

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto634755>

Оперативное лечение двустороннего спондилолиза L5 позвонка у профессиональной гимнастки с использованием индивидуальной конструкции

М.С. Ветрилэ, А.А. Кулешов, С.Н. Макаров, И.Н. Лисянский, В.Р. Захарин, А.И. Кокорев, Н.А. Аганесов

Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Москва, Россия

АННОТАЦИЯ

Введение. Спондилолиз является одной из наиболее частых причин боли в пояснице у детей и подростков, профессионально занимающихся спортом. Отмечается, что спондилолиз чаще наблюдается при занятиях видами спорта, которые связаны с повторной осевой нагрузкой и/или гиперэкстензией поясничного отдела позвоночника с ротацией. В большинстве случаев лечение спондилолиза, включая случаи его возникновения у профессиональных спортсменов, — консервативное. Оперативное лечение показано только при неэффективности консервативной терапии или при прогрессировании симптоматики. Одной из наиболее частых методик оперативного лечения спондилолиза является восстановление целостности дужки с использованием различных металлоконструкций. Применение аддитивных методов для изготовления индивидуальных имплантатов в настоящее время позволяет изготавливать персонализированные имплантаты, обладающие рядом преимуществ. В статье описывается первый опыт использования индивидуального имплантата для оперативного лечения спондилолиза и приводится краткий обзор литературы.

Описание клинического случая. Представлен клинический случай лечения 16-летней пациентки, профессионально занимающейся спортивной гимнастикой. Приведено описание анамнеза, клинических проявлений и специальных методов диагностики. Описаны предоперационное планирование, проектирование индивидуального имплантата, проведение операции и отдалённые результаты лечения. В кратком литературном обзоре представлены результаты консервативного лечения, основные показания и методы оперативной терапии спондилолиза, обоснована возможность применения индивидуально изготовленного имплантата для его оперативного лечения.

Заключение. Для оперативного лечения спондилолиза L5 позвонка и восстановления целостности дужки позвонка без фиксации позвоночно-двигательного сегмента возможно использование индивидуально изготовленного имплантата. Применение кастомизированных имплантатов ожидается позволит улучшить результаты при сочетании спондилолиза с аномалиями и индивидуальными особенностями костных структур позвонка, в том числе у пациентов, профессионально занимающихся спортом.

Ключевые слова: спондилолиз; спондилолиз у спортсменов; реконструкция дуги позвонка; аддитивные технологии; персонализированные имплантаты; индивидуальный имплантат.

Как цитировать:

Ветрилэ М.С., Кулешов А.А., Макаров С.Н., Лисянский И.Н., Захарин В.Р., Кокорев А.И., Аганесов Н.А. Оперативное лечение двустороннего спондилолиза L5 позвонка у профессиональной гимнастки с использованием индивидуальной конструкции // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2024. Т. 31, № 3. С. 395–405. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto634755>

DOI: <https://doi.org/10.17816/vto634755>

Surgical treatment of L5 spondylolysis in an athlete using custom-made implant

Marchel S. Vetrile, Aleksandr A. Kuleshov, Sergey N. Makarov, Igor N. Lisyansky, Vitaliy R. Zakharin, Alexey I. Kokorev, Nikolay A. Aganesov

N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

ABSTRACT

BACKGROUND: Spondylolysis is one of the most common causes of lower back pain in children and adolescents who are professionally involved in sports. It is noted that spondylolysis is observed more often when practicing a number of sports that are associated with repeated axial load and/or hyperextension of the lumbar spine with rotation. In most cases, the treatment of spondylolysis, including cases of its occurrence in professional athletes, is conservative. Surgical treatment is indicated only if conservative treatment is ineffective or if symptoms progress. One of the most common methods of surgical treatment of spondylolysis is to restore the integrity of the arch using various metal structures. The use of additive methods for the manufacture of individual implants currently allows the manufacture of personalized implants with a number of advantages. The article describes the first experience of using an individual implant for surgical treatment of spondylolysis and provides a brief review of the literature.

CLINICAL CASE DESCRIPTION: A clinical case is presented involving the treatment of a 16-year-old female patient who is a professional gymnast. The report includes a description of the patient's medical history, clinical manifestations, and specialized diagnostic methods. The preoperative planning, design of a custom implant, the surgical procedure, and long-term treatment outcomes are detailed. A brief literature review highlights the results of conservative treatment, the main indications and methods of surgical therapy for spondylolysis, and justifies the use of a custom-made implant for its surgical treatment.

CONCLUSION: For the surgical treatment of L5 spondylolysis and restoration of vertebral arch integrity without limiting motion on L5-S1 level, the use of a custom-made implant is possible. The use of customized implants may improve outcomes in cases where spondylolysis is combined with abnormalities and individual characteristics of the vertebral bone structures, including the patient's sports activity.

Keywords: spondylolysis; spondylolysis in athletes; direct spondylolysis repair; additive technologies; personalized implant; custom-made implant.

To cite this article:

Vetrile MS, Kuleshov AA, Makarov SN, Lisyansky IN, Zakharin VR, Kokorev AI, Aganesov NA. Surgical treatment of L5 spondylolysis in an athlete using custom-made implant. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2024;31(3):395–405. DOI: <https://doi.org/10.17816/vto634755>

ВВЕДЕНИЕ

Спондилолиз — дефект (щель) межсуставного сегмента дуги позвонка, который может наблюдаться с одной или двух сторон и является одной из частых причин боли в пояснице у детей и подростков, профессионально занимающихся спортом [1].

Чаще всего лечение спондилолиза, включая случаи его возникновения у профессиональных спортсменов, — консервативное. В случаях, когда спондилолиз проявляется болевым синдромом, рекомендуются ограничение физических нагрузок, ношение корсета в течение 6–12 недель, физиотерапевтическое лечение, курс нестероидных противовоспалительных препаратов. По данным литературы, до 98% случаев консервативного лечения приводят к купированию симптоматики и возвращению к спортивной активности [2]. Сращение зоны спондилолизного дефекта при консервативном лечении отмечают в 50–75% случаев [2, 3].

Оперативное лечение показано только при неэффективности консервативного лечения или при прогрессировании симптоматики. Одной из наиболее частых методик оперативного лечения спондилолиза является восстановление целостности дужки, называемое в англоязычной литературе *direct repair* [4]. Операция проводится с использованием транспедикулярных винтов, вводимых в L5 позвонок, в сочетании с субламинарно установленными крючками или U-образно изогнутого стержня, проведённого под остистым отростком.

Применение аддитивных методов для изготовления индивидуальных имплантатов в настоящее время позволяет изготавливать персонализированные имплантаты, обладающие рядом преимуществ. В статье описывается первый опыт применения индивидуального имплантата для оперативного лечения спондилолиза.

ОПИСАНИЕ КЛИНИЧЕСКОГО СЛУЧАЯ

Пациентка Т., 16 лет, была госпитализирована в 2021 году в ФГБУ «НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова» Минздрава России с жалобами на боль в пояснично-крестцовой области, значительно усиливающуюся при физической нагрузке.

Из анамнеза заболевания: пациентка занимается спортивной гимнастикой с 4-летнего возраста, на момент госпитализации имела звание кандидата в мастера спорта, являлась членом сборной команды области, призёром Чемпионата России по спортивной гимнастике и др. После интенсивных тренировок и соревнований за полгода до госпитализации начала беспокоить боль в области пояснично-крестцового отдела позвоночника, усиливавшаяся при физических нагрузках. Выраженный болевой синдром вынудил пациентку остановить тренировочный процесс. Проводимая в течение 3 месяцев консервативная терапия (физиотерапевтическое лечение, лечебная гимнастика)

и ограничение физических нагрузок привели к уменьшению интенсивности болевого синдрома. Тем не менее наклоны туловища вперёд, назад, ротационные движения вызывали боль, что не позволило восстановить прежний уровень физической активности. Амбулаторно по месту жительства пациентке выполнены исследования методом магнитно-резонансной (МРТ) и компьютерной томографии (КТ), выставлен диагноз «спондилолиз L5 позвонка». Спустя 3 месяца после дебюта заболевания пациентка обратилась с вышеуказанными жалобами в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова. При осмотре выявлено, что сгибание и разгибание туловища сопровождаются болевыми ощущениями в области поясницы, паравертебральные мышцы умеренно напряжены. При пальпации отмечается болезненность на уровне паравертебральных мышц в пояснично-крестцовом отделе. В неврологическом статусе — отсутствие очаговой симптоматики, симптомы натяжения отрицательные, парезов, патологических рефлексов, нарушения чувствительности и функции тазовых органов нет. По данным опросников *Ped's QL* — 76 баллов, *ODI* — 20%, *VAS* — 5 баллов.

Пациентке проведена лучевая диагностика. По данным рентгенографии позвоночника подтверждён спондилолиз L5 позвонка. Параметры сагиттального баланса туловища, по данным постуральной рентгенографии, без значимых отклонений от нормы ($PI=60^\circ$, $PT=14^\circ$, $SS=46^\circ$, $LL=65^\circ$, $TK=38,5^\circ$) (рис. 1а).

По данным мультиспиральной КТ пояснично-крестцового отдела позвоночника определяется билатеральный спондилолизный дефект межсуставной части дужки L5 позвонка (рис. 1б, с, д). По данным МРТ пояснично-крестцового отдела позвоночника, признаки стеноза позвоночного канала отсутствуют, гидрофильность межпозвоночных дисков не нарушена (рис. 1е).

На основании данных клинического осмотра и дополнительных исследований установлен клинический диагноз «спондилолиз L5 позвонка» (M43.0 по МКБ-10).

Учитывая сохраняющийся болевой синдром, ограничивающий физическую, в том числе спортивную, активность, неэффективность консервативной терапии и данные лучевой диагностики, пациентке рекомендовано оперативное лечение. Принято решение выполнить восстановление целостности дужки L5 позвонка при помощи индивидуально изготовленной конструкции.

Совместно с инженерами ООО «Конмет» выполнена компьютерная реконструкция сегмента L5-S1 на основании данных КТ. Изготовлена полноразмерная стереолитографическая модель сегмента L5-S1. На основании представленного проекта индивидуальной конструкции инженерами выполнено проектирование конструкции для восстановления целостности дужки L5 позвонка. Конструкция состояла из фигурной пластины, соответствующей анатомическому рельефу дорсальной поверхности дужки L5 позвонка и нижней поверхности остистого отростка L5 позвонка. Также на пластине

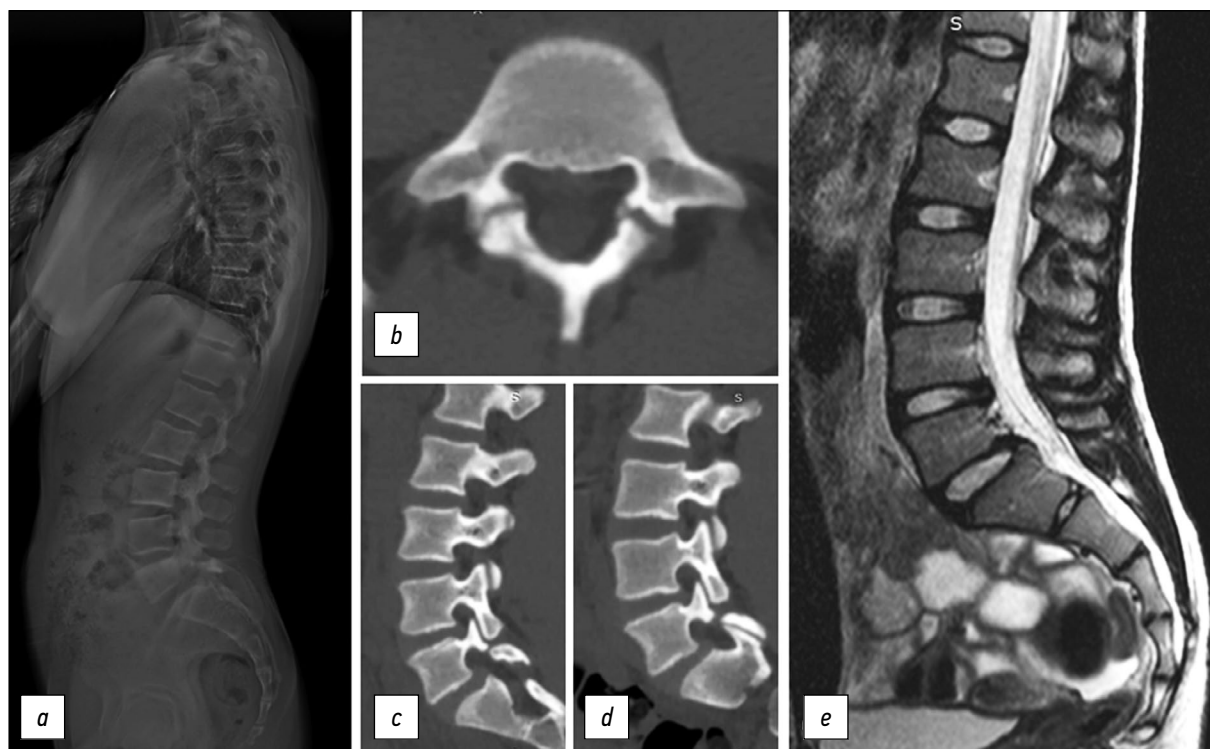


Рис. 1. Данные лучевой диагностики: *a* — постуральная рентгенография позвоночника в боковой проекции, *b, c, d* — компьютерная томография, *e* — магнитно-резонансная томография.

Fig. 1. Radiological imaging: *a* — postural radiography of the spine in lateral projection, *b, c, d* — computed tomography, *e* — magnetic resonance imaging.

спроектировано два крючкообразных выступа для субламинарной фиксации, по наружным краям пластины с обеих сторон — отверстия в проекции точек ввода транспедикулярных винтов. Также спроектировано два транспедикулярных винта с головкой под торцевой ключ (рис. 2). Спроектированная конструкция изготовлена

с использованием аддитивных технологий ООО «Кон-мет» из сплава Ti-6Al-4V ELI (рис. 3).

Ход операции: в положении пациентки на животе под интубационным наркозом выполнен разрез кожи и подкожно-жировой клетчатки по линии остистых отростков от L5 до S1. Произведено скелетирование дуги L5

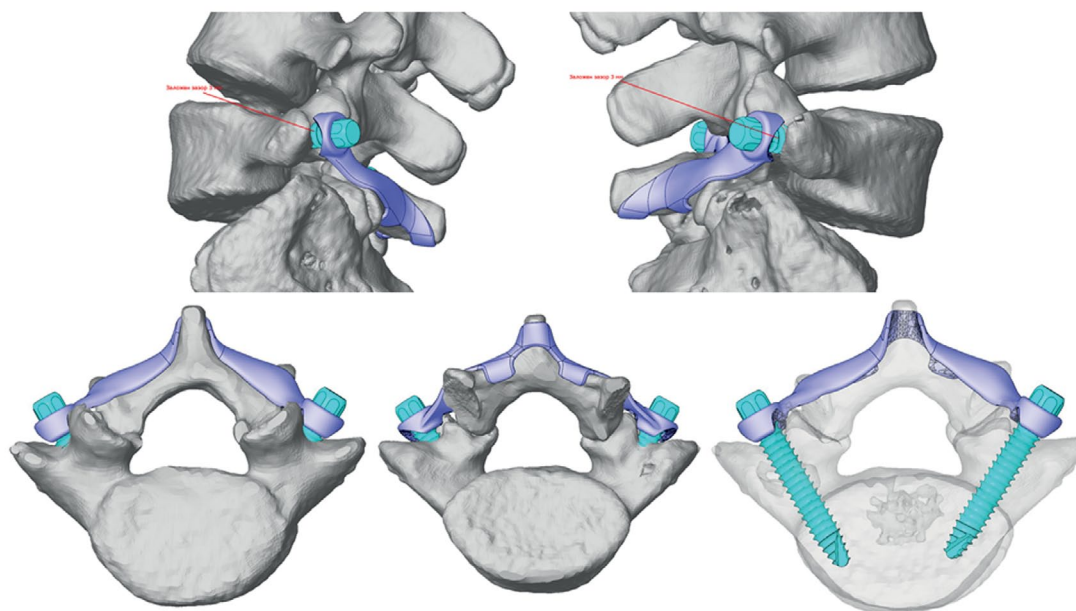


Рис. 2. Проект индивидуальной конструкции.

Fig. 2. The project of an individual implant.



Рис. 3. Полноразмерная 3D-модель пояснично-крестцового сегмента и индивидуальная металлоконструкция.

Fig. 3. The full-size 3D model of the lumbosacral segment and custom-made implant.

с сохранением надостистой связки. Выполнен гемостаз. С помощью высокооборотистой дрели и костных ложек произведён кюретаж зоны спондилолиза с обеих сторон (рис. 4а, б). С помощью ламинотомов удалена межостистая связка L5-S1. Изогнутым распатором выполнено

скелетирование дужки в месте осуществления субламинарной фиксации. Установлена индивидуальная пластина на скелетированную дужку L5 позвонка, причём пластина проведена между остистыми отростками соответственно L5 и S1 позвонков. Чрескожно под контролем

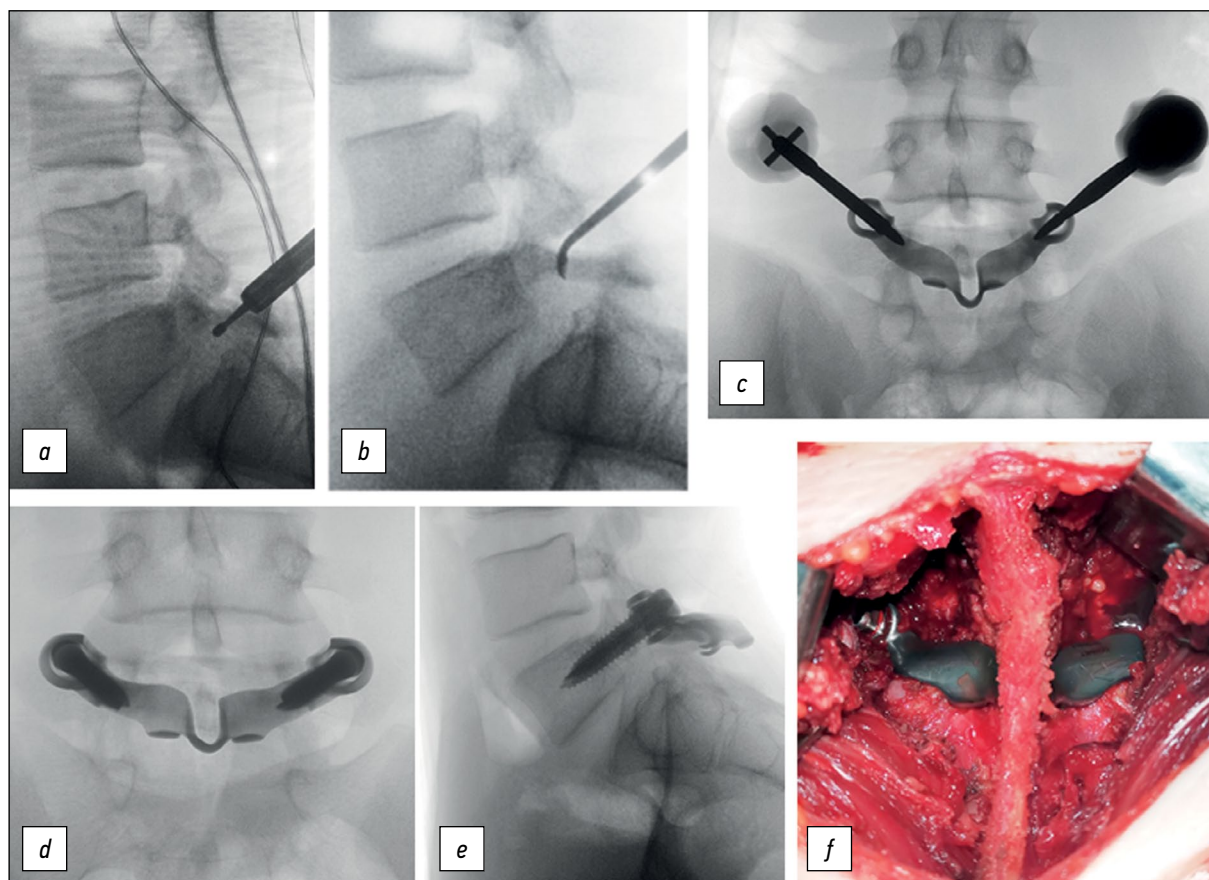


Рис. 4. Флюороскопический контроль во время операции и внешний вид установленной конструкции: а, б — обработка зоны спондилолиза, с — установка транспедикулярных винтов, d, e — ЗОП-контроль положения конструкции, f — внешний вид установленной конструкции, сохранённая надостистая связка.

Fig. 4. Fluoroscopic control during surgery and the appearance of the installed implant: а, b — preparing of the spondylolysis zone, с — pedicular screws isertion, d, e — fluoroscopic control, f — appearance of the installed custom-made imlant with preserved supraspinous ligament.

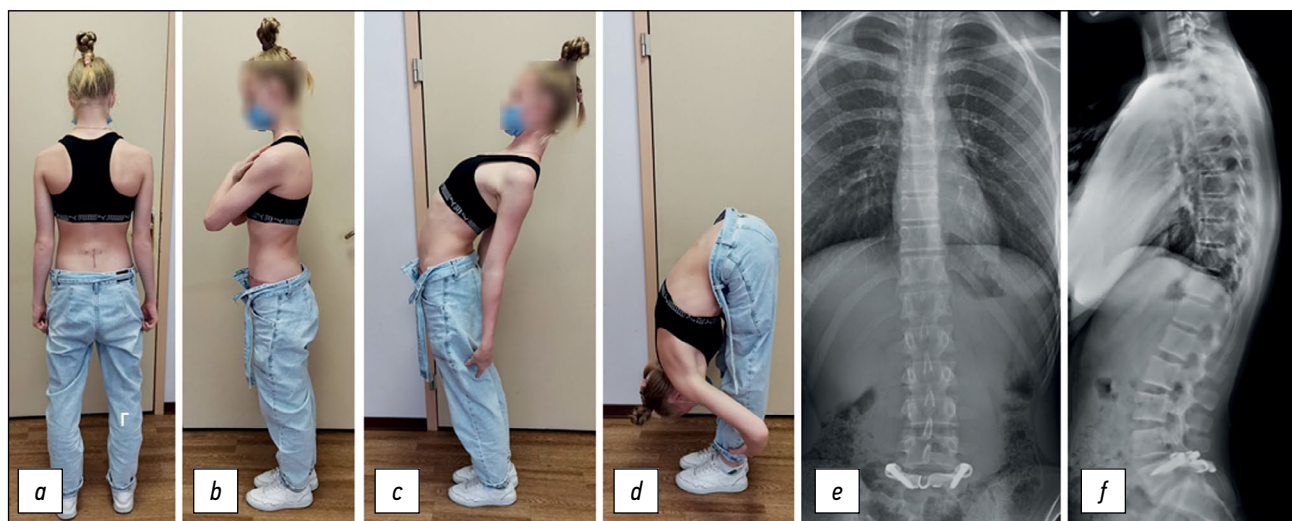


Рис. 5. Отдалённый результат через 3 месяца после операции: *a, b, c, d* — внешний вид и объём движений, *e, f* — постуральная рентгенография позвоночника, положение конструкции правильное, фиксация зоны спондилолиза стабильная, сагиттальный баланс не нарушен.

Fig. 5. 3 months follow-up: *a, b, c, d* — appearance and range of motion, *e, f* — postural X-ray of the spine, implant position is correct, fixation is stable, sagittal balance is normal.

с применением электронно-оптического преобразователя (ЭОП) и визуального контроля через отверстия в конструкции в корни дуг L5 позвонка с обеих сторон проводятся транспедикулярные винты (рис. 4с). При вкручивании винтов за счёт конструкции их головок пластина плотно прижата к дужке позвонка и фиксирована. Проведён рентген-контроль при помощи ЭОП в двух проекциях, подтверждено правильное положение имплантатов (рис. 4d, e, f). Рана промыта раствором антисептика, послойно ушита, выполнен внутрикожный косметический шов. Кровопотеря составила 50 мл. Послеоперационное течение без особенностей. Пациентка вертикализирована в первые сутки после операции. Отмечала умеренные боли в области послеоперационной раны, которые купированы приёмом нестероидных противовоспалительных препаратов в течение 3 дней. Выполнено контрольное КТ-исследование, подтверждены правильное положение имплантатов и фиксация зоны спондилолиза. На пятые сутки после операции пациентка выписана под амбулаторное наблюдение. Рана зажила первичным натяжением.

Через 1 месяц осуществлён контрольный осмотр. Пациентка уже приступила к умеренным физическим нагрузкам в гимнастическом зале, однако отмечала незначительный болевой синдром в поясничном отделе (2 балла по VAS). По данным рентгенографии, положение металлоконструкции корректное. Движения в поясничном отделе позвоночника в полном объёме (рис. 5).

Через 3 месяца с момента операции пациентка возобновила тренировочный процесс в полном объёме и приняла участие в соревнованиях. Болевых ощущений в поясничном отделе позвоночника не отмечает (Ped's QL — 98 баллов, ODI — 10%, VAS — 0 баллов). Через 6 месяцев после операции прошла все квалификационные испытания и получила звание «мастер спорта»,

выступала на Чемпионате России и Кубке России по спортивной гимнастике.

На контрольных КТ и постуральных рентгенограммах через 2 года — положение конструкции правильное, фиксация зоны спондилолиза стабильная, по данным КТ определяются лишь незначительные участки консолидации зон спондилолиза, полное сращение с закрытием спондилолизных дефектов отсутствует (рис. 6).

ОБСУЖДЕНИЕ

Спондилолиз является одной из наиболее частых причин боли в области поясницы у спортсменов [1, 5]. Отмечается, что спондилолиз чаще наблюдается при занятиях видами спорта, которые связаны с повторной осевой нагрузкой и/или гиперэкстензией поясничного отдела позвоночника с ротацией. Эти виды спорта включают гимнастику, танцы, футбол, плавание баттерфляем и брассом и др. [6, 7]. У подростков, занимающихся спортом, выше риск развития спондилолиза, при этом в среднем диагноз устанавливается в возрасте 15 лет [2, 8].

Диагностика спондилолиза, как правило, не представляет трудностей: при наличии жалоб на боли в пояснице выполняется рентгенография пояснично-крестцового отдела позвоночника с функциональными пробами (сгибание и разгибание туловища), на которой в ряде случаев можно визуализировать щель межсуставной части дужки. Более информативными для выявления спондилолизного дефекта являются рентгенограммы, выполненные в трёхчетвертной проекции. Безусловно, на современном этапе для верификации диагноза выполняются МРТ- и КТ-исследования. По данным КТ достоверно визуализируется дефект межсуставной части дужки и его характер. По данным МРТ определяется степень дегенеративных

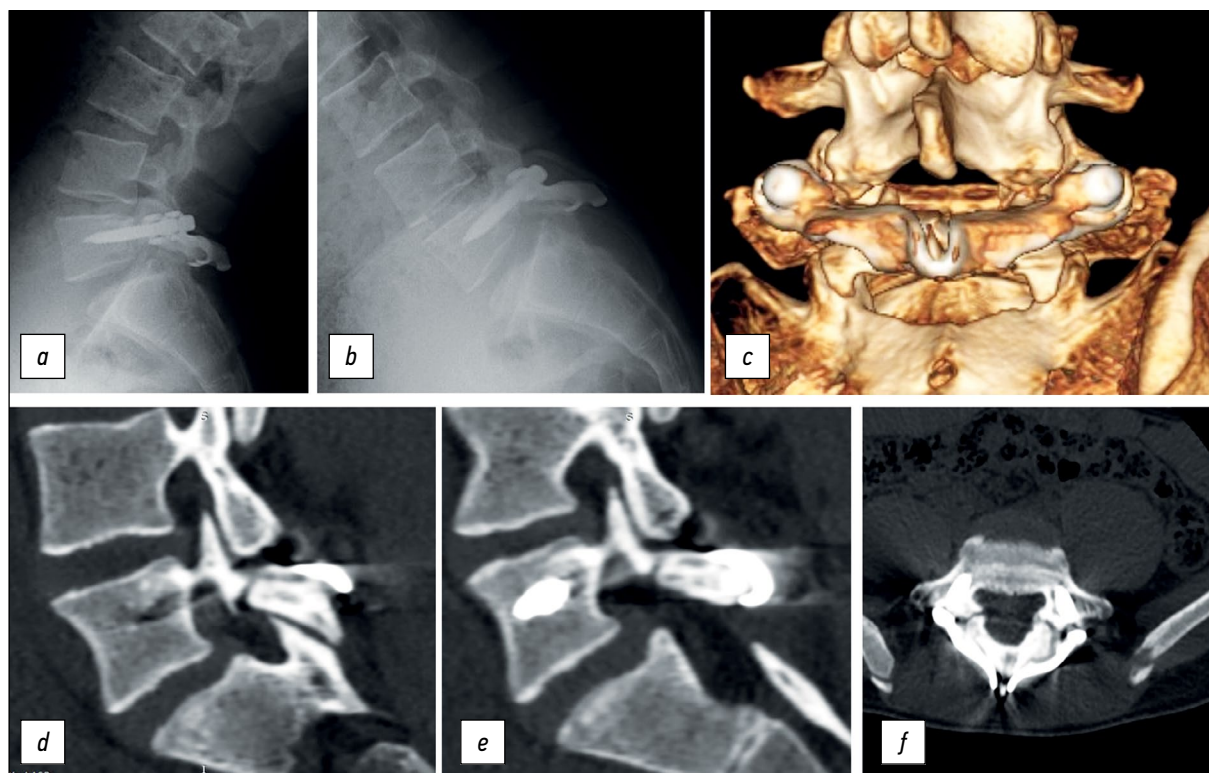


Рис. 6. Отдалённый результат через 2 года (положение конструкции правильное, фиксация зоны спондилолиза стабильная): *a, b* — рентгенография при сгибании и разгибании туловища — движения в сегменте L5-S1 сохранены, *c* — объёмная реконструкция компьютерной томографии, *d, e, f* — признаки лишь частичного сращения зон спондилолиза.

Fig. 6. 2 years follow-up (implant position is correct, fixation is stable): *a, b* — radiography flexion and extension X-ray, motion on L5-S1 level is preserved, *c* — CT reconstruction, *d, e, f* — absents of complete fusion of spondylolysis defects, fixation is stable.

изменений диска, дугоотростчатых суставов. Кроме того, по данным КТ и МРТ можно установить ряд факторов, имеющих прогностическое значение в успехе консервативного лечения. К. Fujii с соавт. определили три стадии формирования спондилолизного дефекта по КТ — раннюю, прогрессирующую и завершающуюся [9]. К. Sairyo с соавт. пришли к выводу, что ранняя стадия спондилолизного дефекта по данным КТ в сочетании с повышением уровня сигнала в корне дужки при T2-взвешенном режиме МРТ является благоприятным предиктором костного сращения дефекта у детей при консервативном лечении [10].

При спондилолизе, сопровождающемся болевыми ощущениями, в том числе у спортсменов, в первую очередь проводят консервативное лечение. Рекомендуются ограничение физических нагрузок, ношение корсета в течение 6–12 недель, физиотерапевтическое лечение, курс нестероидных противовоспалительных препаратов. Функциональное восстановительное лечение спортсменов и артистов балета включает три этапа: купирование болевого синдрома, восстановление опороспособности и стабильности позвоночника, восстановление специальных двигательных навыков. Кроме этого, при нарушениях кальций-фосфорного обмена у больных со спондилолизом назначаются препараты, содержащие активную форму витамина D, и препараты кальция [11].

По данным некоторых авторов, консервативное лечение приводит к купированию симптоматики и возвращению к спортивной активности до 98% случаев [2]. Сращение зоны спондилолизного дефекта при консервативном лечении отмечают в 50–76% случаев [2, 12].

Для профессиональных спортсменов затруднительно ограничивать физические нагрузки длительный период времени, нарушение ортопедического режима ведёт к снижению эффективности консервативной терапии [11]. При сохраняющемся дефекте межсуставной части дужки болевой синдром может возвращаться во время тренировочного процесса, что ставит вопрос об оперативном лечении.

Основным методом оперативного лечения спондилолиза является так называемая операция по прямому восстановлению целостности дужки (*direct repair of the defect in the pars interarticularis*). Были предложены различные методы операции: J.H. Scott в 1968 г. предложил фиксировать зону спондилолиза с помощью серкляжной проволоки [13], J.E. Buck в 1970 г. описал метод фиксации зоны спондилолиза с помощью канюлированных винтов, проведённых через дужку позвонка [14], E. Morscher в 1984 г. разработал устройство, представляющее собой винт, на который накручивался и фиксировался с помощью гайки субламинарный крючок [15].

В настоящее время при спондилолизе чаще всего применяют фиксацию транспедикулярными винтами

и U-образным стержнем, заведённым за остистый отросток [12], а также транспедикулярными винтами в сочетании с субламинарными крючками [13]. Кроме того, предложен ряд модификаций данных методик с использованием малоинвазивных доступов [16–21].

Важным преимуществом этих методик является возможность выполнить компрессию в зоне спондилолистного дефекта и сохранить подвижность в позвоночно-двигательном сегменте.

Тем не менее во всех применяемых на сегодняшний день методиках используются не специально изготовленные имплантаты, а серийные элементы металлоконструкций, предназначенных для выполнения сегментарной фиксации позвоночника при различных заболеваниях и повреждениях. Стержень для использования необходимо значительно изгибать, а субламинарные крючки не во всех случаях удобно и возможно установить.

Нередким при спондилолизе является наличие диспластических изменений задних элементов позвонков — *spina bifida* [22, 23]. Это, в свою очередь, может вызывать сложности при установке элементов конструкции.

Имеющийся в НМИЦ ТО им. Н.Н. Приорова опыт применения индивидуально изготовленных конструкций для оперативного лечения деформаций позвоночника [24] позволил предложить использование данного подхода и для лечения спондилолиза. Преимуществом такого решения, на наш взгляд, является полное соответствие имплантата анатомическим структурам позвонка, какие бы индивидуальные особенности или аномалии развития при этом ни присутствовали. Компьютерное моделирование позволяет выполнить проект конструкции, виртуализацию её установки во время операции. Также немаловажной является возросшая доступность использования аддитивных технологий для изготовления кастомизированных имплантатов. Публикаций о применении индивидуально изготовленных имплантатов для оперативного лечения спондилолиза в литературе нет. Приоритет и новизна предложенного способа лечения с использованием индивидуально изготовленного имплантата подтверждены соответствующим патентом Российской Федерации [25].

Отсутствие полного закрытия зон спондилолиза через 2 года по данным КТ у представленной пациентки не повлияло на клинический результат: даже при высоких спортивных нагрузках боль не беспокоит, признаков нестабильности нет. Это свидетельствует, на наш взгляд, о достаточной стабильности произведённой фиксации, необходимость удаления металлоконструкции отсутствует.

Таким образом, предложенный метод и применение индивидуально изготовленного имплантата позволили успешно провести операцию и добиться полного функционального восстановления и возвращения пациентки к тренировочному процессу и участию в соревнованиях.

Предложенная методика предусматривает вначале установку индивидуальной фиксирующей пластины и последующее проведение винтов через отверстия

в пластине, что сопряжено с необходимостью плотно удерживать пластину на дужке для сохранения ориентиров и точности проведения транспедикулярного винта. В дальнейшем планируется рассмотреть модификацию конструкции предложенного имплантата с возможностью установки в первую очередь серийных транспедикулярных винтов и установки индивидуальной пластины на винты с последующей контракцией и фиксацией.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Оперативное лечение спондилолиза L5 позвонка и восстановление целостности дужки позвонка без фиксации позвоночно-двигательного сегмента возможно выполнять с использованием индивидуально изготовленного имплантата. Потенциально применение кастомизированных имплантатов позволит улучшить результаты при сочетании спондилолиза с аномалиями и индивидуальными особенностями костных структур позвонка. В последующем возможно рассмотреть модификацию конструкции кастомизированного имплантата для более удобной и безопасной установки и возможности проводить редукцию позвонка при сочетании спондилолиза со спондилолистезом I–II степени.

ДОПОЛНИТЕЛЬНО

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства международным критериям ICMJE (все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией).

Источник финансирования. Авторы заявляют об отсутствии внешнего финансирования при проведении исследования и подготовке публикации.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с проведённым исследованием и публикацией настоящей статьи.

Информированное согласие. Авторы получили письменное согласие пациентки на публикацию её медицинских данных (31.06.2024 г.).

ADDITIONAL INFO

Author contribution. All authors confirm that their authorship meets the international ICMJE criteria (all authors have made a significant contribution to the development of the concept, research and preparation of the article, read and approved the final version before publication).

Funding source. The authors state that there is no external funding when conducting the research and preparing the publication.

Competing interests. The authors declare that they have no competing interests.

Consent for publication. The patient gave their written consent for publication of her medical data (June 31, 2024).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Wall J., Cook D.L., Meehan W.P. 3rd, Wilson F. Adolescent athlete low back pain diagnoses, characteristics, and management: A retrospective chart review // *J Sci Med Sport*. 2024. Vol. 27, № 9. P. 618–623. doi: 10.1016/j.jsams.2024.05.004
2. Choi J.H., Ochoa J.K., Lubinus A., et al. Management of lumbar spondylolysis in the adolescent athlete: a review of over 200 cases // *Spine J*. 2022. Vol. 22, № 10. P. 1628–1633. doi: 10.1016/j.spinee.2022.04.011
3. Gamada H., Tatsumura M., Okuwaki S., et al. Characteristics of lumbar spondylolysis: L5 versus non-L5 // *BMC Musculoskelet Disord*. 2024. Vol. 25, № 1. P. 55. doi: 10.1186/s12891-024-07190-x
4. McDonald B.T., Hanna A., Lucas J.A. Spondylolysis. [Updated 2023 Aug 7]. B: StatPearls [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing, 2024. Режим доступа: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513333/>
5. Mortazavi J., Zebardast J., Mirzashahi B. Low Back Pain in Athletes // *Asian J Sports Med*. 2015. Vol. 6, № 2. P. e24718. doi: 10.5812/asjms.6(2)2015.24718
6. Миронов С.П., Бурмакова Г.М., Орлецкий А.К., Цыкунов М.Б., Андреев С.В. Пояснично-крестцовые боли у спортсменов и артистов балета: спондилолиз и спондилолистез // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2019. № 2. С. 5–13. doi: 10.17116/vto20190215
7. Patel D.R., Kinsella E. Evaluation and management of lower back pain in young athletes // *Transl Pediatr*. 2017. Vol. 6, № 3. P. 225–235. doi: 10.21037/tp.2017.06.01
8. Hasler C.C. Back pain during growth // *Swiss Med Wkly*. 2013. Vol. 143. P. w13714. doi: 10.4414/smw.2013.13714
9. Fujii K., Katoh S., Saiyo K., Ikata T., Yasui N. Union of defects in the pars interarticularis of the lumbar spine in children and adolescents. The radiological outcome after conservative treatment // *J Bone Joint Surg Br*. 2004. Vol. 86, № 2. P. 225–31. doi: 10.1302/0301-620x.86b2.14339
10. Saiyo K., Sakai T., Yasui N. Conservative treatment of lumbar spondylolysis in childhood and adolescence: the radiological signs which predict healing // *J Bone Joint Surg Br*. 2009. Vol. 91, № 2. P. 206–9. doi: 10.1302/0301-620x.91B2.21256
11. Миронов С.П., Цыкунов М.Б., Бурмакова Г.М., Андреев С.В. Пояснично-крестцовые боли у спортсменов и артистов балета: спондилолиз и спондилолистез. Консервативное лечение // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2020. Т. 27, № 1. С. 11–18. doi: <https://doi.org/10.17816/vto202027111-18>
12. Tatsumura M., Gamada H., Okuwaki S., et al. Union evaluation of lumbar spondylolysis using MRI and CT in adolescents treated conservatively // *J Orthop Sci*. 2022. Vol. 27, № 2. P. 317–322. doi: 10.1016/j.jos.2021.01.002
13. Nicol R.O., Scott J.H. Lytic spondylolysis. Repair by wiring // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986. Vol. 11, № 10. P. 1027–30. doi: 10.1097/00007632-198612000-00011
14. Buck J.E. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report // *J Bone Joint Surg Br*. 1970. Vol. 52, № 3. P. 432–7.
15. 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* (1978). 1984. Vol. 103, № 3. P. 175–8. doi: 10.1007/BF00435550
16. Gillet P., Petit M. Direct repair of spondylolysis without spondylolisthesis, using a rod-screw construct and bone grafting of the pars defect // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999. Vol. 24, № 12. P. 1252–6. doi: 10.1097/00007632-199906150-00014
17. Tokuhashi Y., Matsuzaki H. Repair of defects in spondylolysis by segmental pedicular screw hook fixation. A preliminary report // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996. Vol. 21, № 17. P. 2041–5. doi: 10.1097/00007632-199609010-00023
18. Gillis C.C., Eichholz K., Thoman W.J., Fessler R.G. A minimally invasive approach to defects of the pars interarticularis: Restoring function in competitive athletes // *Clin Neurol Neurosurg*. 2015. Vol. 139. P. 29–34. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.08.024
19. Ghobrial G.M., Crandall K.M., Lau A., Williams S.K., Levi A.D. Minimally invasive direct pars repair with cannulated screws and recombinant human bone morphogenetic protein: Case series and review of the literature // *Neurosurg Focus*. 2017. Vol. 43, № 2. P. E6. doi: 10.3171/2017.5.FOCUS17153
20. Syundukov A.R., Nikolayev N.S., Kuzmina V.A., et al. Minimally invasive reconstruction of vertebral arch in spondylolisthesis in children and adolescents // *Sovremennye Tehnologii v Medicine*. 2021. Vol. 13, № 5. P. 62–8. doi: 10.17691/stm2021.13.5.08
21. Tatsumura M., Okuwaki S., Gamada H., et al. A Novel Technique for Pars Defect Direct Repair with a Modified Smiley Face Rod for Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis // *Spine Surg Relat Res*. 2023. Vol. 7, № 4. P. 396–401. doi: 10.22603/ssrr.2023-0021
22. Urrutia J., Zamora T., Cuellar J. Does the Prevalence of Spondylolysis and Spina Bifida Occulta Observed in Pediatric Patients Remain Stable in Adults? // *Clin Spine Surg*. 2017. Vol. 30, № 8. P. E1117–E1121. doi: 10.1097/BSD.0000000000000209
23. Fredrickson B.E., Baker D., McHolick W.J., Yuan H.A., Lubicky J.P. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis // *J Bone Joint Surg Am*. 1984. Vol. 66, № 5. P. 699–707.
24. Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Шкарубо А.Н., и др. Аддитивные технологии в хирургии деформаций позвоночника // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2018. № 3–4. С. 19–29. doi: 10.17116/vto201803-04119
25. Патент РФ на изобретение № 2798704 C1/ 23.06.23. МПК А61В 17/70. Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Захарин В.Р., и др. Способ хирургической фиксации зоны двухстороннего спондилолиза L5 позвонка с использованием металлического фиксирующего устройства. Режим доступа: <https://patents.google.com/patent/RU2798704C1/ru> EDN: IVKFIL

REFERENCES

1. Wall J, Cook DL, Meehan WP 3rd, Wilson F. Adolescent athlete low back pain diagnoses, characteristics, and management: A retrospective chart review. *J Sci Med Sport*. 2024;27(9):618–623. doi: 10.1016/j.jsams.2024.05.004
2. Choi JH, Ochoa JK, Lubinus A, et al. Management of lumbar spondylolysis in the adolescent athlete: a review of over 200 cases. *Spine J*. 2022;22(10):1628–1633. doi: 10.1016/j.spinee.2022.04.011

3. Gamada H, Tatsumura M, Okuwaki S, et al. Characteristics of lumbar spondylolysis: L5 versus non-L5. *BMC Musculoskelet Disord*. 2024;25(1):55. doi: 10.1186/s12891-024-07190-x
4. McDonald BT, Hanna A, Lucas JA. Spondylolysis. [Updated 2023 Aug 7]. In: *StatPearls* [Internet]. Treasure Island (FL): StatPearls Publishing; 2024. Available from: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513333/>
5. Mortazavi J, Zebardast J, Mirzashahi B. Low Back Pain in Athletes. *Asian J Sports Med*. 2015;6(2):e24718. doi: 10.5812/asjsm.6(2)2015.24718
6. Mironov SP, Burmakova GM, Orletsky AK, Tsykunov MB, Andreev SV. Lumbosacral pain in athletes and ballet dancers: spondylolysis and spondylolisthesis. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2019;(2):5–13. doi: 10.17116/vto20190215
7. Patel DR, Kinsella E. Evaluation and management of lower back pain in young athletes. *Transl Pediatr*. 2017;6(3):225–235. doi: 10.21037/tp.2017.06.01
8. Hasler CC. Back pain during growth. *Swiss Med Wkly*. 2013;143:w13714. doi: 10.4414/smw.2013.13714
9. Fujii K, Katoh S, Sairyo K, Ikata T, Yasui N. Union of defects in the pars interarticularis of the lumbar spine in children and adolescents. The radiological outcome after conservative treatment. *J Bone Joint Surg Br*. 2004;86(2):225–31. doi: 10.1302/0301-620x.86b2.14339
10. Sairyo K, Sakai T, Yasui N. Conservative treatment of lumbar spondylolysis in childhood and adolescence: the radiological signs which predict healing. *J Bone Joint Surg Br*. 2009;91(2):206–9. doi: 10.1302/0301-620X.91B2.1256
11. Mironov SP, Cykunov MB, Burmakova GM, Andreev SV. Lumbosacral pain in athletes and ballet dancers: spondylolysis and spondylolisthesis. Conservative treatment. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2020;27(1):11–18. doi: 10.17816/vto202027111-18
12. Tatsumura M, Gamada H, Okuwaki S, et al. Union evaluation of lumbar spondylolysis using MRI and CT in adolescents treated conservatively. *J Orthop Sci*. 2022;27(2):317–322. doi: 10.1016/j.jos.2021.01.002
13. Nicol RO, Scott JH. Lytic spondylolysis. Repair by wiring. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1986;11(10):1027–30. doi: 10.1097/00007632-198612000-00011
14. Buck JE. Direct repair of the defect in spondylolisthesis. Preliminary report. *J Bone Joint Surg Br*. 1970;52(3):432–7.
15. 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* (1978). 1984;103(3):175–8. doi: 10.1007/BF00435550
16. Gillet P, Petit M. Direct repair of spondylolysis without spondylolisthesis, using a rod-screw construct and bone grafting of the pars defect. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1999;24(12):1252–6. doi: 10.1097/00007632-199906150-00014
17. Tokuhashi Y, Matsuzaki H. Repair of defects in spondylolysis by segmental pedicular screw hook fixation. A preliminary report. *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996;21(17):2041–5. doi: 10.1097/00007632-199609010-00023
18. Gillis CC, Eichholz K, Thoman WJ, Fessler RG. A minimally invasive approach to defects of the pars interarticularis: Restoring function in competitive athletes. *Clin Neurol Neurosurg*. 2015;139:29–34. doi: 10.1016/j.clineuro.2015.08.024
19. Ghobrial GM, Crandall KM, Lau A, Williams SK, Levi AD. Minimally invasive direct pars repair with cannulated screws and recombinant human bone morphogenetic protein: Case series and review of the literature. *Neurosurg Focus*. 2017;43(2):E6. doi: 10.3171/2017.5.FOCUS17153
20. Syundukov AR, Nikolayev NS, Kuzmina VA, et al. Minimally invasive reconstruction of vertebral arch in spondylolisthesis in children and adolescents. *Sovremennye Tehnologii v Medicine*. 2021;13(5):62–8. doi: 10.17691/stm2021.13.5.08
21. Tatsumura M, Okuwaki S, Gamada H, et al. A Novel Technique for Pars Defect Direct Repair with a Modified Smiley Face Rod for Spondylolysis and Isthmic Spondylolisthesis. *Spine Surg Relat Res*. 2023;7(4):396–401. doi: 10.22603/ssr.2023-0021
22. Urrutia J, Zamora T, Cuellar J. Does the Prevalence of Spondylolysis and Spina Bifida Occulta Observed in Pediatric Patients Remain Stable in Adults? *Clin Spine Surg*. 2017;30(8):E1117–E1121. doi: 10.1097/BSD.0000000000000209
23. Fredrickson BE, Baker D, McHolick WJ, Yuan HA, Lubicky JP. The natural history of spondylolysis and spondylolisthesis. *J Bone Joint Surg Am*. 1984;66(5):699–707.
24. Kuleshov AA, Vetrile MS, Shkarubo AN, et al. Additive technologies in surgical treatment of spinal deformities. *N.N. Priorov Journal of Traumatology and Orthopedics*. 2018;(3–4):19–29. doi: 10.17116/vto201803-04119
25. Patent RUS № 2798704 C1/ 06/23/23. IPC A61B 17/70. Kuleshov AA, Vetrile MS, Zakharin VR, et al. A method for surgical fixation of the zone of bilateral spondylolysis of the L5 vertebra using a metal fixing device. Available from: <https://patents.google.com/patent/RU2798704C1/ru> (In Russ.) EDN: IVKFIL

ОБ АВТОРАХ

* **Ветрилэ Марчел Степанович**, канд. мед. наук;
адрес: Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10;
ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@mail.ru

Кулешов Александр Алексеевич, д-р мед. наук;
ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

AUTHORS' INFO

* **Marchel S. Vetrile**, MD, Cand. Sci. (Medicine);
address: 10 Priorov str., 127299 Moscow, Russia;
ORCID: 0000-0001-6689-5220;
eLibrary SPIN: 9690-5117;
e-mail: vetrilams@mail.ru

Alexander A. Kuleshov, MD, Dr. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-9526-8274;
eLibrary SPIN: 7052-0220;
e-mail: cito-spine@mail.ru

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

Макаров Сергей Николаевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Лисянский Игорь Николаевич, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Захарин Виталий Романович;
ORCID: 0000-0003-1553-2782;
eLibrary SPIN: 2931-0703;
e-mail: zakhvit@gmail.com

Кокорев Алексей Иванович, канд. мед. наук;
ORCID: 0000-0002-5829-6372;
eLibrary SPIN: 7734-8476;
e-mail: leo-strelec@mail.ru

Аганесов Николай Александрович;
ORCID: 0000-0001-5383-6862;
eLibrary SPIN: 1805-5790;
e-mail: kolyanzer@yandex.ru

Sergey N. Makarov, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0003-0406-1997;
eLibrary SPIN: 2767-2429;
e-mail: moscow.makarov@gmail.com

Igor N. Lisyansky, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-2479-4381;
eLibrary SPIN: 9845-1251;
e-mail: lisigornik@list.ru

Vitaly R. Zakharin, MD;
ORCID: 0000-0003-1553-2782;
eLibrary SPIN: 2931-0703;
e-mail: zakhvit@gmail.com

Alexey I. Kokorev, MD, Cand. Sci. (Medicine);
ORCID: 0000-0002-5829-6372;
eLibrary SPIN: 7734-8476;
e-mail: leo-strelec@mail.ru

Nikolay A. Aganesov, MD;
ORCID: 0000-0001-5383-6862;
eLibrary SPIN: 1805-5790;
e-mail: kolyanzer@yandex.ru