

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ СПОНДИЛОЛИСТЕЗА L5 ПОЗВОНКА У ДЕТЕЙ

Корняков П.Н.¹, Виссарионов С.В.², Сяндюков А.Р.¹

¹ФГБУ «Федеральный центр травматологии, ортопедии и эндопротезирования» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Чебоксары, e-mail: PashaT-1000@mail.ru;

²Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации

На сегодняшний день существует множество подходов к хирургическому лечению детей со спондилолистезом L5 позвонка. Задачи хирургического лечения: остановить прогрессирование листеза, устранить компрессию нервных структур, купировать вертеброгенный болевой синдром; обеспечить создание сбалансированного позвоночно-тазового взаимоотношения. Решение данных задач возможно осуществить из различных хирургических доступов. С развитием знаний о сагиттальном балансе изменяется подход к редукции L5 позвонка, положение которого влияет на позвоночно-тазовое взаимоотношение и сагиттальный профиль в целом. Цель исследования - проанализировать литературу, содержащую информацию о хирургическом лечении пациентов со спондилолистезом L5 позвонка. Материалы и методы. В статье рассмотрены результаты поиска в электронных базах данных PubMed, eLibrary с использованием комбинаций операторов и ключевых слов. Было выбрано 50 источников (иностраные и отечественные) без ретроспективного ограничения поиска. Результаты и обсуждение. Изложены современные литературные данные, демонстрирующие преимущества и недостатки каждого доступа. Показано влияние редукции L5 позвонка на параметры позвоночно-тазового взаимоотношения - как положительные, так и отрицательные. Указаны особенности этих параметров в детском возрасте. Заключение. Нет единого мнения о тактике хирургического лечения спондилолистеза L5 позвонка. Тип деформации зависит от данных сагиттального профиля, индивидуального для каждого человека. Требуется разработка персонализированного подхода к лечению данной патологии.

Ключевые слова: спондилолистез, сагиттальный баланс, позвоночно-тазовое взаимоотношение, редукция позвонка, хирургический доступ при спондилолистезе.

SURGICAL TREATMENT OF L5 VERTEBRAL SPONDYLOLISTHESIS IN CHILDREN

Korniyakov P.N.¹, Vissarionov S.V.², Syundyukov A.R.¹

¹Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Arthroplasty, Cheboksary, e-mail: PashaT-1000@mail.ru;

²H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg

There are many approaches to the surgical treatment of children with L5 vertebral spondylolisthesis now. The objectives of surgical treatment are to stop the progression of tuberculosis, eliminate compression of nerve structures, stop vertebrogenic pain syndrome; ensure the creation of a balanced vertebral-pelvic relationship. The solution of these tasks can be carried out from various surgical approaches. With the development of knowledge about sagittal balance, the approach to the reduction of the L5 vertebra is changing, the position of which affects the vertebral-pelvic relationship and the sagittal profile as a whole. The purpose of the study was to analyze the literature containing information on the surgical treatment of patients with L5 vertebral spondylolisthesis. Materials and methods. The article examines the search results in the electronic databases PubMed, eLibrary using combinations of operators and keywords. 50 sources (foreign and domestic) were selected without retrospective search restrictions. Results and discussion. The modern literature data are presented, which demonstrate the advantages and disadvantages of each access. The effect of the reduction of the L5 vertebra on the parameters of the vertebral-pelvic relationship, both positive and negative, is shown. The features of these parameters in childhood are indicated. Conclusion. There is no consensus on the tactics of surgical treatment of L5 vertebral spondylolisthesis. The type of deformation depends on the data of the sagittal profile, which is individual for each person. It requires the development of a personalized approach to the treatment of this pathology.

Keywords: spondylolisthesis, sagittal balance, vertebral-pelvic relationship, vertebral reduction, surgical access in spondylolisthesis.

Введение

Спондилолистез – патологическое состояние, характеризующееся трансляцией одного позвонка по отношению к другому. В зависимости от степени смещения оно может протекать бессимптомно или иметь выраженную клиническую симптоматику, сопровождающуюся неврологическим дефицитом. Первое описание спондилолистеза дал бельгийский акушер Herbinaux (1782), выявивший костный выступ в родовых путях, над крестцом, затрудняющий прохождение плода [1]. Термин «спондилолистез» предложил Kilian (1854): от spondylos (греч. «позвонок») и olysthesis (греч. «соскальзывание»), с этого времени началось активное изучение данной патологии как самостоятельного заболевания [2].

Типичная клиническая картина включает в себя наличие болевого синдрома в пояснично-крестцовой области, возникающего при физических нагрузках в более поздние сроки и в покое, а также усиление болевого синдрома при движениях [3]. При спондилолистезе высокой степени 90% пациентов имеют прогрессирующее соскальзывание, что приводит к неврологическим нарушениям: напряжение подколенных мышц, снижение чувствительности и силы мышц в голени, недержание мочи, нарушение контроля сфинктера. Происходит развитие сагиттального дисбаланса, сначала компенсаторное увеличение поясничного лордоза, затем формирование пояснично-крестцового кифоза с ретроверсией таза [4].

Задачи хирургического лечения пациентов со спондилолистезом L5 позвонка: остановить прогрессирование листеза, устранить компрессию нервных структур, купировать вертеброгенный болевой синдром, обеспечить создание сбалансированного позвоночно-тазового взаимоотношения. На данный момент применяются классические вертебрологические методики, целью которых является фиксация L5 позвонка и создание условий для спондилодеза при помощи дорсальных или вентральных имплантов. Также применяется методика фиксации дужки к телу L5 позвонка без фиксации сегмента [5]. Основной проблемой в лечении спондилолистеза остается выбор тактики хирургического лечения [6]. Среди спорных вопросов - выбор доступа (изолированный задний, передний, комбинированный), отношение к редукции (фиксация без редукции (in situ), полная редукция, частичная редукция), а также достижение сбалансированного сагиттального профиля.

Цель исследования - проанализировать литературу, содержащую информацию о хирургическом лечении пациентов со спондилолистезом L5 позвонка.

Материалы и методы

В статье рассмотрены результаты поиска в электронных базах данных PubMed, eLibrary с использованием комбинаций операторов. Ключевые слова, применяемые для поиска: спондилолистез у детей; сагиттальный баланс при спондилолистезе; хирургическое лечение спондилолистеза; позвоночно-тазовое взаимоотношение; редукция при спондилолистезе;

неврологические осложнения; spondylolisthesis in children; sagittal balance in spondylolisthesis; surgical treatment of spondylolisthesis; spinopelvic relationship; reduction in spondylolisthesis; neurological complications. Исключены работы, посвященные спондилолистезу, отличные от истмического и диспластического. Было выбрано 50 источников (иностранные и отечественные) без ретроспективного ограничения поиска до 2024 года. Из них 7 отечественных и 43 иностранные научные работы. При выборе источников литературы для последующего анализа и синтеза информации предпочтение отдавали публикациям в высокорейтинговых международных журналах, а также исследованиям с высоким уровнем доказательности. С учетом разнообразия описанных методик лечения и данных для их суммирования и анализа был избран формат нарративного обзора, позволяющего последовательно структурировать и изложить основные факты, представленные в литературе по данной проблеме.

Результаты исследования и их обсуждение

Важным моментом в лечении пациентов со спондилолистезом является доступ: применяются изолированный задний, изолированный передний и комбинированный доступы. Опубликовано множество различных данных, указывающих на преимущество одного доступа перед другим.

Основными преимуществами переднего доступа являются достижение большего сегментарного лордоза, лучшая коррекция наклона L5 позвонка в сагиттальной проекции (Lumbosacral angle LSA), восстановление высоты диска по сравнению с задним поясничным межтеловым спондилодезом (Posterior Lumbar Interbody Fusion - PLIF) [7; 8]. При использовании переднего поясничного межтелового спондилодеза (Anterior Lumbar Interbody Fusion - ALIF) происходит «непрямая» декомпрессия нервных структур - за счет увеличения высоты межпозвоночного диска и редукции расширяется фораминальное отверстие L5-S1. К осложнениям данного доступа авторы относят инфекцию (1,1%), симпатическую дисфункцию (5,7%), ретроградную эякуляцию (1,1%), травму подвздошной вены (1,1%), послеоперационную грыжу (1,1%), повреждение латерального кожного нерва бедра (1,1%) и синдром смежного уровня (2,3%), при этом подчеркивая небольшой шанс их развития (~ 14%) в общей сумме [9; 10]. Rathbone J. с соавт. в систематическом обзоре литературы пришли к выводу, что при выполнении методики ALIF в сравнении с PLIF отмечаются меньшие кровопотеря, длительность операции и госпитализации (количество койко-дней), и по показателям JOAS, боли в спине (ВАШ) и ODI ALIF превосходит PLIF [11].

Изолированный задний доступ позволяет добиться всех поставленных целей с меньшим риском: коррекция LSA, редукция тела позвонка, формирование заднего и переднего спондилодеза, прямая декомпрессия нервных структур. При этом, несмотря на техническую

сложность, с помощью данного метода можно выполнить все манипуляции с меньшими рисками и хорошими результатами [12-14].

Осложнения, связанные с использованием переднего доступа, являются очень серьезными, влияющими на дальнейшее качество жизни. Ретроградная эякуляция в детском возрасте приводит к бесплодию, что может стать критичным для будущего мужчины. Травма крупных сосудов может привести к летальному исходу. Задний доступ лишен таких рисков. Vouyer В. с соавт. отмечают, что дорсальная транспедикулярная фиксация достаточно прочна, не требует в послеоперационном периоде внешней иммобилизации; операция только с помощью заднего доступа позволяет избежать осложнений, связанных с передним доступом [15]. Виссарионов С.В. с соавт. описывают, что из изолированного заднего доступа можно решить задачи радикулопатии L5 с неврологической клиникой, устранить все признаки нестабильности в данном позвоночно-двигательном сегменте и избежать рисков и травматичности, связанных с двухэтапной операцией, выполненной из двух доступов [16]. Задний доступ всегда дополняется межтеловым спондилодезом для уменьшения нагрузки на винты и риска их дестабилизации [17; 18]. К основному осложнению данного доступа относят транзиторную нейропатию L5 корешка (от 14% до 50%) с полной регрессией в течение 3-6 месяцев; не описано ни одного случая инфекционных осложнений, формирования псевдоартроза [13-15]. Выполняется как классический доступ со скелетизацией всех дорсальных отделов, так и малоинвазивный межмышечный доступ по Wiltse [12; 18; 19].

Комбинированный доступ включает в себя преимущества и недостатки обоих методов. Helenius I. с соавт. при объединении рентгенографических и функциональных результатов получили небольшие различия между тремя группами (задний, передний, комбинированный спондилодез) при оценке данных 17-летнего наблюдения: средний балл индекса нетрудоспособности Освестри составил 9,7 для группы с задним доступом, 8,9 - для группы с передним доступом и 3,0 - для группы с комбинированным доступом; спондилодез сформирован в 86%, 100% и 96% случаев соответственно [20].

Alijanipour P. с соавт. в результатах наблюдения 11 случаев указали на отсутствие таких осложнений, как перелом металлоконструкции, нестабильность межтелового импланта, псевдоартроз или ретроградная эякуляция при комбинированном доступе; выявленные осложнения составили по 1 случаю (9,1%) поверхностной инфекции и транзиторной невралгии [21]. Комбинированный доступ позволяет достичь формирования полного спондилодеза, хороших клинических результатов, включая эстетические аспекты, с минимальным риском осложнений, по сравнению с другими доступами [22; 23]. Это может быть связано с меньшей инвазией и травматичностью при комбинированном доступе, который не требовал стабилизации сегмента спереди, так как включал этап заднего доступа с

установкой транспедикулярной фиксации. Снизить травматичность также позволяет метод установки дорсальной конструкции транскутаным методом – декомпрессия и редукция осуществляется посредством ALIF, а транспедикулярная конструкция устанавливается через кожные проколы при помощи редукционных девайсов [23].

Спорным аспектом в хирургии спондилолистеза L5 позвонка является отношение к редукции. Различают полную редукцию, отсутствие редукции (фиксация *in situ*), частичную редукцию.

Взгляд на редукцию изменился после изучения позвоночно-тазового взаимоотношения, сагиттального баланса и их влияния на спондилолистез L5 позвонка. До начала XXI века данное патологическое состояние рассматривалось как изолированное заболевание пояснично-крестцового отдела. Вся диагностика, методы хирургического лечения и их оценка проводились по рентгенограммам этого сегмента позвоночника.

Впервые параметры позвоночно-тазового взаимоотношения описал в 1992 году G. Duval-Beaupere с соавт., выделив основные параметры пояснично-тазового взаимоотношения - Pelvic incidence (PI), Sacral slope (SS), Pelvic Tilt (PT) - и доказав корреляцию между величиной поясничного лордоза (LL) и показателями SS, PI и PT [24]. Данные исследования возродили интерес к рентгенологической оценке позвоночно-тазового баланса и позволили с иной позиции оценить результаты лечения пациентов со спондилолистезом L5 позвонка. Последующие исследования показали прямую зависимость между высоким PI и истмическим спондилолистезом [25].

В последнее десятилетие все чаще отмечается, что сагиттальный баланс является ключевым фактором лечения спондилолистеза L5. Hresko M.T. с соавт. в 2007 году ввели понятие «сбалансированный» (PT низкий) и «несбалансированный» (высокий PT) таз [26]. Учитывая индивидуальную вариативность PI и то, что понятия «низкий» и «высокий» PT будут индивидуальными, расчет четкой границы у детей и подростков в доступной литературе не был найден.

Новые данные стали основанием для разработки современной классификации, помимо ранее открытых: Митбрейта, Wiltse, Meyerding, Marchetti-Bartolozzi. Spinal Deformity Study Group (SDSG) представила упрощенную и уточненную классификацию спондилолистеза L5 позвонка [27], основанную на параметрах сагиттального профиля, выделив 6 групп. Средние показатели определены при исследовании нормальных значений сагиттального профиля у здоровых взрослых людей [28].

Так как PI является основным определяющим параметром сагиттального профиля и является индивидуальной константой каждого человека, соответственно, «нормальных»

значений, подходящих для каждого человека, быть не может. При дальнейшем изучении данного вопроса были выведены формулы для каждого параметра, основанные на PI [7].

Так как PI у детей увеличивается по мере зрелости костного скелета [29], Кулешов А.А. с соавт. пришли к выводу, что нужно изучить нормальные параметры сагиттального баланса у детей в пределах возрастной группы, так как это необходимо для правильного предоперационного планирования. Высокое значение PI у детей со спондилолистезом не подходит для расчета по формулам, потому что это приводит к избыточно высоким цифрам поясничного лордоза и грудного кифоза. Соответственно, достижение теоретических показателей, рассчитанных по формулам, может привести к заведомо негативному результату [30]. В последующем авторы вывели средние значения для детей и подростков, достижение которых позволяет получить хороший рентгенологический и клинический результаты [5]. Но, как и в случае со взрослым населением, PI остается индивидуальным параметром для каждого человека, и, возможно, в будущем будут разработаны формулы для детей и подростков разных возрастных групп, что позволит улучшить качество лечения.

Кроме того, важное значение в позвоночно-тазовом взаимоотношении имеет угол наклона L5 позвонка - lumbosacral angle (LSA). Измерение этого взаимоотношения имеет множество различных вариантов, но в целом они отображают положение тела L5 позвонка относительно крестца [31]. При листезах высокой степени по Meyerding формируется кифоз пояснично-крестцового отдела. Учитывая полученные данные, редукция рассматривается как способ не только уменьшения степени соскальзывания позвонка, но также и изменения положения L5 позвонка относительно других структур в цепочке позвоночно-тазового взаимоотношения и сагиттального баланса в целом.

Основными аргументами противников редукции являются меньший риск неврологических осложнений, более быстрое формирование спондилодеза, технически меньшая травматичность, требующая меньшего количества хирургического инструментария. Отмечается, что редукция позвонка доказательно не меняет позвоночно-тазовое взаимоотношение и, соответственно, в ней нет смысла. Так как фиксация *in situ* была более распространена в 70-90-х годах прошлого века, опубликованы отдаленные результаты, в которых в качестве преимуществ данного метода приводятся высокая удовлетворенность качеством жизни, отсутствие выраженных изменений в смежном сегменте по итогам 25-летнего наблюдения [32].

При оценке отдаленных (14,8 года) результатов пациентов (средний возраст на момент операции 14,7 года) Poussa M. с соавт., сравнивая две группы - с редукцией и фиксацией *in situ*, - отмечают, по данным индекса Освестри, лучший клинический результат во 2-й группе (7,2 против 1,6). По опроснику SRS лучшие результаты также продемонстрированы второй

группой (90,0 против 103,9). Кроме того, при МРТ-исследовании дегенерация межпозвоночного диска в проксимальном смежном сегменте была более выраженной в группе с редукцией, нежели в группе с фиксацией *in situ* [33].

Сравнение групп с редукцией и фиксацией *in situ* демонстрирует схожие рентгенологические результаты, однако пациентам из группы с редукцией чаще требовались повторные операции (40%), при этом самыми частыми причинами явились формирование псевдоартроза (15%), сохранение нейропатии, отсутствие эффекта консервативного лечения (15%) [34]. С другой стороны, снижение листеза с уровня *high-grade* до *low-grade* улучшает психическое здоровье, а достижение нормальных показателей позвоночно-тазового взаимоотношения является главным фактором для улучшения качества жизни - к таким выводам при исследовании 61 ребенка (средний возраст 14,4 года на момент операции) пришли Mac-Thiong J.M. с соавт. [35].

Из положительных моментов редукции большинство авторов отмечают более частое и быстрое формирование спондилодеза за счет увеличения площади контактных поверхностей, подчеркивая положительное влияние редукции на позвоночно-тазовое взаимоотношение и глобальный баланс, лучший эстетический результат, причем неврологические риски носят транзиторный характер [36-38]. С помощью редукции также возможно положительно повлиять на показатель параметра LSA (коррекция от 24,7° до 34°). По мнению ряда авторов, это достаточно важно, поскольку LSA играет ключевую роль в коррекции спондилолистеза L5 позвонка, что подтверждается прямой корреляцией между функциональным результатом и степенью коррекции LSA [37; 39; 40].

Спорным моментом остается влияние редукции на тазовые индексы PT и SS, поскольку даже с изменением LSA эти параметры существенно не меняются [36; 41]. В то же время другие авторы говорят о положительном изменении параметров PT и SS при редукции, улучшающей тем самым общий сагиттальный баланс [42-44].

Отдаленные результаты оперативного лечения, при котором проводилась фиксация по методике *in situ*, основаны на данных операций, проведенных в 80-е и 90-е годы, когда понимание сагиттального баланса не было столь объемным и целью редукции было увеличение площади контактных поверхностей с уменьшением риска псевдоартроза, а не восстановление позвоночно-тазовых взаимоотношений.

Одним из серьезных осложнений после редукции L5 позвонка является нейропатия L5 корешка, но при последующем наблюдении отмечается полный регресс неврологических нарушений в течение 3-24 месяцев. Schär R.T. с соавт. при изучении неврологических осложнений пришли к выводу, что применение интраоперационного нейромониторинга снижает риск необратимых неврологических нарушений до минимума. Все пациенты,

имевшие неврологические нарушения после операции, полностью восстановились, причем большинство из них - в первые 3 месяца наблюдения [45]. Соответственно, риск нейропатии после редукции существует, но неврологическая клиника носит транзиторный характер и на отдаленные результаты не влияет.

Опубликован ряд статей, описывающих отношение к редукции как к необязательному этапу. Joelson A. с соавт. считают проведение частичной редукции выполнимым «по возможности», достаточной для достижения удовлетворительного результата [46]. Mac-Thiong J.M. с соавт. на основании сбалансированности таза и кифозирование L5 позвонка разделяют показания для полной и частичной редукции. В случае сбалансированного таза и LSA <65 градусов важно проводить редукцию не полностью, оставляя процент соскальзывания $\geq 10\%$. Если имеется дисбаланс таза и LSA ≥ 65 градусов, то необходимо проводить процедуру TLIF/PLIF на уровне L5-S1 для коррекции угловой деформации и редукции L5 позвонка. Такой подход улучшает качество жизни, связанное со здоровьем (health-related quality of life HRQoL) [47].

Petraco D.M. с соавт. в экспериментальной работе на кадаверном материале показали, что риск развития нейропатии L5 нерва во время редукции за счет его натяжения приходится на вторую ее половину (71% от общего натяжения нерва), поэтому при high grade спондилолистезе (более 50% соскальзывания) частичная репозиция будет более безопасна, чем полная. Коррекция LSA также может снизить натяжение за счет контракции задних отделов, что приводит к укорочению дорсальных структур [48].

Сюндюков А.Р. с соавт. в своей работе по изучению результатов хирургического лечения спондилолиза и low grade спондилолистеза указывают на то, что дооперационные показатели позвоночно-тазового взаимоотношения нормальные, не требуют коррекции и после операции не меняются; целью хирургии в подобных случаях является устранение стойкого болевого синдрома [49].

Nahle I.S. с соавт. рассматривают проблему на уровне проксимального бедренного угла (proximal femoral angle - PFA), отмечая, что нормализация PFA приводит к восстановлению самооценки, улучшению функции и снижению болевого синдрома, соответственно, спондилодез in situ предпочтительнее при нормальном предоперационном PFA; в противном случае требуется редукция [50].

Заключение

Спондилолистез L5 позвонка у детей и подростков по сей день остается актуальной проблемой. В настоящее время нет единого подхода к вопросу выбора доступа, отношения к редукции - различные данные имеют свою доказательную базу и нередко противоречивы. Предоперационное планирование и результаты лечения обязательно должны оцениваться с

учетом данных сагиттального баланса, однако отношение к изменениям позвоночно-тазового взаимоотношения и сагиттального баланса в целом также неоднозначно. Требуется единый персонафицированный подход к лечению, учитывающий все вышеописанные аспекты.

Список литературы

1. Митбрейт И.М. Спондилолистез. М., 1978. 272 с. ISBN: 978-5-458-38692-0.
2. Михайловский М.В. Этапы развития вертебральной хирургии: исторический экскурс // *Хирургия позвоночника*. 2004. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/etapy-razvitiya-vertebralnoy-hirurgii-istoricheskiy-ekskurs>.
3. Cavalier R, Herman MJ, Cheung EV, Pizzutillo PD. Spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents: I. Diagnosis, natural history, and nonsurgical management // *J Am Acad Orthop Surg*. 2006 Jul;14(7):417-24. DOI: 10.5435/00124635-200607000-00004. PMID: 16822889.
4. Sakhrekar R, Ha JS, Kim DH, Kim CW, Kulkarni S, Han HD. Philosophies and Surgical Techniques for High-Grade Spondylolisthesis Treatment with Literature Review // *J Orthop Case Rep*. 2024 Jan;14(1):165-172. DOI: 10.13107/jocr.2024.v14.i01.4188. PMID: 38292085; PMCID: PMC10823803.
5. Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Захарин В.Р., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Изменение позвоночно-тазовых взаимоотношений у детей со спондилолистезом после оперативного лечения и их корреляция с оценкой качества жизни // *Хирургия позвоночника*. 2023;20(2):32-39. DOI: 10.14531/ss2023.2.32-39.
6. Takahashi K, Yamagata M, Takayanagi K, Tauchi T, Hatakeyama K, Moriya H. Changes of the sacrum in severe spondylolisthesis: a possible key pathology of the disorder // *J Orthop Sci*. 2000;5(1):18-24. DOI: 10.1007/s007760050004. PMID: 10664435.
7. Крутько А.В. Сагиттальный баланс. Гармония в формулах. Новосибирск: АНО «Клиника НИИТО». 2016; 67 с. EDN YVUYQF.
8. Lightsey HM 4th, Pisano AJ, Striano BM, Crawford AM, Xiong GX, Hershman S, Schoenfeld AJ, Simpson AK. ALIF Versus TLIF for L5-S1 Isthmic Spondylolisthesis: ALIF Demonstrates Superior Segmental and Regional Radiographic Outcomes and Clinical Improvements Across More Patient-reported Outcome Measures Domains // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2022 Jun 1;47(11):808-816. DOI:10.1097/BRS.0000000000004333. Epub 2022 Feb 3. PMID: 35125462.
9. Formica M, Quarto E, Zanirato A, Mosconi L, Lontaro-Baracchini M, Alessio-Mazzola M, Felli L. ALIF in the correction of spinal sagittal misalignment. A systematic review of literature // *Eur Spine J*. 2021 Jan;30(1):50-62. DOI:10.1007/s00586-020-06598-y. Epub 2020 Sep 15. PMID: 32930843.

10. Khalifé M, Dauzac C, Lenoir T, Magrino B. Isthmic spondylolisthesis treated with circumferential arthrodesis (ALIF and posterior fixation): correction, fusion and indirect decompression // *Acta Orthop Belg.* 2021 Dec;87(4):787-794. DOI: 10.52628/87.4.27. PMID: 35172449.
11. Rathbone J, Rackham M, Nielsen D, Lee SM, Hing W, Riar S, Scott-Young M. A systematic review of anterior lumbar interbody fusion (ALIF) versus posterior lumbar interbody fusion (PLIF), transforaminal lumbar interbody fusion (TLIF), posterolateral lumbar fusion (PLF) // *Eur Spine J.* 2023 Jun;32(6):1911-1926. DOI: 10.1007/s00586-023-07567-x. Epub 2023 Apr 18. PMID: 37071155.
12. Moreau S, Lonjon G, Guigui P, Lenoir T, Garreau de Loubresse C, Chopin D. Reduction and fusion in high-grade L5-S1 spondylolisthesis by a single posterior approach. Results in 50 patients // *Orthop Traumatol Surg Res.* 2016 Apr;102(2):233-7. DOI:10.1016/j.otsr.2015.12.016. Epub 2016 Feb 26. PMID: 26922043.
13. Faldini C, Barile F, Ialuna M, Manzetti M, Viroli G, Vita F, Traversari M, Rinaldi A, Cerasoli T, Paolucci A, D'Antonio G, Ruffilli A. High-grade dysplastic spondylolisthesis: surgical technique and case series // *Musculoskelet Surg.* 2022 Oct 1. DOI: 10.1007/s12306-022-00763-w. Epub ahead of print. Erratum in: *Musculoskelet Surg.* 2022 Nov 9;: PMID: 36183053.
14. Guo Z, Chen Z, Qi Q, Li W, Zeng Y, Sun C. [The treatment of severe lumbar dysplastic spondylolisthesis]. *Zhonghua Wai Ke Za Zhi.* 2014 Nov;52(11):845-50. Chinese. PMID: 25604024.
15. Bouyer B, Bachy M, Courvoisier A, Dromzee E, Mary P, Vialle R. High-grade lumbosacral spondylolisthesis reduction and fusion in children using transsacral rod fixation // *Childs Nerv Syst.* 2014 Mar;30(3):505-13. DOI: 10.1007/s00381-013-2260-z. Epub 2013 Aug 18. PMID: 23955179.
16. Виссарионов С.В., Мурашко В.В., Белянчиков С.М., Кокушин Д.Н., Солохина И.Ю., Гусева И.А., Мурашко Т.В., Павлова М.С. Хирургическое лечение спондилолистеза L5 позвонка у детей. Возможности заднего доступа // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2014;2(3):24-33. DOI: 10.17816/PTORS2324-33.
17. Beck AW, Simpson AK. High-Grade Lumbar Spondylolisthesis // *Neurosurg Clin N Am.* 2019 Jul;30(3):291-298. DOI: 10.1016/j.nec.2019.02.002. PMID: 31078229.
18. Rivollier M, Marlier B, Kleiber JC, Eap C, Litre CF. Surgical treatment of high-grade spondylolisthesis: Technique and results // *J Orthop.* 2020 Aug 25;22:383-389. DOI: 10.1016/j.jor.2020.08.015. PMID: 32952331; PMCID: PMC7486580.
19. Hoffmann CH, Kandziora F. Minimal-invasive transforaminale lumbale interkorporelle Fusion [Minimally invasive transforaminal lumbar interbody fusion] // *Oper Orthop Traumatol.* 2020

Jun;32(3):180-191. German. DOI: 10.1007/s00064-020-00660-0. Epub 2020 May 23. PMID: 32447419.

20. Helenius I, Remes V, Poussa M. Uninstrumented in situ fusion for high-grade childhood and adolescent isthmic spondylolisthesis: long-term outcome. Surgical technique // *J Bone Joint Surg Am*. 2008 Mar;90 Suppl 2 Pt 1:145-52. DOI: 10.2106/JBJS.G.01186. PMID: 18310693.

21. Alijanipour P, Heffernan MJ, King AGS. Single-level fusion without decompression for high-grade spondylolisthesis in adolescents: a novel surgical strategy // *Spine Deform*. 2021 Sep;9(5):1457-1464. DOI: 10.1007/s43390-021-00352-0. Epub 2021 Apr 22. PMID: 33886114.

22. Štulík J, Nesnídal P, Kozelnická K, Barna M. Operační léčba vysokostupňových vysoce dysplastických spondylolistéz u mladých jedinců – prospektivní monocentrická studie 29 pacientů [Surgical Treatment of High-Grade High-Dysplastic Spondylolistheses in Young Patients - Prospective Monocentric Study of 29 Patients] // *Acta Chir Orthop Traumatol Cech*. 2018;85(5):305-318. Czech. PMID: 30383526.

23. Tye EY, Tanenbaum JE, Alonso AS, Xiao R, Steinmetz MP, Mroz TE, Savage JW. Circumferential fusion: a comparative analysis between anterior lumbar interbody fusion with posterior pedicle screw fixation and transforaminal lumbar interbody fusion for L5-S1 isthmic spondylolisthesis // *Spine J*. 2018 Mar;18(3):464-471. DOI:10.1016/j.spinee.2017.08.227. Epub 2017 Aug 15. PMID: 28821444.

24. Duval-Beaupère G., Schmidt C., Cosson P. A barycentremetric study of the sagittal shape of spine and pelvis: The conditions required for an economic standing position // *Ann Biomed Eng* 20, 451–462 (1992). DOI: 10.1007/BF02368136.

25. Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E, Transfeldt E, O'Brien M, Chopin D, Hresko T, Dimnet J. Spondylolisthesis, pelvic incidence, and spinopelvic balance: a correlation study // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2004 Sep 15;29(18):2049-54. DOI: 10.1097/01.brs.0000138279.53439.cc. PMID: 15371707.

26. Hresko MT, Labelle H, Roussouly P, Berthonnaud E. Classification of high-grade spondylolistheses based on pelvic version and spine balance: possible rationale for reduction // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2007 Sep 15;32(20):2208-13. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31814b2cee. PMID: 17873812.

27. Mac-Thiong JM, Labelle H. A proposal for a surgical classification of pediatric lumbosacral spondylolisthesis based on current literature // *Eur Spine J*. 2006 Oct;15(10):1425-35. DOI: 10.1007/s00586-006-0101-4. Epub 2006 Jun 7. PMID: 16758151.

28. Vialle R, Levassor N, Rillardon L, Templier A, Skalli W, Guigui P. Radiographic analysis of the sagittal alignment and balance of the spine in asymptomatic subjects // *J Bone Joint Surg Am*. 2005 Feb;87(2):260-7. DOI: 10.2106/JBJS.D.02043. PMID: 15687145.

29. Bekmez S, Demirkiran HG, Dede O, Atici Y, Balioglu MB, Kruyt M, Ward T, Yazici M. Spinal Instrumentation in Growing Children Retards the Natural Development of Pelvic Incidence // *J Pediatr Orthop*. 2019 Mar;39(3):141-145. DOI: 10.1097/BPO.0000000000000882. PMID: 30730418.
30. Кулешов А.А., Ветрилэ М.С., Захарин В.Р., Овсянкин А.В., Кузьминова Е.С., Лисянский И.Н., Макаров С.Н., Струнина Ю.В. Сравнительная характеристика параметров сагиттального баланса у детей в норме и со спондилолистезом // *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2021;29(1):25–33. DOI: 10.17816/vto105177.
31. Dubousset J. Treatment of spondylolysis and spondylolisthesis in children and adolescents // *Clin Orthop Relat Res*. 1997 Apr;(337):77-85. DOI: 10.1097/00003086-199704000-00010. PMID: 9137179.
32. Joelson A, Hedlund R, Frennered K. Normal Health-Related Quality of Life and Ability to Work Twenty-nine Years After in Situ Arthrodesis for High-Grade Isthmic Spondylolisthesis // *J Bone Joint Surg Am*. 2014 Jun 18;96(12):e100. DOI: 10.2106/JBJS.M.00064. PMID: 24951743.
33. Poussa M, Remes V, Lamberg T, Tervahartiala P, Schlenzka D, Yrjönen T, Osterman K, Seitsalo S, Helenius I. Treatment of severe spondylolisthesis in adolescence with reduction or fusion in situ: long-term clinical, radiologic, and functional outcome // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2006 Mar 1;31(5):583-90; discussion 591-2. DOI: 10.1097/01.brs.0000201401.17944.f7. PMID: 16508556.
34. Rocos B, Strantzas S, Zeller R, Lewis S, Tan T, Lebel D. What is the Optimal Surgical Method for Achieving Correction and Avoiding Neurological Complications in Pediatric High-grade Spondylolisthesis? // *J Pediatr Orthop*. 2021 Mar 1;41(3):e217-e225. DOI: 10.1097/BPO.0000000000001707. PMID: 33165266.
35. Mac-Thiong JM, Hresko MT, Alzakri A, Parent S, Sucato DJ, Lenke LG, Marks M, Labelle H. Criteria for surgical reduction in high-grade lumbosacral spondylolisthesis based on quality of life measures // *Eur Spine J*. 2019 Sep;28(9):2060-2069. DOI: 10.1007/s00586-019-05954-x. Epub 2019 Mar 26. PMID: 30915579.
36. Amritanand R, Arockiaraj J, David KS, Krishnan V. Does the Surgical Reduction of High Grade Spondylolisthesis Restore Spino-Pelvic Alignment? An Analysis of 35 Patients // *Asian Spine J*. 2021 Oct;15(5):596-603. DOI: 10.31616/asj.2020.0252. Epub 2020 Nov 16. PMID: 33189106; PMCID: PMC8561152.
37. Štulík J, Geri G, Barna M, Klézl Z. High-grade high-dysplastic lumbosacral spondylolisthesis in children treated with complete reduction and single-level circumferential fusion: A prospective case series // *Brain Spine*. 2022 Jan 29;2:100871. DOI: 10.1016/j.bas.2022.100871. PMID: 36248175; PMCID: PMC9560694.

38. Koucheiki R, Rocos B, Gandhi R, Lewis SJ, Lebel DE. Surgical management of high-grade paediatric spondylolisthesis: meta-analysis and systematic review // *Eur Spine J*. 2023 Feb;32(2):436-446. DOI: 10.1007/s00586-022-07408-3. Epub 2022 Oct 5. PMID: 36197510.
39. Deckey DG, Kalish LA, Hedequist D, Emans J, Proctor M, Glotzbecker M, Karlin L, Snyder B, Hresko MT. Surgical Treatment of Developmental Spondylolisthesis: Contemporary Series With a Two-Surgeon Team // *Spine Deform*. 2019 Mar;7(2):275-285. DOI: 10.1016/j.jspd.2018.08.004. PMID: 30660222.
40. Koller H, Mühlenkamp K, Hitzl W, Koller J, Ferraris L, Hostettler IC, Hempfing A. Surgical outcomes with anatomic reduction of high-grade spondylolisthesis revisited: an analysis of 101 patients // *J Neurosurg Spine*. 2021 Sep 17:1-11. DOI: 10.3171/2021.3.SPINE202091. Epub ahead of print. PMID: 34534956.
41. Martikos K, Greggi T, Faldini C. High grade isthmic spondylolisthesis; can reduction always re-align the unbalanced pelvis? // *BMC Musculoskelet Disord*. 2019 Oct 29;20(1):499. DOI: 10.1186/s12891-019-2865-9. PMID: 31664969; PMCID: PMC6820946.
42. Schlösser TPC, Garrido E, Tsirikos AI, McMaster MJ. Health-related quality of life and sagittal balance at two to 25 years after posterior transfixation for high-grade dysplastic spondylolisthesis // *Bone Jt Open*. 2021 Mar;2(3):163-173. DOI: 10.1302/2633-1462.23.BJO-2020-0194.R1. PMID: 33677995; PMCID: PMC8009898.
43. Alzakri A, Labelle H, Hresko MT, Parent S, Sucato DJ, Lenke LG, Marks MC, Mac-Thiong JM. Restoration of normal pelvic balance from surgical reduction in high-grade spondylolisthesis // *Eur Spine J*. 2019 Sep;28(9):2087-2094. DOI: 10.1007/s00586-019-05973-8. Epub 2019 Apr 15. PMID: 30989359.
44. Faldini C, Di Martino A, Perna F, Martikos K, Greggi T, Giannini S. Changes in spino-pelvic alignment after surgical treatment of high-grade isthmic spondylolisthesis by a posterior approach: a report of 41 cases // *Eur Spine J*. 2014 Oct;23 Suppl 6:714-9. DOI: 10.1007/s00586-014-3552-z. Epub 2014 Sep 13. PMID: 25217240.
45. Schär RT, Sutter M, Mannion AF, Eggspühler A, Jeszenszky D, Fekete TF, Kleinstück F, Haschtmann D. Outcome of L5 radiculopathy after reduction and instrumented transforaminal lumbar interbody fusion of high-grade L5-S1 isthmic spondylolisthesis and the role of intraoperative neurophysiological monitoring // *Eur Spine J*. 2017 Mar;26(3):679-690. DOI: 10.1007/s00586-017-4964-3. Epub 2017 Jan 31. PMID: 28138779.
46. Joelson A, Danielson BI, Hedlund R, Wretenberg P, Frennered K. Sagittal Balance and Health-Related Quality of Life Three Decades After in Situ Arthrodesis for High-Grade Isthmic Spondylolisthesis // *J Bone Joint Surg Am*. 2018 Aug 15;100(16):1357-1365. DOI: 10.2106/JBJS.17.01415. PMID: 30106816.

47. Mac-Thiong JM, Hresko MT, Alzakri A, Parent S, Sucato DJ, Lenke LG, Marks M, Goulet J, Labelle H. A Surgical Treatment Algorithm for Restoring Pelvic Balance and Health-related Quality of Life in High-grade Lumbosacral Spondylolisthesis: Prospective Multicenter Cohort of 61 Young Patients // *Clin Spine Surg*. 2023 Dec 1;36(10):E442-E452. DOI: 10.1097/BSD.0000000000001499. Epub 2023 Jul 19. PMID: 37482639.
48. Petraco DM, Spivak JM, Cappadona JG, Kummer FJ, Neuwirth MG. An anatomic evaluation of L5 nerve stretch in spondylolisthesis reduction // *Spine (Phila Pa 1976)*. 1996 May 15;21(10):1133-8; discussion 1139. DOI: 10.1097/00007632-199605150-00002. PMID: 8727186.
49. Сюндюков А.Р., Николаев Н.С., Кузьмина В.В., Александров С.А., Корняков П.Н., Емельянов В.Ю. Малоинвазивная реконструкция дуги позвонка при спондилолистезе у детей и подростков // *Современные технологии в медицине*. 2021;13(5):62-69. DOI: 10.17691/stm2021.13.5.08
50. Nahle IS, Labelle H, Parent S, Joncas J, Mac-Thiong JM. The impact of surgical reduction of high-grade lumbosacral spondylolisthesis on proximal femoral angle and quality of life // *Spine J*. 2019 Apr;19(4):670-676. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.10.001. Epub 2018 Oct 5. PMID: 30296577.