

ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ПАЦИЕНТОВ С ТЯЖЕЛЫМИ ФОРМАМИ ИДИОПАТИЧЕСКОГО СКОЛИОЗА

¹Виссарионов С.В., ¹Рыбинских Т.С., ¹Асадулаев М.С.,
¹Кокушин Д.Н., ¹Белянчиков С.М., ¹Тория В.Г.

¹Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург, e-mail: timofey1999r@gmail.com

Цель: провести анализ публикаций, посвященных результатам лечения пациентов с тяжелыми формами идиопатического сколиоза. Поиск данных осуществляли в базах данных PubMed, ScienceDirect, eLibrary, GoogleScholar за период с 2000 по 2025 г. на английском и русском языках. В работу включен материал 7 отечественных и 40 иностранных научных статей, большая часть из них опубликована в последние 10 лет. С учетом разнообразия описанных методик лечения и данных для их суммирования и анализа был избран формат нарративного обзора. Современную концепцию лечения детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза можно представить как коррекцию деформации позвоночника в сочетании с мобилизирующими вмешательствами (дискапофизэктомия, halo-тракция, различные виды остеотомий позвоночника и т.д.) и стабилизацию достигнутого результата дорсальным инструментарием, позволяющим добиться оптимального эффекта. Наибольшим потенциалом коррекции тяжелой сколиотической деформации обладают процедуры трехколонных остеотомий позвоночника и комбинации нескольких мобилизирующих вмешательств. Лечение пациентов с тяжелыми формами идиопатического сколиоза остается нерешенной проблемой. В настоящее время используются различные хирургические методики коррекции деформации, однако отсутствует четкий алгоритм лечения пациентов данной группы, что обуславливает актуальность дальнейших исследований по данной проблеме.

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, сколиоз, хирургическое лечение, тяжелые формы, остеотомии позвоночника.

SURGICAL TREATMENT OF PATIENTS WITH SEVERE RIGID IDIOPATHIC SCOLIOSIS

¹Vissarionov S.V., ¹Rybinskih T.S., ¹Asadulaev M.S.,
¹Kokushin D.N., ¹Belyanchikov S.M., ¹Toriya V.G.

¹H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery,
Saint Petersburg, e-mail: timofey1999r@gmail.com

Aim: To analyze publications devoted to the results of treating patients with severe forms of idiopathic scoliosis. The data search was carried out in the PubMed, ScienceDirect, eLibrary, GoogleScholar databases for the period from 2000 to 2025 in English and Russian. The work includes the material of 7 domestic and 40 foreign scientific articles, most of them published in the last 10 years. The modern concept of treating children with severe idiopathic scoliosis can be presented as correction of spinal deformity in combination with mobilizing interventions (discapophysectomy, halo-traction, various types of spinal osteotomies, etc.) and stabilization of the achieved result with posterior instrumentation, which allows achieving the optimal effect. The greatest potential for correcting severe scoliotic deformity is possessed by three-column spinal osteotomies and a combination of several mobilizing. Treatment of patients with severe idiopathic scoliosis remains an unsolved problem. Currently, various surgical techniques are used to correct the deformity, but there is no clear algorithm for treating patients in this group, which determines the relevance of further research on this problem.

Keywords: severe scoliosis, neglected scoliosis, rigid scoliosis, adolescent idiopathic scoliosis, idiopathic scoliosis, scoliosis, surgical treatment.

Введение

Идиопатический сколиоз является одной из самых распространенных форм деформаций позвоночника в структуре заболеваний среди всех возрастных групп. Частота

встречаемости данной патологии среди детей школьного возраста, согласно данным различных источников, колеблется от 0,47% до 5,2% [1].

Несмотря на отсутствие четкого определения понятия тяжелых форм идиопатического сколиоза, по данным научной литературы, к последним принято относить ригидные (т.е. коррекция основной дуги искривления <20-30% на функциональных снимках) деформации с величиной основной дуги более 80-90° по Cobb [2; 3]. Некоторые авторы также выделяют «сверхтяжелые», «экстремальные» деформации (с величиной искривления более 110-120° по Cobb) [4; 5].

Подобные деформации среди всех пациентов с идиопатическим сколиозом встречаются достаточно редко, однако составляют значительную долю в структуре больных специализированных вертебрологических отделений, представляя наиболее сложные клинические случаи [6]. Так, по данным Михайловского М.В., доля пациентов с идиопатическим сколиозом с деформацией более 90° по Cobb, получавших хирургическое лечение в клинике Новосибирского научно-исследовательского института травматологии и ортопедии им. Я.Л. Цивьяна с 2002 по 2008 г., составила 29,2% [5].

Многоплоскостная деформация позвоночника неизбежно приводит к вторичной деформации ребер, что сопровождается изменением формы грудной клетки в целом и, как результат, вызывает нарушение нормального расположения и функции органов дыхания и сердечно-сосудистой системы. Такие изменения, безусловно, оказывают значительное влияние на качество и продолжительность жизни пациентов с данной патологией [7].

Методом выбора при лечении детей с тяжелыми прогрессирующими формами идиопатического сколиоза является хирургический [8]. Оперативное лечение данной категории пациентов сопряжено с рядом сложностей и проблем: повышенный риск неврологических осложнений, недостаточная коррекция деформации, возникновение дыхательной недостаточности, нестабильность металлоконструкции в отдаленном периоде наблюдения и другие [2; 3].

С начала XX века хирургия деформаций позвоночника получила значительное развитие, пройдя путь от методик заднего спондилодеза до современных сложных реконструктивных вмешательств с применением высокотехнологичного позвоночного инструментария [9]. На сегодняшний день «золотым стандартом» для хирургического лечения пациентов с деформациями позвоночника являются транспедикулярные спинальные системы. Их эффективность в сравнении с металлоконструкциями предыдущего поколения доказана многочисленными работами отечественных и зарубежных исследователей [10; 11].

Современную концепцию лечения тяжелых форм идиопатического сколиоза можно представить как коррекцию деформации позвоночника во всех трех плоскостях в сочетании с

мобилизирующими вмешательствами (дискапофизэктомия, предоперационная/интраоперационная halo-тракция, различные виды остеотомий позвоночника и т.д.), стабилизацию достигнутого результата многоопорной металлоконструкцией, которая позволяет добиться оптимального эффекта [3; 12]. Данные вмешательства могут быть осуществлены как за одну хирургическую сессию, так и разделены на этапы [13].

За последние десятилетия предложены и внедрены в клиническую практику различные варианты оперативных вмешательств, направленных на коррекцию искривления позвоночного столба [2; 12]. Однако в настоящее время отсутствует четкий алгоритм в лечении детей подросткового возраста с тяжелыми формами идиопатического сколиоза. Кроме того, в научной литературе крайне мало работ, которые были бы посвящены сравнительному анализу тактических подходов в лечении данной категории пациентов.

Цель исследования: провести анализ публикаций, посвященных результатам лечения детей подросткового возраста с тяжелыми формами идиопатического сколиоза.

Материалы и методы исследования

В статье представлен обзор литературы, посвященный методам хирургического лечения пациентов подросткового возраста с наиболее тяжелыми формами идиопатического сколиоза. Поиск литературы осуществляли в базах данных PubMed, ScienceDirect, eLibrary, GoogleScholar за период с 2000 по 2025 г. на английском и русском языках по следующим ключевым словам: идиопатический сколиоз; сколиоз; хирургическое лечение; тяжелые формы severe scoliosis; neglected scoliosis; rigid scoliosis; adolescent idiopathic scoliosis; idiopathic scoliosis; scoliosis; surgical treatment. В работу включен материал 7 отечественных и 40 иностранных научных статей, большая часть из них опубликована в последние 10 лет. 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

Комбинация переднего релиза и дорсальной коррекции инструментарием

При лечении пациентов подросткового возраста с тяжелыми формами идиопатического сколиоза традиционно использовался вентральный релиз в объеме дискэктомии и корпородеза с последующей дорсальной коррекцией и стабилизацией достигнутого результата [14]. Основной целью вентрального вмешательства является достижение

мобильности основной дуги искривления с целью создания условий оптимальной коррекции деформации и истинной деротации апикальных позвонков. Кроме того, формирование переднего корпороза обеспечивает условия для сохранения достигнутого результата лечения в отдаленном послеоперационном периоде и профилактики развития феномена «коленчатого вала» [15].

Процедура переднего релиза включает торакотомию на выпуклой стороне искривления, резекцию передней продольной связки, субтотальную дискэктомию и резекцию замыкательных пластинок позвонков, а также в некоторых случаях резекцию задней продольной связки и головок ребер [12; 13]. Из открытого торакотомического доступа обычно можно удалить четыре-пять межпозвоночных дисков, что позволяет эффективно укоротить передний отдел позвоночника и добиться истинной апикальной деротации вершинных позвонков, необходимой для коррекции тяжелых и ригидных деформаций [15].

Васюра А.С. и соавторы в 2006 году опубликовали результаты лечения 79 пациентов (средний возраст – 15,5 лет) с идиопатическим сколиозом с величиной основной дуги более 90°. В исследование вошли 14 больных, которым одномоментно была выполнена мобилизирующая дискапофизэктомия на вершине деформации с последующей коррекцией деформации и стабилизацией достигнутого результата дорсальным инструментарием III поколения. Средняя величина деформации во фронтальной плоскости уменьшилась со 106,4° до 59,6° (коррекция составила 44%) [16]. В аналогичном исследовании Ветрилэ С.Т. и соавторов, но уже в 2009 г., были получены сопоставимые результаты – средняя величина деформации в 100,6° в ходе проведения операции уменьшилась до 56° (коррекция составила 46%) [9]. Михайловский М.В. и соавторы сообщают о результатах лечения 15 пациентов (средний возраст – 16,1 года) со средней величиной сколиотической деформации 129,9°, в результате применения аналогичной тактики лечения данный показатель был уменьшен до 72,5° (коррекция составила 44,2%). При этом в данную группу пациентов вошли 5 из 15 детей, которым не выполнялся вентральный этап в связи с выраженными явлениями дыхательной недостаточности [5].

Комбинация переднего релиза и транспедикулярных спинальных систем, по сравнению с дорсальным инструментарием I-III поколения, позволяет достигать большей коррекции. По данным систематического обзора Dwarakanath L.V. и соавторов, различным группам исследователей удавалось с помощью данной тактики лечения с использованием транспедикулярных металлоконструкций достигнуть коррекции деформации с величиной основной дуги искривления 80-100° по Cobb во фронтальной плоскости до 48-72% [14].

Альтернативой открытому торакотомическому вмешательству является видеоассистированная торакоскопическая хирургия [2]. Данные многочисленных

исследований свидетельствуют о том, что при сопоставимой величине коррекции торакоскопический подход позволяет уменьшить отрицательное влияние на функцию легких, снизить количество осложнений, достичь более быстрого восстановления в послеоперационном периоде [15]. Однако необходимо отметить, что выполнение эндоскопической дискэктомии технически затруднено при деформациях более 90° в связи с ограниченным пространством в грудной полости для манипуляций [17].

С ростом популярности транспедикулярных спинальных систем в лечении деформаций позвоночника в научной литературе стали появляться сообщения об отсутствии необходимости в переднем релизе даже при значительных искривлениях позвоночного столба [14; 15]. Однако абсолютное большинство данных исследований сообщает о лечении пациентов с величиной деформации до 90° по Cobb, а сами авторы допускают использование переднего релиза у пациентов с более тяжелыми формами деформаций [16; 18].

Использование вытяжения при хирургическом лечении пациентов с идиопатическим сколиозом

Попытки применения аксиальной тракции при лечении пациентов с деформациями позвоночника имеют глубокую историю. Широко известны работы Гиппократ, Галена, Ибн Сины с описанием различных методик вытяжения [19]. Методы вытяжения на современном этапе развития хирургии позвоночника направлены на более медленную и полноценную коррекцию тяжелых форм деформаций позвоночного столба. Основное преимущество вытяжения состоит в том, что коррекция тяжелых деформаций выполняется постепенно, что позволяет контролировать неврологический статус и снизить напряжение на металлоконструкцию при окончательной коррекции деформации [20; 21].

Процедура вытяжения представляет собой использование фиксирующего устройства (halo-аппарат, скоба Mayfield, скоба Gardner-Wells, краниальная скоба и др.), которое устанавливается за голову пациента и осуществляет вытяжение в противоположную сторону за счет фиксации и опоры со стороны нижних конечностей или тазового кольца. Основными вариантами тракции являются: halo-фemorальное, halo-тибиальное, halo-тазовое и halo-гравитационное вытяжение [20; 22]. Вытяжение может применяться в предоперационном периоде, интраоперационно, а также между этапами хирургических вмешательств (переднего и дорсального) [19; 23].

Как в отечественной, так и в зарубежной научной литературе достаточно большое число работ посвящено применению halo-тракции в лечении пациентов с тяжелыми деформациями позвоночника [19; 22]. Однако эти публикации имеют ряд общих недостатков: отсутствие контрольной группы пациентов без использования вытяжения, применение устаревшего инструментария I-III поколения, использование дополнительных

мобилизирующих вмешательств, различная этиология деформаций в одной группе исследования, разные протоколы вытяжения и др. [20; 24]. Все это затрудняет объективную оценку роли halo-тракции в лечении пациентов с тяжелыми формами идиопатического сколиоза [20].

Mehrpour S. с соавторами в 2017 году опубликовали результаты лечения 23 пациентов (у 16 из 23 причиной деформации являлся идиопатический сколиоз, средний возраст пациентов составил 12,7 года) с помощью предоперационного halo-гравитационного/halo-фemorального вытяжения с последующей коррекцией транспедикулярными спинальными системами. Средняя величина деформации позвоночника до операции составила 100° по Cobb, после операции – 49,5° (коррекция составила 50%) [24].

Paul D. Sponseller и соавторы провели исследование, в котором сравнивали результаты лечения 23 пациентов с идиопатическим сколиозом с использованием предоперационного курса halo-тракции и без него, величина деформации позвоночника у всех пациентов составила более 90° по Cobb (средние значения по группам составили 97° и 93°, средний возраст пациентов 14 и 15 лет соответственно). Окончательное значение коррекции составило 64% и 61%, а частота осложнений статистически значимо не различалась. Однако в контрольной группе исследования 25% пациентов выполнялась остеотомия позвоночника VCR (vertebral column resection, далее - VCR) на вершине деформации, была зарегистрирована большая кровопотеря и продолжительность хирургического вмешательства [20].

Исследований, посвященных эффективности ИОТ (интраоперационной скелетной тракции, далее - ИОТ), крайне мало, а их результаты противоречивы. Разработчики дорсального инструментария III поколения Y. Cotrel и J. Dubousset в одной из первых публикаций, посвященных его использованию, рекомендовали повсеместное применение интраоперационного вытяжения в лечении пациентов с идиопатическим сколиозом [19]. В последующем появились работы, подтверждающие преимущество ИОТ при использовании инструментария III поколения. Однако были получены противоречивые данные о частоте осложнений, влиянии ИОТ на сагиттальный профиль позвоночника, общую продолжительность хирургического вмешательства и интраоперационную кровопотерю [20].

В исследовании Ветрилэ С.Т. и соавторов сравнивали результаты лечения пациентов с идиопатическим сколиозом с помощью инструментария III поколения, одной из групп пациентов (63 пациента) проводился курс предоперационного halo-тазового вытяжения, другой группе (66 пациентов) система halo-тазового вытяжения накладывалась только интраоперационно. Значимых различий в результатах лечения между пациентами двух групп обнаружено не было, средняя величина коррекции составила 55,4% и 56,4% соответственно [9].

В научной литературе публикации, посвященные целесообразности ИОТ при использовании транспедикулярных систем, носят единичный характер. В исследовании Azmi Namzaoglu и соавторов представлены результаты лечения 15 пациентов (средний возраст - 17,8 года) со средней величиной деформации 122° с помощью транспедикулярных систем и интраоперационной тракции. Средняя величина коррекции основной дуги искривления составила 51%. В ходе исследования о каких-либо значимых осложнениях авторы не сообщали [25].

Несмотря на то, что практически отсутствуют научные работы, напрямую сравнивающие предоперационную и интраоперационную halo-тракцию в сочетании с современными транспедикулярными системами, можно отметить, что результаты данных исследований сопоставимы и средняя величина коррекции составляет порядка 50%. Значимых различий в частоте осложнений также обнаружить не удалось [24; 25]. Большая величина коррекции при использовании инструментария III поколения в приведенном ранее исследовании объясняется меньшей величиной деформации у данной категории пациентов.

Осложнения при использовании halo-тракции, по данным различных работ, включают: повреждение черепных нервов, плечевого сплетения, нижний парапарез, переломы костей черепа, интракраниальные гематомы, повреждение твердой мозговой оболочки, инфекцию в области крепления halo-аппарата и др. [26]. Однако указываемая частота данных осложнений в научных работах крайне вариабельна, и большая часть исследователей сообщает о безопасности данной тактики лечения [22; 27]. В систематическом обзоре Changsheng Yang и соавторов указывается общая частота осложнений, связанных с halo-тракцией, 22%. Большую часть из них составляли инфекция области крепления стержней, плохая переносимость процедуры вытяжения (боль, тошнота, головокружение и др.). Частота неврологических осложнений составила 1%, что соответствует общей частоте неврологических осложнений при хирургическом лечении идиопатического сколиоза [28].

Использование временного эндокорректора

Временная внутренняя дистракция (temporary internal distraction, далее - TID) подразумевает установку опорных элементов в верхней и нижней частях деформации позвоночника, аналогично методам, используемым в растущих стержневых системах. Метод был предложен как альтернатива предоперационному halo-вытяжению, особенно в случаях, когда оно противопоказано (нестабильность шейного отдела позвоночника и т.д.) [4; 29]. Количество процедур дистракции может варьироваться от одной до нескольких [30; 31]. Необходимо отметить, что некоторые исследователи использовали магнитно-расширяемые стержни и малоинвазивную методику имплантации [32]. Buchowski J.M. с соавт. представили результаты лечения 10 пациентов (средний возраст - 12 лет) с идиопатическим и

нейромышечным сколиозом с помощью TID. Средняя величина деформации составила 104° по Cobb, мобильность на функциональных снимках составила в среднем 16%. Пациенты проходили от одной до двух процедур дистракции перед окончательной коррекцией и спондилодезом. Кроме того, большинству пациентов выполняли передний и/или задний релиз. Среднее время между первой и окончательной операцией составило 2,4 недели. Средняя величина коррекции деформации во фронтальной плоскости составила 80%. Ни у одного из пациентов не зарегистрировано неврологических осложнений или инфекции области хирургического вмешательства [33]. Величина коррекции при использовании методики TID, по данным многих исследователей, сопоставима с результатами использования процедуры VCR [31; 34; 35].

Daniel Vadin и соавторы в 2022 году опубликовали результаты схожего исследования (51 пациент с идиопатическим, нейромышечным и врожденным сколиозом, средний возраст пациентов – 14,3 года). Однако исследователи сообщают о гораздо более высокой частоте осложнений: у 5,8% пациентов зарегистрировано расхождение краев раны, у 9,7% глубокая инфекция области хирургического вмешательства, у 2% смещение транспедикулярного опорного элемента и у 2% парез нижних конечностей в отдаленном периоде после хирургического вмешательства [31].

Остеотомии позвоночника в лечении идиопатического сколиоза

Ригидность тяжелых деформаций позвоночника, невозможность оптимальной коррекции деформации при использовании стандартных хирургических методик диктуют необходимость использования различных вариантов остеотомий позвоночного столба [36]. В последние годы эти технологии стали наиболее широко использоваться в лечении пациентов с идиопатическим сколиозом. По данным литературных источников, считается, что разработанные остеотомии позвоночного столба обеспечивают оптимальную величину коррекции имеющегося искривления, особенно при тяжелых формах деформации. Выбор вариантов остеотомий, применяемых при хирургическом лечении тяжёлых форм идиопатического сколиоза, зависит от начального значения сколиотической и кифотической величины основной дуги искривления, локализации основной дуги деформации, наличия сагиттального и фронтального дисбаланса, соматического статуса пациента и технических возможностей хирурга [2; 37].

Одноколонные остеотомии позвоночника (Ponte, Smith-Peterson)

В 1945 году Smith-Peterson впервые описал резекцию синостозированных суставных отростков для коррекции кифотических деформаций при анкилозирующем спондилите. Коррекция кифотического компонента искривления достигалась за счет механического

разгибания позвоночного столба с целью смыкания образовавшегося клинообразного дефекта на уровне задней опорной колонны позвоночного столба [2; 36].

В 1984 году Ponte A. и соавторы описали укорочение задней колонны позвоночного столба путем применения остеотомии на нескольких уровнях с последующей компрессией и фиксацией при лечении пациентов с болезнью Шойермана. Предложенная остеотомия включает резекцию дугоотростчатых суставов, межкостистой и желтой связок [38]. Остеотомия Ponte (Ponte osteotomy, далее - PO) схожа с остеотомией Smith-Peterson (Smith-Peterson osteotomy, далее - SPO), данные термины часто используются как синонимы. Однако сам Alberto Ponte акцентирует внимание на том, что PO применяется на нескольких уровнях в грудном отделе позвоночника, а SPO изначально использовалась в поясничном отделе позвоночного столба на одном уровне. Также PO подразумевает более обширную резекцию задних структур позвоночника по сравнению с SPO, что соответствует 2-му и 1-му типу остеотомий по классификации Schwab [12; 39].

В последующем данные виды остеотомий стали применяться и при лечении пациентов с идиопатическим сколиозом в качестве дорсальных мобилизирующих вмешательств [39]. Применение PO позволяет достигнуть более радикальной коррекции деформации как в сагиттальной, так и во фронтальной плоскости [12; 38]. В исследовании Yangpu Zhang и соавторов анализируется результат лечения 36 пациентов с идиопатическим сколиозом со средней величиной основной дуги искривления $94,3^\circ$ и индексом мобильности менее 15%, средний возраст пациентов составил 26,5 лет. Средняя величина коррекции после процедуры задней инструментальной коррекции и PO во фронтальной плоскости составила 57,8%, в сагиттальной – 42,9%, группы сравнения в данном исследовании не было [40]. Необходимо отметить, что полученные результаты коррекции деформации у пациентов с идиопатическим сколиозом сопоставимы с исходами лечения детей с использованием мобилизирующей дискэктомии и тракционного вытяжения [9; 25; 41].

Несмотря на то, что выполнение PO предполагает укорочение задней колонны и уменьшение кифоза, ее применение позволяет добиться увеличения кифоза грудного отдела позвоночника при лечении лордосколиозов [12]. По данным систематического обзора Cesare Faldini и соавторов, процедура PO улучшает коррекцию грудного кифоза в среднем на $6,6^\circ$ [42].

Многие исследователи для данных вмешательств используют термин «задний релиз», так как не считают их «настоящими» остеотомиями из-за сохранения целостности передней и средней колонн позвоночника, необходимости их мобильности для коррекции деформации [12; 17]. Остеотомии PO и SPO можно выполнять на нескольких уровнях при пологих деформациях позвоночного столба с мобильной передней колонной. При относительной

безопасности РО, исследователи отмечают увеличение времени хирургического вмешательства и величины кровопотери [42].

Трехколонные остеотомии позвоночника (PSO, VCR)

Педикулярная субтракционная остеотомия (pedicle subtraction osteotomy, далее - PSO) представляет собой трехколонную остеотомию с закрытием клина с дорсальной стороны, что соответствует 3-му типу остеотомии по классификации Schwab [3]. PSO была впервые описана Томасеном в 1985 году для лечения ригидных кифотических деформаций при анкилозирующем спондилите, а затем стала использоваться при лечении пациентов с деформациями различной этиологии [37]. Симметричное использование этой остеотомии способствует коррекции и мобилизации деформации в сагиттальной плоскости, позволяет достичь коррекции порядка 30–35° на одном уровне. Большинство PSO выполняются с целью коррекции сагиттального дисбаланса туловища, но значительная коронарная коррекция также может быть достигнута с помощью асимметричной остеотомии [43; 44]. Большой клин, резецируемый на выпуклой стороне кифосколиотической деформации, приводит к локальной коронарной коррекции и может обеспечить коррекцию 25-40° на каждом уровне. Методика выполнения PSO сложна в выполнении и связана с высоким риском развития неврологических осложнений, выраженного кровотечения, повреждения дурального мешка. В связи с этим наиболее оптимально использование данного варианта остеотомии в поясничном отделе позвоночника ниже уровня конского хвоста [3].

Bakaloudis G. и соавторы представили результаты лечения 12 пациентов (средний возраст – 12,6 года) с тяжелыми ригидными кифосколиотическими деформациями грудного отдела позвоночника с выполнением PSO на одном уровне. У 9 из них деформация была сформирована в результате течения ювенильного и инфантильного идиопатического сколиоза. Среднюю величину деформации удалось уменьшить со 103° до 45° (коррекция 62,3%) во фронтальной плоскости и 65% коррекции в сагиттальной плоскости (в публикации не представлены данные о среднем предоперационном кифозе, только средний послеоперационный – 38,5° и величина коррекции – 65%). Ни у одного из пациентов не сообщалось о развитии каких-либо серьезных осложнений [37].

Некоторые деформации позвоночника не поддаются коррекции с помощью остеотомий РО, SPO и PSO. VCR играет очень важную роль в лечении пациентов с тяжелыми ригидными деформациями позвоночника, которые не могут быть эффективно исправлены менее агрессивными методами. Среди различных вариантов остеотомии именно VCR обеспечивает наибольший объем коррекции [36].

Вертебротомия была впервые описана в 1922 году MacLennan A., который описал апикальную резекцию позвоночника с последующей иммобилизацией гипсовой повязкой и

длительным постельным режимом для лечения тяжелого сколиоза [35]. В конце 1980-х годов была описана современная техника круговой резекции позвоночного столба из заднего доступа, авторами данной методики принято считать Leathermann и Bradford [2]. Позже другие исследователи также поделились результатами выполнения VCR у пациентов с тяжелыми деформациями позвоночника. Сообщалось о достаточно высокой величине коррекции деформации и успешном восстановлении баланса туловища [35; 45]. Показаниями к выполнению VCR считаются тяжелые ригидные деформации позвоночника с выраженным сагиттальным и фронтальным дисбалансом. По данным систематического обзора литературы Yang C., средняя величина коррекции в результате применения VCR у 199 пациентов с деформациями различной этиологии составила 61,2% во фронтальной плоскости и 63,1% в сагиттальной, средняя предоперационная величина деформации составила 104,7° и 93,3° соответственно [35].

При этом необходимо подчеркнуть, что использование VCR сопряжено с крайне высоким риском развития различных осложнений. Общая частота развития осложнений, по данным научной литературы, составляет в среднем 32% и может достигать 59% [46]. У Suk S. и соавторов сообщалось о 34,3% общих и 17,1% неврологических осложнений [36]. Однако в более поздних работах неврологические осложнения регистрировались значительно реже. Reames и соавторы указывают на общую частоту неврологических осложнений 7,3% среди 177 пациентов детского возраста, которым выполнялась VCR по поводу деформаций позвоночника различной этиологии [47]. В исследовании Hamzaoglu и соавторов сообщалось о 1,96% частоты транзиторных повреждений спинномозговых нервов у 102 пациентов, которые полностью регрессировали через 6 месяцев после операции [45]. Многие исследователи сообщают о высокой частоте изменений показателей интраоперационного нейромониторинга. Однако при своевременной реакции хирурга частота постоянных послеоперационных неврологических нарушений значительно ниже. У Lenke L.G. и соавторов частота интраоперационных изменений мониторинга спинного мозга составила 27%, однако ни у одного пациента не было зарегистрировано полной постоянной параплегии [36; 46].

VCR - технически сложная операция с высоким риском общих и неврологических осложнений. Однако при должной подготовке хирургической бригады и использовании интраоперационного нейрофизиологического мониторинга частота осложнений может быть значительно снижена [36].

Комбинирование тактических подходов

При выраженных ригидных деформациях позвоночника многие хирурги прибегают к использованию нескольких мобилизирующих вмешательств, что позволяет увеличить общую величину коррекции деформации позвоночника. Чаще всего комбинируют заднюю

инструментальную коррекцию с РО и/или дискапофизэктомией, halo-тракцией, реже - с трехколонными остеотомиями позвоночника [8; 12].

В исследовании Виссарионова С.В. и соавторов проведен сравнительный анализ лечения 20 пациентов в возрасте 15-17 лет с деформациями величиной от 120° до 148° по Cobb. Всем пациентам была выполнена вентральная мобилизация на вершине деформации и проведен курс halo-тибиального вытяжения. Затем 1-й группе пациентов (10 человек) проводили коррекцию и стабилизацию деформации транспедикулярными спинальными системами из дорсального доступа, 2-й группе пациентов (10 человек) из дорсального доступа дополнительно выполняли клиновидную резекцию вершинного позвонка. Величина коррекции во фронтальной плоскости составила 26-62% и 36-74% соответственно, в сагиттальной – 20-56% и 50-74% соответственно. Сообщалось об одном транзиторном неврологическом осложнении у пациента 2-й группы, регрессировавшем через несколько недель [8].

Pankaj Kandwal и соавторы сообщают о лечении 21 пациента (средний возраст - 14,4 года) с ригидными деформациями позвоночника с величиной дуги искривления более 100°. Пациентам было выполнено двухэтапное хирургическое лечение в объеме трансторакальной дискапофизэктомии, остеотомии Ponte/PSO на вершине деформации с последующей коррекцией искривления и стабилизацией результата транспедикулярными спинальными системами (через 10-14 дней после первого этапа, применение halo-тракции в исследовании не упоминается). В результате применения данной тактики лечения удалось уменьшить среднюю величину деформации со 116,6° до 26,5° по Cobb (средняя величина коррекции составила 77,2%). При деформации более 120° пациентам (13 из 21) на вершине деформации выполнялась асимметричная PSO. Однако, к сожалению, отдельно результаты лечения данной группы пациентов в работе не представлены. Авторы не сообщают о развитии осложнений у пациентов исследуемых групп [13]. В подобном исследовании Lauren E. Stone и соавторы сообщается о схожих результатах. Средняя величина деформации уменьшилась со 112° до 36° (коррекция составила 69%) [18].

Chao Li и соавторы описали нестандартный экстраплевральный вариант многоуровневой дискэктомии на вершине деформации из дорсального (костотрансверзэктомического) доступа с последующей асимметричной РО и инструментальной коррекцией. Исследователям удалось улучшить среднее значение коррекции деформации во фронтальной плоскости со 108,5° до 28,5° (коррекция составила 74%). Однако необходимо отметить, что у 2 из 18 пациентов развились легочные осложнения, средняя величина кровопотери составила 3990 мл. О других осложнениях не сообщалось [17].

Заключение

На основе проведенного обзора литературы можно сделать вывод о том, что наибольшим потенциалом коррекции тяжелой сколиотической деформации обладают методики трехколонных остеотомий позвоночника и комбинации нескольких мобилизирующих вмешательств. Многие исследователи, опасаясь осложнений, избегают применения VCR и PSO, используя менее агрессивные варианты хирургического лечения, достигая при этом удовлетворительных значений коррекции. При этом необходимо подчеркнуть, что трехколонные остеотомии позвоночника остаются незаменимыми в лечении пациентов с наиболее тяжелыми, ригидными деформациями, приводящими к выраженному сагиттальному и фронтальному дисбалансу.

Подходы к выбору оперативного вмешательства во многом зависят от величины деформации, особенностей искривления, опыта и технических возможностей хирурга. При этом необходимо отметить, что в настоящее время отсутствует четкий алгоритм лечения детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза. Учитывая вышеизложенное, вопросы тактических подходов к хирургическому лечению детей с тяжелыми формами идиопатического сколиоза требуют дальнейшего исследования и научного обоснования.

Список литературы

1. Al-Mohrej O.A., Aldakhil S.S., Al-Rabiah M.A., Al-Rabiah A.M. Surgical treatment of adolescent idiopathic scoliosis: Complications // *Annals of medicine and surgery*. 2020. Vol. 52. P. 19–23. DOI: 10.1016/j.amsu.2020.02.004.
2. Kandwal P., Vijayaraghavan G.P., Nagaraja U.B., Jayaswal A. Severe Rigid Scoliosis: Review of Management Strategies and Role of Spinal Osteotomies // *Asian spine journal*. 2017. Vol. 11. Is. 3. P. 494–503. DOI: 10.4184/asj.2017.11.3.494.
3. Teixeira da Silva L.E., de Barros A.G., de Azevedo G.B. Management of severe and rigid idiopathic scoliosis // *European journal of orthopaedic surgery and traumatology: orthopedie traumatologie*. 2015. Vol. 25(1). P. 7-12. DOI: 10.1007/s00590-015-1650-1.
4. Hu H.M., Hui H., Zhang H.P., Huang D.G., Liu Z.K., Zhao Y.T., He S.M., Zhang X.F., He B.R., Hao D.J. The impact of posterior temporary internal distraction on stepwise corrective surgery for extremely severe and rigid scoliosis greater than 130° // *European spine journal: official publication of the European Spine Society, the European Spinal Deformity Society, and the European Section of the Cervical Spine Research Society*. 2016. Vol. 25. Is.2. P. 557–568. DOI:10.1007/s00586-015-4013-z.

5. Михайловский М.В., Лебедева М.Н., Садовая Т.Н., Губина Е.В., Сарнадский В.Н. Ближайшие и отдаленные результаты лечения пациентов со сверхтяжелыми формами идиопатического // Хирургия позвоночника. 2009. Т. 2. С. 38-47. DOI: 10.14531/ss2009.2.38-47.
6. Cheng J.C., Castelein R.M., Chu W.C., Danielsson A.J., Dobbs M.B., Grivas T.B., Gurnett C.A., Luk K.D., Moreau A., Newton P.O., Stokes I.A., Weinstein S.L., Burwell R.G. Adolescent idiopathic scoliosis // Nature reviews. Disease primers. 2015. Vol. 1. P. 15030. DOI: 10.1038/nrdp.2015.30.
7. Sarwahi V., Galina J., Atlas A., Gecelter R., Hasan S., Amaral T.D., Maguire K., Lo Y., Kalantre S. Scoliosis Surgery Normalizes Cardiac Function in Adolescent Idiopathic Scoliosis Patients // Spine. 2021. Vol. 46. Is. 21. P. E1161–E1167. DOI:10.1097/BRS.0000000000004060.
8. Виссарионов С.В., Филиппова А.Н., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Белянчиков С.М., Хусаинов Н.О. Хирургическая коррекция тяжелых форм идиопатического кифосколиоза у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2019. Т. 7. № 3. С. 5-14. DOI:10.17816/PTORS735-14.
9. Ветрилэ С.Т., Кулешов А.А., Швец В.В., Кисель А.А., Ветрилэ М.С., Гусейнов В.Г. Концепция оперативного лечения различных форм сколиоза с использованием современных технологий // Хирургия позвоночника. 2009. Т. 4. С. 21-30. DOI: 10.14531/ss2009.4.21-30.
10. Виссарионов С.В., Белянчиков С.М., Кокушин Д.Н., Мурашко В.В., Соболев А.В., Козырев А.С., Иванов М.Д., Сяндюков А.Р. Результаты коррекции деформации позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2013. Т. 3. С. 30-37. DOI: 10.14531/ss2013.3.30-37.
11. Ohrt-Nissen S., Hallager D.W., Karbo T., Gehrchen M., Dahl B. Radiographic and Functional Outcome in Adolescent Idiopathic Scoliosis Operated With Hook/Hybrid Versus All-Pedicle Screw Instrumentation-A Retrospective Study in 149 Patients // Spine deformity. 2017. Vol. 5. Is. 6. P. 401–408. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.05.002.
12. Grabala P., Gregorczyk J., Fani N., Galgano M.A., Grabala M. Surgical Treatment Strategies for Severe and Neglected Spinal Deformities in Children and Adolescents without the Use of Radical Three-Column Osteotomies // Journal of clinical medicine. 2024. Vol. 13. Is. 16. DOI:10.3390/jcm13164824.
13. Kandwal P., Goswami A., Vijayaraghavan G., Subhash K.R., Jaryal A., Upendra B.N., Jayaswal A. Staged Anterior Release and Posterior Instrumentation in Correction of Severe Rigid Scoliosis (Cobb Angle >100 Degrees) // Spine deformity. 2016. Vol. 4. Is. 4. P. 296–303. DOI:10.1016/j.jspd.2015.12.005.
14. Dwarakanath L.V., Sewell M.D., Leung E., Knight T., Jones M., McKay G., Newton-Ede M., Marks D., Spilsbury J., Mehta J., Gardner A. Systematic Review and Meta-analysis: Does Anterior-

- Posterior Spinal Fusion Still have a Role in Severe Thoracic Adolescent Idiopathic Scoliosis? // Indian journal of orthopaedics. 2022. Vol. 7. Is. 2. P. 167–176. DOI:10.1007/s43465-022-00747-9.
15. Chelpachenko O.B., Gusev A.A., Pimbursky I.P., Butenko A.S., Samokhin K.A., Zherdev K.V., Yatsyk S.P., Fisenko A.P., Dyakonova E.Y. The Use of Thoracoscopic Release in the Surgical Correction of Thoracic Scoliosis in Children // Journal of pediatric surgery. 2025. Vol. 60. Is. 2. P. 161913 DOI:10.1016/j.jpedsurg.2024.161913.
16. Васюра А.С., Новиков В.В., Михайловский М.В., Ханаев А.Л., Губина Е.В., Удалова И.Г., Сарнадский В.Н., Корель А.В. Некоторые особенности оперативного лечения тяжелых форм идиопатического сколиоза // Хирургия позвоночника. 2006. Т. 3. С. 29-37. DOI:10.14531/ss2006.3.29-37.
17. Li C., Fu Q., Zhou Y., Yu H., Zhao G. Posterior extrapleural intervertebral space release combined with wedge osteotomy for the treatment of severe rigid scoliosis // Spine. 2012. Vol. 37. Is. 11. P. E647–E654. DOI:10.1097/BRS.0b013e318250042b.
18. Stone L.E., Newton P.O., Catanzano A.A. Jr., Oba H., Lenke L.G., Boachie-Adjei O., Kelly M.P., Gupta M.C. Severe (>100 Degrees) Thoracic Adolescent Idiopathic Scoliosis - A Comparison of Surgical Approaches // Global spine journal. 2024. DOI:10.1177/21925682241264768.
19. Михайловский М.В., Новиков В.В., Садовой М.А., Васюра А.С., Суздалов В.А. Интраоперационная тракция в хирургии идиопатического сколиоза подростков // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 2. С. 8-13. DOI:10.14531/ss2017.2.8-13.
20. Sponseller P.D., Takenaga R.K., Newton P., Boachie O., Flynn J., Letko L., Betz R., Bridwell K., Gupta M., Marks M., Bastrom T. The use of traction in the treatment of severe spinal deformity // Spine (Phila Pa 1976). 2008. Vol. 33. Is. 21. P. 2305–2309. DOI:10.1097/BRS.0b013e318184ef79.
21. Yang Z., Liu Y., Qi L., Wu S., Li J., Wang Y., Jiang B. Traction Reduce the Degree of Deformity and Improve Pulmonary Function in Severe Scoliosis Patients With Pulmonary Insufficiency? A Systematic Review and Meta-Analysis // Frontiers in medicine. 2021. Vol. 8. DOI:10.3389/fmed.2021.767238.
22. LaMothe J.M., Al Sayegh S., Parsons D.L., Ferri-de-Barros F. The Use of Intraoperative Traction in Pediatric Scoliosis Surgery: A Systematic Review // Spine deformity. 2015. Vol. 3. Is. 1. P. 45-51. DOI:10.1016/j.jspd.2014.06.007.
23. Zhang H., Yang G., Guo C., Liu J., Tang M. Analysis of the corrective contribution of strong halo-femoral traction in the treatment of severe rigid nonidiopathic scoliosis // Journal of orthopaedic surgery and research. 2020. Vol. 15. Is. 1. DOI:10.1186/s13018-020-02093-8.

24. Mehrpour S., Sorbi R., Rezaei R., Mazda K. Posterior-only surgery with preoperative skeletal traction for management of severe scoliosis // *Archives of orthopaedic and trauma surgery*. 2017. Vol. 137. Is. 4. P. 457–463. DOI:10.1007/s00402-017-2642-x.
25. Hamzaoglu A., Ozturk C., Aydogan M., Tezer M., Aksu N., Bruno M.B. Posterior only pedicle screw instrumentation with intraoperative halo-femoral traction in the surgical treatment of severe scoliosis (>100 degrees) // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2008. Vol. 33. Is. 9. P. 979–983. DOI:10.1097/BRS.0b013e31816c8b17.
26. Thijs D., Menovsky T. The Mayfield Skull Clamp: A Literature Review of Its Complications and Technical Nuances for Application // *World neurosurgery*. 2021. Vol. 151. P. 102–109. DOI:10.1016/j.wneu.2021.04.081.
27. Nemani V.M., Kim H.J., Bjerke-Kroll B.T., Yagi M., Sacramento-Dominguez C., Akoto H., Papadopoulos E.C., Sanchez-Perez-Gruoso F., Pellise F., Nguyen J.T., Wulff I., Ayamga J., Mahmud R., Hodes R.M., Boachie-Adjei O. Preoperative halo-gravity traction for severe spinal deformities at an SRS-GOP site in West Africa: protocols, complications, and results // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2015. Vol. 40. Is. 3. P. 153–161. DOI:10.1097/BRS.0000000000000675.
28. Yang C., Wang H., Zheng Z., Zhang Z., Wang J., Liu H., Kim Y.J., Cho S. Halo-gravity traction in the treatment of severe spinal deformity: a systematic review and meta-analysis // *Eur. Spine J*. 2017. Vol. 26. Is. 7. P. 1810–1816. DOI:10.1007/s00586-016-4848-y.
29. Liu D., Yang J., Sui W., Deng Y., Li F., Yang J., Huang Z. Efficacy of Halo-Gravity Traction in the Perioperative Treatment of Severe Scoliosis and Kyphosis: A Comparison of Adolescent and Adult Patients // *World neurosurgery*. 2022. Vol. 166. P. 70–76. DOI:10.1016/j.wneu.2022.06.087.
30. Zhou C., Liu L., Song Y., Liu H., Zeng J., Yang X. Anterior release posterior internal distraction and subsequent posterior spinal fusion for the treatment of severe kyphoscoliosis // *European spine journal*. 2015. Vol. 24. Is. 7. P. 1560–1567. DOI:10.1007/s00586-015-3902-5.
31. Badin D., Skaggs D.L., Sponseller P.D. Temporary Internal Distraction for Severe Scoliosis // *JBJS essential surgical techniques*. 2022. Vol. 12. Is. 3. DOI:10.2106/JBJS.ST.22.00006.
32. Di Silvestre M., Zanirato A., Greggi T., Scarale A., Formica M., Vallerga D., Legrenzi S., Felli L. Severe adolescent idiopathic scoliosis: posterior staged correction using a temporary magnetically-controlled growing rod // *Eur. Spine J*. 2020. Vol. 8. P. 2046-2053. DOI:10.1007/s00586-020-06483-8.
33. Buchowski J.M., Bhatnagar R., Skaggs D.L., Sponseller P.D. Temporary internal distraction as an aid to correction of severe scoliosis // *The Journal of bone and joint surgery. American volume*. 2006. Vol. 88. Is. 9. P. 2035–2041. DOI:10.2106/JBJS.E.00823.
34. Grabala P., Helenius I.J. Clinical and Radiological Outcomes of Less Invasive Temporary Internal Distraction Followed by Staged Pedicle Screw Instrumentation in Adolescents with Severe

Idiopathic Scoliosis at 2-Year Minimum Follow-Up // *World neurosurgery*. 2020. Vol. 143. P. 464–473. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.07.183.

35. Yang C., Zheng Z., Liu H., Wang J., Kim Y. J., Cho S. Posterior vertebral column resection in spinal deformity: a systematic review // *European spine journal*. 2016. Vol. 25. Is. 8. P. 2368–2375. DOI:10.1007/s00586-015-3767-7.

36. Gokcen B., Yilgor C., Alanay A. Osteotomies/spinal column resection in paediatric deformity // *Eur J Orthop Surg Traumatol*. 2014. Vol. 24. P. 59-68. DOI: 10.1007/s00590-014-1477-1.

37. Bakaloudis G., Lolli F., Di Silvestre M., Greggi T., Astolfi S., Martikos K., Vommario F., Barbanti-Brodano G., Cioni A., Giacomini S. Thoracic pedicle subtraction osteotomy in the treatment of severe pediatric deformities // *Eur. Spine J*. 2011. Vol. 20. P. 95-104. DOI: 10.1007/s00586-011-1749-y.

38. Pizones J., Sánchez-Mariscal F., Zúñiga L., Izquierdo E. Ponte osteotomies to treat major thoracic adolescent idiopathic scoliosis curves allow more effective corrective maneuvers // *European journal of orthopaedic surgery and traumatology: orthopedie traumatologie*. 2015. Vol. 24. Is. 7. P. 1540–1546. DOI:10.1007/s00586-014-3749-1.

39. Ponte A., Orlando G., Siccardi G. L. The True Ponte Osteotomy: By the One Who Developed It // *Spine deformity*. 2018. Vol. 6. Is. 1. P. 2–11. DOI: 10.1016/j.jspd.2017.06.006.

40. Zhang Y., Hai Y., Tao L., Yang J., Zhou L., Yin P., Pan A., Zhang Y., Liu C. Posterior Multiple-Level Asymmetrical Ponte Osteotomies for Rigid Adult Idiopathic Scoliosis // *World neurosurgery*. 2019. Vol. 127. P. 467–473. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.03.173.

41. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа LENKE I с применением тотальной транспедикулярной фиксации // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2014. Т. 2. №2. С. 3-8. DOI:10.17816/PTORS223-8.

42. Faldini C., Viroli G., Traversari M., Manzetti M., Ialuna M., Sartini F., Cargeli A., Parisi S.C., Ruffilli A. Ponte Osteotomies in the Surgical Treatment of Adolescent Idiopathic Scoliosis: A Systematic Review of the Literature and Meta-Analysis of Comparative Studies // *Children (Basel)*. 2024. Vol. 11. Is. 1. DOI:10.3390/children11010092.

43. Buell T.J., Buchholz A.L., Quinn J.C., Mullin J.P., Garces J., Mazur M.D., Shaffrey M.E., Yen C.P., Shaffrey C.I., Smith J.S. Extended Asymmetrical Pedicle Subtraction Osteotomy for Adult Spinal Deformity: 2-Dimensional Operative Video // *Operative neurosurgery*. 2019. Vol. 16. Is. 2. P. 52–53. DOI:10.1093/ons/opy160.

44. Zhang T., Sui W., Shao X., Deng Y., Huang Z., Yang J., Yang J. Type 3 bone-disc-bone osteotomy (grade 4+ osteotomy) combined with presurgical halo-pelvic traction: a safe and effective solution to correct severe angular-like kyphoscoliosis // *Quantitative imaging in medicine and surgery*. 2023. Vol. 13. Is. 7. P. 4196–4204. DOI:10.21037/qims-22-964.
45. Hamzaoglu A., Alanay A., Ozturk C., Sarier M., Karadereler S., Ganiyusufoglu K. Posterior vertebral column resection in severe spinal deformities: a total of 102 cases // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011. Vol. 36. Is. 5. P. E340–E344. DOI:10.1097/BRS.0b013e3182015712.
46. Lenke L.G., Newton P.O., Sucato D.J., Shufflebarger H.L., Emans J.B., Sponseller P.D., Shah S.A., Sides B.A., Blanke K.M. Complications after 147 consecutive vertebral column resections for severe pediatric spinal deformity: a multicenter analysis // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2013. Vol. 38. Is. 2. P. 119–132. DOI: 10.1097/BRS.0b013e318269fab1.
47. Reames D.L., Smith J.S., Fu K.M., Polly D.W. Jr, Ames C.P., Berven S.H., Perra J.H., Glassman S.D., McCarthy R.E., Knapp R.D. Jr, Heary R., Shaffrey C.I. Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality Committee. Complications in the surgical treatment of 19,360 cases of pediatric scoliosis: a review of the Scoliosis Research Society Morbidity and Mortality database // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2011. Vol. 36. Is. 18. P. 1484–1491. DOI:10.1097/BRS.0b013e3181f3a326.