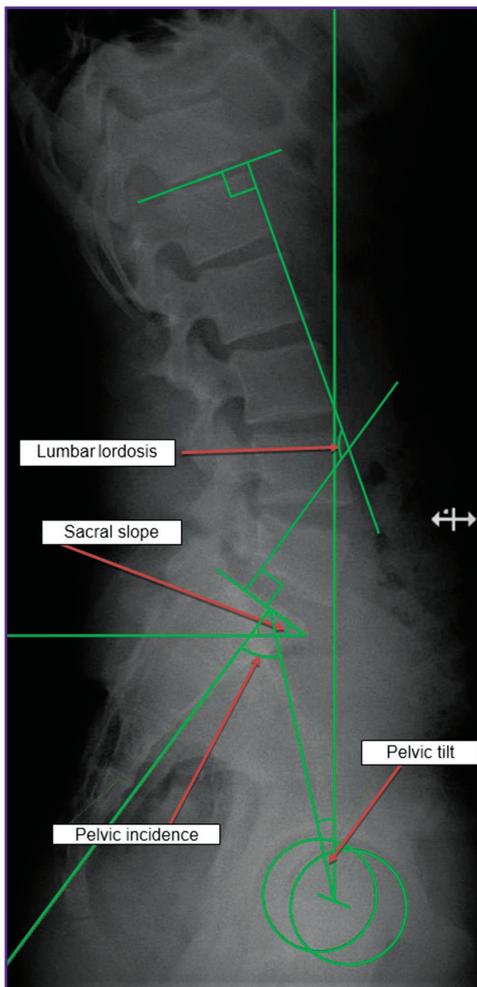


Рис. 1. Углы позвоночно-тазового соотношения pelvic incidence, pelvic tilt, sacral slope, lumbar lordosis на рентгеновском снимке

ной хирургии для предотвращения прогрессирования спондилолистеза и восстановления нормальных параметров лордоза в сравнении с классической методикой фиксации сегмента.

Материалы и методы

В исследование включены находившиеся под нашим наблюдением в период с 2010 по 2017 г. 26 пациентов (9 — женского пола и 17 — мужского) в возрасте от 11 до 17 лет со спондилолизом и истмическим спондилолистезом легкой степени. Работа проведена в соответствии с положениями Хельсинкской декларации (2013) и одобрена Этическим комитетом Федерального центра травматологии, ортопедии и эндопротезирования (Чебоксары). Информированное согласие получено от всех пациентов в возрасте выше 15 лет и от родителей пациентов, не достигших 15-летнего возраста, согласно Федеральному закону «Основы законодательства Российской Федерации об охране здоровья граждан» (2011).

У всех участников исследования патология локализовалась на L₅-позвонке, при этом неврологические нарушения, которые включали наличие стойкого болевого синдрома, не поддающегося консервативному лечению, отсутствовали. Были сформированы две группы: 1-я (n=6) — ретроспективная, контрольная, пациентам выполнялась классическая операция по стабилизации сегмента L₅-S₁ винтовой транспедикулярной системой в сочетании с межтеловым спондилодезом из открытого доступа; 2-я (n=20) — проспективная, пациентам проводилась альтернативная хирургическая операция — реконструкция дуги L₅-позвонка крючково-винтовой системой с использованием малоинвазивной техники, которая заключалась в консолидации межсуставной части дуги со стабилизацией позвоночно-двигательного сегмента за счет собственного суставного отростка. У всех пациентов обеих групп степень спондилолистеза соответствовала I степени по Meyerding, поскольку использование крючково-винтовой системы рассчитано на применение только при данной степени. Сроки наблюдения составили от 1 до 7 лет.

В 1-й группе использовали классический вариант вмешательства: после разреза кожи скелетезировали дорсальные отделы позвоночника и крестца в зоне предполагаемого спондилодеза. Затем устанавливали транспедикулярные винты в дуги L₅- и S₁-позвонков, проводили резекцию нижних суставных отростков 5-го поясничного позвонка, верхних суставных отростков 1-го крестцового позвонка и частично резецировали подвижную дугу L₅-позвонка, после чего осуществляли дискэктомию с установкой межтелового кейджа. На следующем этапе погружали стержни в головки винтов и выполняли редуцирующий маневр (в случае спондилолистеза) с фиксацией стержней в винтах. Финальным этапом послойно ушивали операционную рану [15].

Во 2-й группе для оперативного вмешательства в случае реконструкции дуги L₅-позвонка применяли следующую тактику: под общим обезболиванием в положении пациента на животе под контролем электронно-оптического преобразователя (ЭОП) на кожу наносили метки предполагаемых разрезов, выполняли разрезы мягких тканей длиной до 2,5 см паравертебрально в области L₅-позвонка, устанавливали лепестковый раздвижной паравертебральный расширитель. Затем осуществляли доступ к задним элементам L₅-позвонка с раздвижением мышц и сохранением над- и межкостистых связок. Зону спондилолиза обрабатывали кюретками, бором. Это технически сложный и важный этап, поскольку зона лизиса анатомически расположена над местом выхода корешка, поэтому существует риск зайти инструментом ниже и медиально и повредить нервные структуры. Далее в зону лизиса вводили синтетический костный трансплантат в виде пасты; устанавливали два супраламинарных крючка со смещенным рабочим телом под дугу L₅-позвонка; под контролем

ЭОП по направляющим спицам, используя малоинвазивную методику, монтировали транспедикулярный канюлированный винт. Затем устанавливали стержень, закрепляли гайками в головках элементов и проводили компрессию. После этого ушивали рану. В той же последовательности процедуру выполняли с противоположной стороны (рис. 2).

Данная методика позволяет создать условия для консолидации дуги позвонка, осуществить приемлемую редукцию и при этом сохранить подвижность в позвоночно-двигательном сегменте [16].

В послеоперационном периоде пациентов вертика-

лизировали на 1-й день после хирургического вмешательства и выписывали на амбулаторное лечение на 3–5-е сутки. Всем исследуемым до и после операции проводили рентгенографию с оценкой показателей PI, PT, SS, LL. Результаты исследования оценивали с помощью субъективной оценочной шкалы Masnab [17], визуально-аналоговой шкалы боли (ВАШ) до и после операции. Показатели должного лордоза L рассчитывали для каждого пациента по формуле $L=0,62 \cdot PI+27,61$ [18]. Функциональные результаты оценивали по клиническим данным (ограничению движения и сгибания в позвоночнике), а также по данным

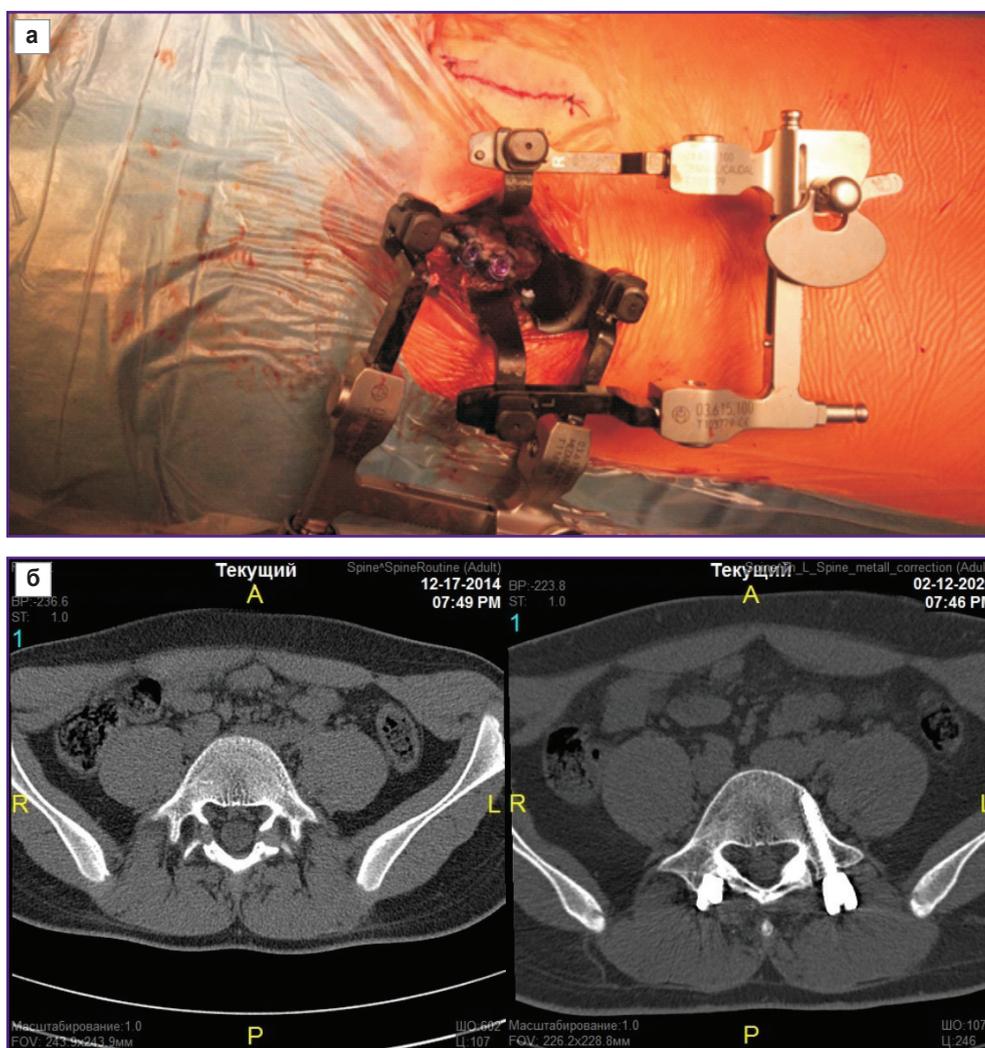
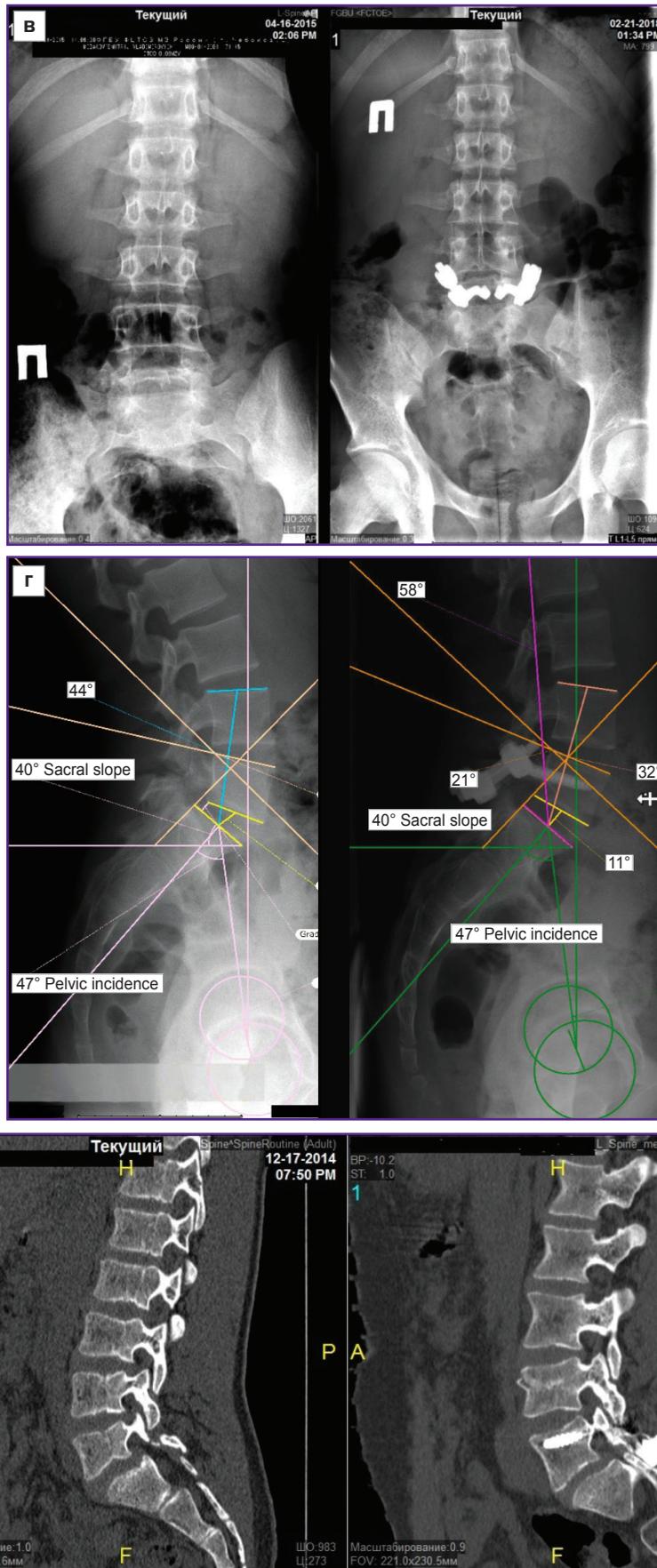


Рис. 2. Клинический пример лечения спондилолистеза с использованием малоинвазивной техники:

- а — минимально-инвазивный задний доступ на уровне L₅-позвонка;
- б — аксиальная компьютерная томография: слева — предоперационная, показывает дефект на уровне L₅-позвонка; справа — послеоперационная, показывает транспедикулярные винты в дуге L₅-позвонка;
- в — рентгенограмма в прямой передней проекции: слева — предоперационная, показывает дефект на уровне L₅-позвонка; справа — послеоперационная, показывает фиксацию дефекта транспедикулярными винтами на уровне L₅-позвонка;
- г — рентгенограмма в боковой проекции: слева — предоперационная, показывает дефект на уровне L₅-позвонка; справа — послеоперационная, устранение дефекта выполнено с использованием ножечно-винтовых и крючковых конструкций;
- д — боковая КТ: слева — предоперационная, показывает дефект на уровне L₅-позвонка; справа — послеоперационная, показывает двусторонние винты на ножке и стержневые и крючковые конструкции на L₅-позвонке для коррекции дефекта



Окончание рис. 2

MPT (высоте стояния межпозвонкового диска и наличию признаков дегенерации).

Ограничения исследования: малая выборка, одноцентровое исследование, сравнительно небольшое время наблюдения, отсутствие рентгенологического контроля подвижности оперированного сегмента.

Статистическую обработку данных проводили с помощью программного обеспечения GraphPad Prism 8. Выбор описательных статистик выполняли по описанному ранее алгоритму [19]. Принадлежность выборок к нормальному распределению определяли с помощью критерия Колмогорова–Смирнова, при этом в большинстве групп отмечено нормальное распределение. Для каждого параметра рассчитывали среднее арифметическое (M), а также стандартное отклонение (SD). Для качественных данных рассчитывали проценты (P) и их стандартные отклонения (σ_p). Статистическую значимость различий значений оценивали с помощью критерия Манна–Уитни, значение $p < 0,05$ принимали как критическое.

Результаты

В обеих группах коррекция спондилолистеза была полной.

Сроки наблюдения за пациентами — от 1 года до 7 лет. В ходе оценки полученных результатов наблюдения в период от 3 мес до 4 лет установлено, что по шкале Маснаб нет статистически значимых различий в показателях при использовании двух представленных методик, однако в случае применения методики синтеза дуги позвонка остается сохранным позвоночно-двигательный сегмент.

У 4 пациентов из 1-й группы, где был стабилизирован сегмент L₅–S₁, отмечены очень хорошие результаты по шкале Маснаб, у 2 пациентов — хорошие (сохранились жалобы на периодические боли после нагрузок, не требующие приема анальгезирующих средств, которые не мешали им выполнять обычные дела).

У 17 пациентов 2-й группы, которым выполняли реконструкцию дуги, достигнуты очень хорошие результаты по шкале Маснаб. Боли по ВАШ купированы полностью. 2 пациента жаловались на периодические боли, которые прошли примерно через год после операции. У одного исследуемого сохранялся стойкий болевой синдром. Еще у одного пациента отмечено образование лигатурных свищей, после удаления лигатур свищи закрылись. Возникшая проблема нами интерпретирована как индивидуальная реакция на шовный материал (табл. 1).

Функциональные результаты оценивали по клиническим данным (не наблюдалось ограничения движения и сгибания в позвоночнике), а также по данным MPT (сохранялась высота межпозвонковых дисков и отсутствовали при-

знаки дегенерации). 11 пациентов из группы реконструкции дуги возобновили занятия физкультурой и спортом.

У всех пациентов, которым выполнена классическая операция, достигнуто формирование межтелового спондилодеза. В группе, где выполнялась реконструкция дуги L₅-позвонка, признаки консолидации дуги по данным КТ, проведенной через 3 мес и 1 год после операции, отмечались у 14 человек. У 3 пациентов наблюдалась частичная консолидация с одной стороны, еще у 3 отмечено отсутствие сращения сегментов дуг позвонков: у 2 пациентов сохранялась достигнутая коррекция и стабильность металлоконструкции без увеличения диастаза, у 1 исследуемого, несмотря на стабильность конструкции и отсутствие расширения зоны лизиса, наблюдалось прогрессирование смещения позвонка на 5 мм и усиление болевого синдрома, что потребовало проведения повторной операции уже по классической методике фиксации сегмента.

На всех этапах хирургического вмешательства был использован нейромониторинг. В процессе обработки данных нейромониторинга при формировании каналов под транспедикулярные опорные элементы и установке винтов показатели во всех случаях говорили об отсутствии приближения к нервным структурам. Это подтверждается оценкой корректности установки транспедикулярных опорных элементов по данным КТ: по шкале Gerzbein все транспедикулярные винты установлены корректно. Об эффективности использования интраоперационного нейромониторинга на всех этапах операции свидетельствует и отсутствие радикулярной симптоматики после проведения хирургического лечения.

При сравнении объема кровопотери и времени нахождения в стационаре после операции в группах пациентов выявлена следующая закономерность: в случае использования малоинвазивной методики синтеза дуги позвонка кровопотеря в среднем была меньше

Т а б л и ц а 1

Показатели лечения спондилолистеза с использованием разных методик

Признак	1-я группа	2-я группа	p
Количество пациентов (муж./жен.)	6 (4/2)	20 (13/7)	—
Оценка по ВАШ (M±SD):			
до операции	2,50±0,50	2,95±0,80	0,3175
после операции	1,0±0,60	0,65±0,60	0,2618
Результаты по Маснаб, % (P±σ _p):			
отличные	66,70±19,0	80,0±9,0	—
хорошие	33,30±19,0	20,0±9,0	—
Кровопотеря, мл (M±SD)	300,0±130,4	44,0±19,6	<0,0001
Продолжительность операции, мин (M±SD)	349,2±93,2	176,0±41,6	<0,0001
Госпитализация, сут (M±SD)	10,0±2,1	6,9±1,6	0,0025

Таблица 2

Показатели позвоночно-тазовых взаимоотношений у пациентов обеих групп до и после операции

Параметр	1-я группа		2-я группа		p
	M±SD	95% CI	M±SD	95% CI	
PI	62,3±12,6	73,0–57,8	58,1±7,1	63,0–50,5	0,4475
Должный лордоз	66,3±7,8	68,8–60,6	63,7±4,4	66,2–61,4	0,4475
LL:					
до операции	73,0±9,4	77,0–67,0	61,1±9,0	67,0–58,0	0,0098
после операции	63,2±10,6	67,3–55,8	55,3±8,8	61,0–51,0	0,1185
SS:					
до операции	50,2±7,3	53,0–45,0	46,3±7,0	50,0–42,0	0,361
после операции	45,8±9,2	50,0–42,5	41,8±7,5	46,8–35,0	0,3626
PT:					
до операции	12,3±8,5	28,0–7,0	11,9±5,6	14,5–5,0	0,8703
после операции	15,2±9,7	25,5–10,0	16,0±6,9	19,8–11,0	0,6667

в 6 раз, а пребывание в клинике — на 3 дня короче (табл. 2).

При оценке позвоночно-тазовых взаимоотношений выраженного дефицита поясничного лордоза не выявлено в обеих группах, также отмечено, что тазовые показатели статистически значимо меняются после операции в сторону приближения значений к нормальному лордозу. Относительно сбалансированные показатели до операции у пациентов обеих групп, по нашему мнению, связаны с адекватной работой компенсаторных механизмов организма при спондилолизе и спондилолистезе низкой степени. Несмотря на отсутствие фиксации сегмента и манипуляций, направленных на формирование лордоза за счет межтелового кейджа во 2-й группе, у пациентов данной группы отмечаются положительные изменения показателей после операции (см. табл. 2).

Обсуждение

В настоящий момент известно несколько модификаций малоинвазивных методик лечения спондилолистеза, в том числе с фиксацией сегментов, используемых в хирургии истмического спондилолиза со спондилолистезом у взрослых. Данные методы включают фиксацию сегментов трансфораминальным поясничным межтеловым спондилодезом с щадящей мышцы прямой декомпрессией части дефекта [20, 21]. Примененная в исследовании малоинвазивная методика заключается в консолидации межсуставной части дуги позвонка со стабилизацией позвоночно-двигательного сегмента за счет собственного суставного отростка. Данная операция относительно новая, поэтому проблемы и нюансы ее выполнения широко обсуждаются [12, 22]. В нашем исследовании использование данной методики реконструкции позволило создать условия для консолидации дуги позвонка, осуществить приемлемую редукцию и при этом сохра-

нить подвижность в позвоночно-двигательном сегменте [16].

Данные, полученные в нашей работе, свидетельствуют: изменений поясничного лордоза относительно тазовых показателей при спондилолизе и спондилолистезе легкой степени не наблюдается и, следовательно, корригировать данные параметры не требуется. Положительные изменения рентгенологических параметров после остеосинтеза дуги позвонка, а также редукция позвонка и отсутствие прогрессирования заболевания, надежное устранение болевого синдрома — все это позволяет считать такую операцию достойной альтернативой классической методике, что сопоставимо с данными, полученными другими исследователями на взрослых пациентах [23, 24]. Показатели же интраоперационной кровопотери, возврат к спорту большинства пациентов, снижение количества койко-дней в

стационаре, а следовательно, и затрат клиники — все это делает вмешательство методом выбора при данной патологии. В похожей по технике операции, но с формированием спондилодеза, выполненной на детях, были получены схожие результаты кровопотери, что говорит о репрезентативности полученных нами данных [25].

Использование нейромониторинга на этапе резекции лизированной части дуги объясняется необходимостью полной и безопасной обработки зоны лизиса. А так как зона спондилолиза анатомически расположена над местом выхода корешка нерва, существует риск зайти инструментом ниже и медиально и повредить нервные структуры. Корректность установки транспедикулярных винтов, а также отсутствие радикулярной симптоматики после проведения хирургического лечения говорит об эффективности использования интраоперационного нейромониторинга на всех этапах проведения вмешательства.

Заключение

Методика реконструкции дуги L₅-позвонка из малоинвазивного доступа с применением транспедикулярных канюлированных винтов при лечении спондилолистеза у детей и подростков дает возможность стабилизировать позвоночно-двигательный сегмент, надежно устранить болевой синдром и при этом сохранить биомеханику и движения в позвоночнике. Использование подобной методики позволяет сократить сроки стационарного лечения пациентов, осуществить раннее восстановление и более быструю реабилитацию.

Финансирование исследования. Работа не имела финансовой поддержки.

Конфликт интересов отсутствует.

Литература/References

1. Nakayama T., Ehara S. Spondylolytic spondylolisthesis: various imaging features and natural courses. *Jpn J Radiol* 2015; 33(1): 3–12, <https://doi.org/10.1007/s11604-014-0371-4>.
2. Ward C.V., Latimer B., Alander D.H., Parker J., Ronan J.A., Holden A.D., Sanders C. Radiographic assessment of lumbar facet distance spacing and spondylolysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2007; 32(2): E85–E88, <https://doi.org/10.1097/01.brs.0000252200.66545.43>.
3. Kalichman L., Hunter D.J. Diagnosis and conservative management of degenerative lumbar spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2008; 17(3): 327–335, <https://doi.org/10.1007/s00586-007-0543-3>.
4. Foreman P., Griessenauer C.J., Watanabe K., Conklin M., Shoja M.M., Rozzelle C.J., Loukas M., Tubbs R.S. L₅ spondylolysis/spondylolisthesis: a comprehensive review with an anatomic focus. *Childs Nerv Syst* 2013; 29(2): 209–216, <https://doi.org/10.1007/s00381-012-1942-2>.
5. Guigui P., Ferrero E. Surgical treatment of degenerative spondylolisthesis. *Orthop Traumatol Surg Res* 2017; 103(1S): S₁₁–S₂₀, <https://doi.org/10.1016/j.otsr.2016.06.022>.
6. Rivollier M., Marlier B., Kleiber J.C., Eap C., Litre C.F. Surgical treatment of high-grade spondylolisthesis: technique and results. *J Orthop* 2020; 22: 383–389, <https://doi.org/10.1016/j.jor.2020.08.015>.
7. Кавалерский Г.М., Макиров С.К., Ченский А.Д., Боев М.В., Черепанов В.Г., Терновой К.С., Лисицкий И.Ю., Амин Ф.И., Коркунов А.Л., Сергеев О.А. Тактика хирургического лечения многоуровневых дегенеративных поражений пояснично-крестцового отдела позвоночника у лиц преклонного возраста. *Вестник Национального медико-хирургического центра им. Н.И. Пирогова* 2010; 51: 51–58.
Kavalerskiy G.M., Makirov S.K., Chenskiy A.D., Boev M.V., Cherepanov V.G., Ternovoy K.S., Lisitskiy I.Yu., Amin F.I., Korkunov A.L., Sergeev O.A. Surgical treatment for multilevel degenerative affection of lumbosacral spine in patients older than 60 years. *Vestnik Nacional'nogo mediko-hirurgicheskogo centra im. N.I. Pirogova* 2010; 51: 51–58.
8. Киселев А.М., Киселев А.А., Кротенков П.В. Транс-корпоральный вентросакральный микроэндоскопический спондилодез пояснично-крестцового отдела позвоночника при спондилолистезе. *Альманах клинической медицины* 2011; 24: 8–13.
Kiseliov A.M., Kiseliov A.A., Krotentkov P.V. Transcorporeal ventrosacral microendoscopic spondylosyndesis of the lumbosacral spine patients with spondylolisthesis. *Al'manah klinicheskoy mediciny* 2011; 24: 8–13.
9. Buck J.E. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Br* 1970; 52(3): 432–437.
10. Nicol R.O., Scott J.H. Lytic spondylolysis. Repair by wiring. *Spine (Phila Pa 1976)* 1986; 11(10): 1027–1030, <https://doi.org/10.1097/00007632-198612000-00011>.
11. Morscher E., Gerber B., Fasel J. Surgical treatment of spondylolisthesis by bone grafting and direct stabilization of spondylolysis by means of a hook screw. *Arch Orthop Trauma Surg* 1984; 103(3): 175–178, <https://doi.org/10.1007/bf00435550>.
12. Lu V.M., Kerezoudis P., Gilder H.E., McCutcheon B.A., Phan K., Bydon M. Minimally Invasive surgery versus open surgery spinal fusion for spondylolisthesis: a systematic review and meta-analysis. *Spine (Phila Pa 1976)* 2017; 42(3): E177–E185, <https://doi.org/10.1097/brs.0000000000001731>.
13. Hyun S.J., Rhim S.C., Kim Y.J., Kim Y.B. A mid-term follow-up result of spinopelvic fixation using iliac screws for lumbosacral fusion. *J Korean Neurosurg Soc* 2010; 48(4): 347–353, <https://doi.org/10.3340/jkns.2010.48.4.347>.
14. Kunze K.N., Lilly D.T., Khan J.M., Louie P.K., Ferguson J., Basques B.A., Nolte M.T., Dewald C.J. High-grade spondylolisthesis in adults: current concepts in evaluation and management. *Int J Spine Surg* 2020; 14(3): 327–340, <https://doi.org/10.14444/7044>.
15. Mac-Thiong J.M., Labelle H. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature. *Eur Spine J* 2006; 15(10): 1425–1435, <https://doi.org/10.1007/s00586-006-0101-4>.
16. Shin M.H., Ryu K.S., Rathi N.K., Park C.K. Direct pars repair surgery using two different surgical methods: pedicle screw with universal hook system and direct pars screw fixation in symptomatic lumbar spondylosis patients. *J Korean Neurosurg Soc* 2012; 51(1): 14–19, <https://doi.org/10.3340/jkns.2012.51.1.14>.
17. Macnab I. Chapter 14. Pain and disability in degenerative disc disease. *Clin Neurosurg* 1973; 20: 193–196, https://doi.org/10.1093/neurosurgery/20.cn_suppl_1.193.
18. Hyun S.J., Han S., Kim Y.B., Kim Y.J., Kang G.B., Cheong J.Y. Predictive formula of ideal lumbar lordosis and lower lumbar lordosis determined by individual pelvic incidence in asymptomatic elderly population. *Eur Spine J* 2019; 28(9): 1906–1913, <https://doi.org/10.1007/s00586-019-05955-w>.
19. Баврина А.П. Современные правила использования методов описательной статистики в медико-биологических исследованиях. *Медицинский альманах* 2020; 2: 95–104.
Bavrina A.P. Modern rules for the use of descriptive statistics methods in biomedical research. *Medicinskij al'manah* 2020; 2: 95–104.
20. Roberti F., Arsenault K. Direct pars defect tubular decompression and TLIF for the treatment of low-grade adult isthmic spondylolisthesis: surgical challenges and nuances of a muscle-sparing minimally invasive approach. *Minim Invasive Surg* 2020; 2020: 5346805, <https://doi.org/10.1155/2020/5346805>.
21. Mohi Eldin M. Minimal access direct spondylolysis repair using a pedicle screw-rod system: a case series. *J Med Case Rep* 2012; 6: 396, <https://doi.org/10.1186/1752-1947-6-396>.
22. Fan Y., Zhu L. Decompression alone versus fusion and Coflex in the treatment of lumbar degenerative disease: a network meta-analysis. *Medicine (Baltimore)* 2020; 99(11): e19457, <https://doi.org/10.1097/md.00000000000019457>.
23. Sriphiroom P., Siramanakul C., Chaipanha P., Saepoo C. Clinical outcomes of interlaminar percutaneous endoscopic decompression for degenerative lumbar spondylolisthesis with spinal stenosis. *Brain Sci* 2021; 11(1): 83, <https://doi.org/10.3390/brainsci11010083>.
24. Ahmad S., Hamad A., Bhalla A., Turner S., Balain B., Jaffray D. The outcome of decompression alone for lumbar spinal stenosis with degenerative spondylolisthesis. *Eur Spine J* 2017; 26(2): 414–419, <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4637-7>.
25. Noggle J.C., Sciubba D.M., Samdani A.F., Anderson D.G., Betz R.R., Asghar J. Minimally invasive direct repair of lumbar spondylolysis with a pedicle screw and hook construct. *Neurosurg Focus* 2008; 25(2): E15, <https://doi.org/10.3171/foc/2008/25/8/e15>.