



ХИРУРГИЧЕСКОЕ ЛЕЧЕНИЕ ДЕТЕЙ С ВРОЖДЕННЫМИ ДЕФОРМАЦИЯМИ ПОЗВОНОЧНИКА НА ФОНЕ МНОЖЕСТВЕННЫХ ПОРОКОВ РАЗВИТИЯ: ОБЗОР ЛИТЕРАТУРЫ

Н.О. Хусаинов, С.В. Виссарионов, Д.Н. Кокушин

Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

Тактика хирургического лечения пациентов с деформацией позвоночника на фоне множественных пороков развития имеет большое значение в связи с агрессивностью течения заболевания, ограниченными возможностями выполнения радикальной коррекции деформации, высоким риском развития осложнений. В обзоре проанализирована литература, посвященная данной проблеме. Рассмотрены теоретические основы проведения хирургического лечения. Представлены существующие методы оперативных вмешательств, продемонстрированы их основные идеологические и практические отличия. Хирургическое лечение пациентов с деформацией позвоночника на фоне множественных пороков развития представляет особый интерес в практике вертебролога. Большинству больных в раннем возрасте требуется многоэтапное оперативное лечение, угрожающее развитием серьезных осложнений. С целью минимизации рисков и улучшения конечного результата лечения необходимо применять существующие хирургические методики, а также верно выстраивать очередность и кратность их выполнения. **Ключевые слова:** порок развития позвоночника, инфантильный сколиоз, дети, хирургическое лечение.

Для цитирования: Хусаинов Н.О., Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н. Хирургическое лечение детей с врожденными деформациями позвоночника на фоне множественных пороков развития: обзор литературы // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 2. С. 14–20.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.2.14-20>.

SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH CONGENITAL SPINAL DEFORMITIES ASSOCIATED WITH MULTIPLE MALFORMATIONS: A LITERATURE REVIEW

*N.O. Khusainov, S.V. Vissarionov, D.N. Kokushin
The Turner Scientific Research Institute for Children's
Orthopaedics, St. Petersburg, Russia*

The tactics of surgical treatment of patients with spinal deformities associated with multiple malformations is of great importance because of aggressive course of disease, limited opportunities for radical correction of deformity, and a high risk of complications. The review analyzes the literature devoted to this problem. The theoretical basis behind the need for surgical treatment is considered. The current methods of surgical intervention are presented, and their principal ideological and practical differences are demonstrated. Surgical treatment of patients with spinal deformity associated with multiple malformations is of particular interest in the practice of a spine specialist. Most patients at an early age require multi-stage surgical treatment which threatens to entail serious complications. In order to minimize risks and improve the final result of treatment, it is necessary to apply existing surgical techniques, as well as correctly arrange a sequence and frequency of their implementation.

Key Words: spinal malformation, infantile scoliosis, children, surgical treatment.

Please cite this paper as: Khusainov NO, Vissarionov SV, Kokushin DN. Surgical treatment of children with congenital spinal deformities associated with multiple malformations: a literature review. *Hir. Pozvonoc.* 2017; 14(2):14–20. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2017.2.14-20>.

Одной из наиболее значимых проблем вертебрологии остается выбор тактики лечения пациентов детского возраста с врожденными деформациями позвоночника на фоне множественных пороков развития позвонков. Под множественными пороками развития понимают наличие двух и более

позвонков, представленных одноклеточными аномалиями развития, или сочетание различных врожденных пороков позвонков, заключающихся в нарушении формирования, слияния и сегментации, нередко сопровождающихся синостозом ребер. Вариант комбинации типов пороков опреде-

ляет характер врожденных деформаций позвоночника (сколиотическая, кифотическая, кифосколиотическая) и темпы ее прогрессирования на фоне роста и развития ребенка.

Актуальность данной темы обусловлена особенностями течения заболевания: выраженностью и ригидно-

стью деформаций, их неуклонным и бурным прогрессированием, формированием компенсаторных дуг искривления в противовес врожденным, а также существенным снижением качества и продолжительности жизни данной категории пациентов [7, 12, 13, 18, 19, 31]. В подавляющем большинстве случаев этим пациентам требуется хирургическая коррекция имеющейся деформации, исключение составляют дети с альтернирующими вариантами пороков. В лечении пациентов данной группы существует ряд проблем. Прежде всего, это необходимость выполнения вмешательств в максимально раннем возрасте в связи с бурным прогрессированием врожденного искривления и одновременно с этим невозможностью проведения радикальной коррекции деформации у ребенка с сохраненной потенцией роста. Другая проблема – высокая частота развития осложнений в ходе хирургического вмешательства и послеоперационном периоде, а также необходимость многократных этапных хирургических вмешательств [3, 39, 51].

В отечественной литературе достаточно подробно освещены вопросы тактики ведения и хирургического лечения детей раннего возраста с изолированными врожденными деформациями позвоночника грудного и поясничного отделов [1, 7]. В исследованиях отражены методы оперативной стабилизации деформированного отдела позвоночника при врожденных пороках развития позвонков у пациентов старшего возраста [2]. Однако исследований, посвященных хирургической коррекции врожденных деформаций позвоночника на фоне множественных пороков развития позвонков, в отечественной литературе практически нет.

Истинная частота встречаемости врожденных деформаций позвоночника неизвестна: часть пациентов не имеет клинических проявлений из-за компенсированных вариантов пороков. По данным скрининговых популяционных исследований, использующих результаты

флюорографического обследования, частота пороков развития позвоночника грудной локализации составляет 0,5–1 на 1000 [52]. Данные ультразвуковых обследований женщин в период беременности свидетельствуют о частоте 0,1–0,3 на 1000 новорожденных [27, 32]. При этом врожденные деформации позвоночника и грудной клетки тяжелой и очень тяжелой степени у детей до 7 лет составляют от 32,5 до 65,4 % [5, 8]. В целом данная патология встречается сравнительно редко.

Среди пациентов данной группы отмечена высокая частота смертности от сердечно-легочных заболеваний [55], которые связывают с развитием рестриктивных нарушений функции внешнего дыхания и последующим формированием легочной гипертензии (*cor pulmonale*). Данное состояние впервые описано Campbell [18] как синдром торакальной недостаточности (*thoracic insufficiency syndrome*). Работы Dimeglio и других авторов демонстрируют, что развитие альвеол наиболее активно происходит в течение первых пяти лет жизни ребенка, а после 7–8 лет их количество не меняется [15, 24, 29, 47, 53]. Снижение эластичности грудной клетки и ее выраженная деформация нарушают процесс развития легких ребенка и приводят к появлению вторичных изменений [5, 6, 18, 20, 36, 59]. По этой причине стоит избегать вмешательств, ведущих к формированию протяженного костного блока в грудном отделе позвоночника, у детей младше 5 лет [21, 36].

Задачами хирургического лечения пациентов с врожденными деформациями позвоночника на фоне множественных пороков развития позвонков являются восстановление или улучшение баланса туловища, предотвращение развития синдрома торакальной недостаточности и неврологических нарушений, а также сохранение длины позвоночного столба.

Идеологически хирургическое лечение строится на принципе коррекции и стабилизации в максимально раннем возрасте, до формирования

выраженных деформаций. Опыт показывает, что коррекция уже сформированных деформаций у пациентов старшего возраста сопровождается большей частотой развития осложнений и в сравнительно меньшей степени позволяет получить хороший функциональный результат [1, 4, 6, 33, 48]. Этот подход зарекомендовал себя при оперативном лечении детей с врожденной деформацией позвоночника на фоне изолированных пороков развития позвонков в грудном и поясничном отделах [1].

Выполнение стабилизации деформации *in situ* или гемиепифизеодеза/гемиартродеза на вершине деформации при множественных врожденных пороках развития позвоночника сопряжено с меньшим количеством интраоперационных осложнений, но не позволяет эффективно контролировать состояние позвоночного столба в процессе развития ребенка, приводит к кранкшафт-феномену или выраженному ограничению роста позвоночника и нарушению развития органов грудной клетки [18, 36, 37, 57]. Сущность метода состоит в ограничении роста позвоночника на выпуклой стороне деформации при помощи установленной металлоконструкции для предотвращения дальнейшего прогрессирования деформации. При сохранной ростковой пластинке на вогнутой стороне деформации возможно ожидать определенного процента самопроизвольной коррекции с течением времени. Данная методика показана и наиболее оправданна при лечении пациентов раннего возраста с невыраженной врожденной деформацией с ожидаемым прогрессированием по мере роста ребенка [37].

Наибольшее распространение в лечении пациентов данной группы получили этапные хирургические вмешательства в различных вариантах.

В ряде случаев с целью коррекции выполняют резекцию аномально развитых позвонков и стабилизацию с применением многоопорной металлоконструкции, установленной на позвоночник. Идеальной ситуаци-

ей для такого вмешательства является деформация на фоне изолированного порока развития позвонка [1], но его осуществление возможно и у пациентов с множественными аномально развитыми позвонками, определяющими формирование и развитие наиболее значимой деформации (рис. 1).

Достоинство данной методики – возможность одномоментного выполнения радикальной коррекции имеющейся деформации [1, 34]. В дальнейшем проводят этапные хирургические вмешательства, необходимость которых продиктована, как правило, течением заболевания – наличием аномально развитых позвонков в выше- или нижележащих отделах, формированием компенсаторных дуг, характером ранее проведенного вмешательства. Неизбежным следствием является формирование костного блока, который может препятствовать росту позвоночника в длину или вызывать развитие вторичной деформации. Нередко единственным вариантом этапного вмешательства становится циркулярная резекция позвоночного столба, что сопровождается сравнительно высокой частотой развития осложнений, в особенности неврологического характера [39, 51, 54].

В качестве опорных элементов многие авторы предпочитают крючковые фиксаторы, установка которых технически более проста в условиях аномальной анатомии у пациента детского возраста. Кроме того, в эксперименте продемонстрировано явление раннего закрытия зоны нейростенального синхондроза, приводящее к уменьшению диаметра позвоночного канала при применении транспедикулярных винтовых фиксаторов [23].

Другим вариантом хирургического вмешательства является использование так называемых растущих металлоконструкций. Впервые эта методика с инструментарием Harrington была описана Moe et al. [43]. Ее применение показано у пациентов со сравнительно мобильными деформациями в зоне порока или с целью коррекции компенсаторных дуг. Достоинством



Рис. 1

Резекция аномально развитых позвонков, коррекция и стабилизация деформации многоопорной металлоконструкцией

методики является контроль деформации с сохранением возможности роста у детей, так как стержни устанавливаются без скелетирования костных структур на протяжении дуги, что позволяет избежать формирования спонтанного костного блока. Изначально применяли один дистрактор, установленный на предварительно аугментированные дуги позвонков. Но наибольшее распространение получила техника использования двух стержней, соединенных коннекторами. В качестве опорных элементов использовали транспедикулярные винты, ламинарные крюки, реберные фиксаторы и крюки, установленные на поперечные отростки позвонков, опору на крылья подвздошных костей. Описаны результаты отдаленных наблюдений, в которых показано, что данная методика позволяет получить прирост длины позвоночника в среднем на 1,8 см/год [9]. В ряде случаев установку металлоконструкции соче-

тают с резекцией аномально развитых костных структур или артродезирующими вмешательствами на вершине деформации. Однако результаты сравнительных исследований продемонстрировали, что в группе пациентов, где применяли только технику двух растущих стержней, были отмечены больший прирост длины позвоночника (1,5 см в год), больший процент коррекции деформации по сравнению с группой пациентов, которым одновременно с установкой имплантатов выполняли спондилодез на вершине деформации, и не были отмечены случаи развития локального кифозирования [58]. На отсутствие кифозогенного воздействия растущих стержней на переднюю колонну позвоночника указывают данные экспериментальных исследований: отсутствие повышения давления в межпозвоночных дисках в ответ на проводимую коррекцию [41]. Недостатками данной методики являются необходимость

этапной дистракции, в среднем через каждые 6 мес., высокая частота дестабилизации металлоконструкций, а также развитие инфекционных и неврологических осложнений. Показано, что их общая частота достигает 72 %, а каждый дополнительный этап вмешательства повышает риск их развития в среднем на 24 % [9, 11, 14, 49]. С целью снижения кратности выполнения дистракций открытым способом разработаны конструкции с возможностью закрытого удлинения стержня при помощи магнитного поля [10, 22]. На сегодняшний момент не доказана их большая эффективность в сравнении с другими типами имплантатов. Для этих конструкций характерны еще более высокая частота дестабилизации, отсутствие эффекта от проводимого удлинения, развитие синдрома плоской спины в связи с невозможностью моделирования сагиттального профиля [56].

Стабильность любой из вышеназванных металлоконструкций определяет выбор отдельных опорных элементов, их количество и пары сочетания для проксимальной и дистальной фиксации. В экспериментах продемонстрирована значительная стабильность при использовании транспедикулярных винтов; крюковые металлоконструкции обладают большей надежностью при применении их в поясничном отделе по сравнению с грудным сегментом [40]. При выборе пары для проксимальной и дистальной фиксации наиболее стабильной оказалась пара «винты – винты». При отсутствии возможности использования транспедикулярных опорных элементов целесообразен выбор реберных крюковых фиксаторов в качестве проксимального уровня фиксации в количестве минимум 4 [9, 60]. Изучены и результаты применения разного типа коннекторов – с циркулярным и V-образным сечениями отверстий: стабильность удержания стержня в коннекторе с V-образным сечением в 10 раз выше, что объясняют трехточечной фиксацией [38].

До настоящего момента окончательно не решены вопросы о выборе

оптимального возраста или величины деформации для начала проведения лечения, а также о необходимости выполнения завершающего спондилодеза и стабилизации деформации с использованием традиционной металлоконструкции как отдельного этапа хирургического вмешательства. По мнению большинства авторов, деформация величиной более 60° по Cobb у ребенка в возрасте 4–9 лет является показанием к применению методики растущих стержней [45]. Сравнение результатов лечения групп пациентов показало, что прекращение этапных вмешательств без замены металлоконструкции также обеспечивает условия для формирования спонтанного костного блока и удержания достигнутого результата лечения [16, 26]. Эта теория косвенно подтверждается наблюдениями за динамикой величины проводимых этапных кор-

рекций: отмечено, что наибольшим корригирующим эффектом обладает первое вмешательство, в дальнейшем величина коррекции прогрессивно снижается, что связывают с увеличением ригидности основной дуги деформации [50].

При пороке развития ребер в виде одностороннего синостозирования показана установка дистракционных металлоконструкций на ребра пациента с целью увеличения объема гемиторакса (рис. 2).

В большинстве случаев при этом выполняют остеотомию реберного блока. Первой предложенной и одной из наиболее широко применяемых конструкций является VEPTR, которую впервые использовали Campbell и Smith в 1989 г. для лечения пациента с синдромом торакальной недостаточности [17]. Результаты лечения демонстрируют возможность

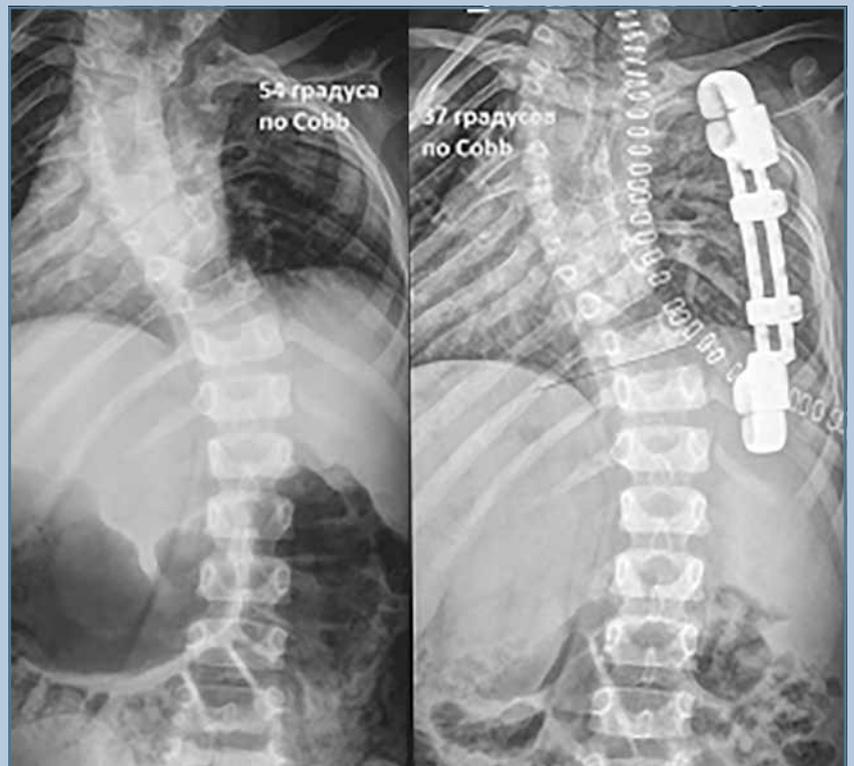


Рис. 2

Коррекция деформации позвоночника на фоне синостоза ребер с использованием реберно-реберной корригирующей металлоконструкции

коррекции деформации, увеличения длины позвоночника на стороне деформации в среднем на 8,0 мм/год, рост показателей функции внешнего дыхания, увеличение объема легочной перфузии по данным радиоизотопных исследований, а также увеличение объема легочной ткани по данным КТ [4, 6, 25, 28, 35]. Однако известно и об отрицательном воздействии этой методики на функцию внешнего дыхания из-за металлического имплантата и послеоперационных рубцов, ограничивающих экскурсию ребер [44]. В последнее время подобные металлоконструкции находят все большее применение при лечении детей, страдающих инфантильным сколиозом любой этиологии.

Тактически важен выбор возраста для проведения вмешательства, так как в группе пациентов, которым проводили увеличение объема гемиторакса в возрасте старше 6 лет, наблюдали лишь эмфизематозное расширение легочной ткани без значимого улучшения функции внешнего дыхания, в отличие от группы пациентов младшего возраста [44]. Недостатком этого вида вмешательства является высокая частота развития осложнений (до 72 %), преимущественно связанных с нарушением заживления

операционной раны, присоединением инфекционного процесса, ранениями плевры, миграцией опорных элементов, повреждением плечевого сплетения [30, 49]. Не установлена частота и кратность этапных дистраций: по аналогии с использованием растущих стержней их выполняют в среднем через 6–9 мес., до достижения костной зрелости, достаточной для завершающего хирургического вмешательства.

Не нашли широкого применения и распространения варианты хирургических вмешательств с использованием конструкций «Shilla» [42] и техники «Luque trolley» [46]. Сущность метода состоит в установке опорных элементов, конструкция которых позволяет сохранить их свободное скольжение вдоль стержня по мере роста ребенка. Достоинством является снижение количества этапных хирургических вмешательств и частоты осложнений, продемонстрированное в сравнительных исследованиях результатов использования данного вида конструкций и методики двух стержней. Вместе с тем, несмотря на возможность стабилизации деформации, отмечают снижение темпов роста позвоночника в длину, приблизительно на 50 %, и меньшую возможность

коррекции [42]. На данный момент количество пациентов и сроки наблюдения недостаточны для того, чтобы делать вывод об эффективности и безопасности данной методики.

Деформации позвоночника на фоне множественных пороков развития отличает выраженность и агрессивное течение. Основной причиной снижения качества и продолжительности жизни пациентов является нарушение процессов развития легочной ткани, что диктует необходимость выполнения оперативных вмешательств уже в раннем возрасте. Хирургическое лечение сопряжено с высокой частотой развития осложнений, сократить которую возможно при точном соблюдении техники вмешательств. Широкий спектр существующих методов и применяемых металлоконструкций, а также отсутствие исследований, сравнивающих результаты применения разных методик, оставляют вопрос выбора тактики ведения пациентов данной группы открытым.

Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

1. **Виссарионов С.В.** Хирургическое лечение сегментарной нестабильности грудного и поясничного отделов позвоночника у детей: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. СПб., 2008. [Vissarionov SV. Surgical treatment of segmental instability of the thoracic and thoracolumbar spine in children. Doctor of Medicine Thesis. St. Petersburg, 2008. In Russian].
2. **Виссарионов С.В., Картавенко К.А., Кокушин Д.Н., Ефремов А.М.** Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков // Хирургия позвоночника. 2013. № 2. С. 32–37. [Vissarionov SV, Kartavenko KA, Kokushin DN, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital thoracic spine deformity associated with vertebral malformations. Hir Pozvonoc. 2013;(2):32–37. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2013.2.32-37>.
3. **Михайловский М.В., Ханаев А.Л.** Врожденные аномалии вне апикальной зоны: диагноз и принципы лечения // Хирургия позвоночника. 2009. № 3. С. 46–50. [Mikhailovskiy MV, Khanaev AL. Congenital abnormalities outside the apical region: diagnosis and treatment approaches. Hir Pozvonoc. 2009;(3):46–50. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2009.3.46-50>.
4. **Михайловский М.В., Ульрих Э.В., Суздалов В.А., Долотин Д.Н., Рябых С.О., Лебедева М.Н.** Инструментарий VEPTR в хирургии инфантильных и ювениль-
- ных сколиозов: первый отечественный опыт // Хирургия позвоночника. 2010. № 3. С. 31–41. [Mikhailovskiy MV, Ulrikh EV, Suzdalov VA, Dolotin DN, Ryabikh SO, Lebedeva MN. VEPTR instrumentation in the surgery for infantile and juvenile scoliosis: first experience in Russia. Hir Pozvonoc. 2010;(3):31–41. In Russian]. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2010.3.31-41>.
5. **Рябых С.О.** Деформации позвоночника и грудной клетки при нарушениях сегментации у детей младшего возраста: Автореф. дис. ... канд. мед. наук. СПб., 2009. [Ryabikh SO. Spine and chest wall deformities in children of early age with segmentation failure. PhD in Medicine Thesis. St. Petersburg, 2009. In Russian].
6. **Рябых С.О.** Хирургическое лечение деформаций позвоночника высокого риска: Автореф. дис. ... д-ра. мед. наук. Курган, 2014. [Ryabikh SO. Surgical treatment of high-risk spine deformities. Doctor of Medicine Thesis, Kurgan, 2014. In Russian].
7. **Ульрих Э.В.** Аномалии позвоночника у детей: Руководство для врачей. СПб., 1995. [Ulrikh EV. Spine anomalies in children: manual for doctors. Saint-Petersburg, 1995].
8. **Ульрих Э.В., Мушкин А.Ю.** Хирургическое лечение пороков развития позвоночника у детей. СПб., 2007. [Ulrikh EV, Mushkin AYU. Surgical Treatment of Malformations of the Spine in Children. Saint-Petersburg, 2007].

9. Akbarnia BA, Marks DS, Boachie-Adjei O, Thompson AG, Asher MA. Dual growing rod technique for the treatment of progressive early-onset scoliosis: a multicenter study. *Spine*. 2005;30(17 Suppl):S46–S57. DOI: 10.1097/01.brs.0000175190.08134.73.
10. Akbarnia BA, Cheung K, Noordeen H, Elsebaie H, Yazici M, Dannawi Z, Kabirian N. Next generation of growth-sparing techniques: preliminary clinical results of a magnetically controlled growing rod in 14 patients with early-onset scoliosis. *Spine*. 2013;38:665–670. DOI: 10.1097/brs.0b013e3182773560.
11. Akbarnia BA, Yaszay B, Yazici M, Kabirian N, Blakemore LC, Strauss KR, Glaser D. Biomechanical evaluation of 4 different foundation constructs commonly used in growing spine surgery: Are rib anchors comparable to spine anchors? *Spine Deform*. 2014;2:437–443. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.04.001.
12. Berend N, Marlin GE. Arrest of alveolar multiplication in kyphoscoliosis. *Pathology*. 1979;11:485–491. DOI: 10.3109/00313027909059026.
13. Bergofsky EH. Respiratory failure in disorders of the thoracic cage. *Am Rev Respir Dis*. 1979;119:643–669. DOI: 10.1164/arrd.1979.119.4.643.
14. Bess S, Akbarnia BA, Thompson GH, Sponseller PD, Shah SA, El Sebaie H, Boachie-Adjei O, Karlin LI, Canale S, Poe-Kochert C, Skaggs DL. Complications of growing-rod treatment for early-onset scoliosis: analysis of one hundred and forty patients. *J Bone Joint Surg Am*. 2010;92:2533–2543. DOI: 10.2106/JBJS.101471.
15. Boyden EA. Development and growth of the airways. In: Hodson WA, ed. *Development of the Lung. Lung Biology in Health and Disease*. Vol. 6. New York: Marcel Dekker; 1977:3–36.
16. Cahill PJ, Marvil S, Cuddihy L, Schutt C, Idema J, Clements DH, Antonacci MD, Asghar J, Samdani AF, Betz RR. Autofusion in the immature spine treated with growing rods. *Spine*. 2010;35:E1199–E1203. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181e21b50.
17. Campbell RM Jr, Smith MD, Hell-Vocke AK. Expansion thoracoplasty: the surgical technique of opening-wedge thoracostomy. *Surgical technique*. *J Bone Joint Surg Am*. 2004;86-A Suppl 1:51–64. DOI: 10.2106/00004623-200403001-00008.
18. Campbell RM Jr, Smith MD, Mayes TC, Mangos JA, Willey-Courand DB, Kose N, Pinero RF, Alder ME, Duong HL, Surber JL. The characteristics of thoracic insufficiency syndrome associated with fused ribs and congenital scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A(3):399–408. DOI: 10.2106/00004623-200303000-00001.
19. Campbell RM Jr, Hell-Vocke AK. Growth of the thoracic spine in congenital scoliosis after expansion thoracoplasty. *J Bone Joint Surg Am*. 2003;85-A(3):409–420. DOI: 10.2106/00004623-200303000-00002.
20. Canavese F, Dimeglio A. Normal and abnormal spine and thoracic cage development. *World J Orthop*. 2013;4:167–174. DOI: 10.5312/wjo.v4.i4.167.
21. Canavese F, Dimeglio A, Volpatti D, Stebel M, Daures JP, Canavese B, Cavalli F. Dorsal arthrodesis of thoracic spine and effects on thorax growth in prepubertal New Zealand white rabbits. *Spine*. 2007;32:E443–E450. DOI: 10.1097/brs.0b013e3180bc2340.
22. Cheung K, Cheung JP, Samartzis D, Mak KC, Wong YW, Cheung WY, Akbarnia BA, Luk KD. Magnetically controlled growing rods for severe spinal curvature in young children: a prospective case series. *Lancet*. 2012;379:1967–1974. DOI: 10.1016/S0140-6736(12)60112-3.
23. Cil A, Yazici M, Daglioglu K, Aydingoz U, Alanay A, Acaroglu RE, Gulsen M, Surat A. The effect of pedicle screw placement with or without application of compression across the neurocentral cartilage on the morphology of the spinal canal and pedicle in immature pigs. *Spine*. 2005;30:1287–1293. DOI: 10.1097/01.brs.0000164136.95885.e7.
24. Dimeglio A, Canavese F. The growing spine: how spinal deformities influence normal spine and thoracic cage growth. *Eur Spine J*. 2012;21:64–70. DOI: 10.1007/s00586-011-1983-3.
25. Emans JB, Caubet JF, Ordenez CL, Lee EY, Ciarlo M. The treatment of spine and chest wall deformities with fused ribs by expansion thoracostomy and insertion of vertical expandable prosthetic titanium rib: growth of thoracic spine and improvement of lung volumes. *Spine*. 2005;30(Suppl. 17):S58–S68. DOI: 10.1097/01.brs.0000175194.31986.2f.
26. Flynn JM, Tomlinson LA, Pawelek J, Thompson GH, McCarthy R, Akbarnia BA. Growing-rod graduates: lessons learned from ninety-nine patients who completed lengthening. *J Bone Joint Surg Am*. 2013;95(19):1745–1750. DOI: 10.2106/JBJS.L.01386.
27. Forrester MB, Merz RD. Descriptive epidemiology of hemivertebrae, Hawaii, 1986–2002. *Congenit Anom (Kyoto)*. 2006;46:172–176. DOI: 10.1111/j.1741-4520.2006.00124.x.
28. Gadepalli SK, Hirschl RB, Tsai WC, Caird MS, Vanderhave KL, Strouse PJ, Drongowski RA, Farley FA. Vertical expandable prosthetic titanium rib device insertion: Does it improve lung function? *J Pediatr Surg* 2011;46:77–80. DOI: 10.1016/j.jpedsurg.2010.09.070.
29. Galambos C, Demello DE. Regulation of alveologenesis: clinical implications of impaired growth. *Pathology*. 2008;40:124–140. DOI: 10.1080/00313020701818981.
30. Garg S, LaGreca J, St. Hilaire T, Gao D, Glotzbecker M, Li Y, Smith JT, Flynn J. Wound complications of vertical expandable prosthetic titanium rib incisions. *Spine*. 2014;39:E777–E781. DOI: 10.1097/brs.0000000000000343.
31. Goldberg CJ, Moore DP, Fogarty EE, Dowling FE. The natural history of early onset scoliosis. *Stud Health Technol Inform*. 2002;91:68–70.
32. Goldstein I, Makhoul IR, Weissman A, Drugan A. Hemivertebra: prenatal diagnosis, incidence and characteristics. *Fetal Diagn Ther*. 2005;20:121–126. DOI: 10.1159/000082435.
33. Hall JE, Herndon WA, Levine CR. Surgical treatment of congenital scoliosis with or without Harrington instrumentation. *J Bone Joint Surg Am*. 1981;63:608–619.
34. Hedequist DJ, Hall JE, Emans JB. Hemivertebra excision in children via simultaneous anterior and posterior exposures. *J Pediatr Orthop*. 2005;25:60–63.
35. Johnston CE, McClung A, Fallatah S. Computed tomography lung volume changes after surgical treatment for early-onset scoliosis. *Spine Deform*. 2014;2:460–466. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.04.005.
36. Karol LA, Johnston C, Mladenov K, Schochet P, Walters P, Browne RH. Pulmonary function following early thoracic fusion in non-neuromuscular scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2008;90:1272–1281. DOI: 10.2106/jbjs.g.00184.
37. Kesling KL, Lonstein JE, Denis F, Perra JH, Schwender JD, Transfeldt EE, Winter RB. The crankshaft phenomenon after posterior spinal arthrodesis for congenital scoliosis: a review of 54 patients. *Spine*. 2003;28:267–271. DOI: 10.1097/01.brs.0000042252.25531.a4.
38. Lee C, Myung KS, Skaggs DL. Some connectors in distraction-based growing rods fail more than others. *Spine Deform*. 2013;1:148–156. DOI: 10.1016/j.jspd.2012.11.002.
39. Lenke LG, Newton PO, Sucato DJ, Shuffelbarger HL, Emans JB, Sponseller PD, Shah SA, Sides BA, Blanke KM. Complications after 147 consecutive vertebral column resections for severe pediatric spinal deformity: a multicenter analysis. *Spine*. 2013;38:119–132. DOI: 10.1097/brs.0b013e318269fab1.
40. Mahar A, Bagheri R, Oka R, Kostial P, Akbarnia BA. Biomechanical comparison of different anchors (foundations) for the pediatric dual growing rod technique. *Spine J*. 2008;8:933–939. DOI: 10.1016/j.spinee.2007.10.031.
41. Mahar A, Kabirian N, Akbarnia BA, Flippin M, Tomlinson T, Kostial P, Bagheri R. Effects of posterior distraction forces on anterior column intradiscal pressure in the dual growing rod technique. *J Orthop Sci*. 2015;20:12–16. DOI: 10.1007/s00776-014-0646-8.
42. McCarthy RE, Luhmann S, Lenke L, McCullough FL. The Shilla growth guidance technique for early-onset spinal deformities at 2-year follow-up: a preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 2014;34:1–7. DOI: 10.1097/bpo.0b013e31829f92dc.
43. Moe JH, Kharrat K, Winter RB, Cummine JL. Harrington instrumentation without fusion plus external orthotic support for the treatment of difficult cur-

- vature problems in young children. Clin Orthop Relat Res. 1984;(185):35–45. DOI: 10.1097/00003086-198405000-00006.
44. **Motoyama EK, Yang CI, Deency VF.** Thoracic malformation with early onset scoliosis: effect of serial VEPTR expansion thoracoplasty on lung growth and function in children. Paediatr Respir Rev. 2009;10:12–17. DOI: 10.1016/j.prrv.2008.10.004.
45. **Odent T, Ilharreborde B, Miladi L, Khouri N, Violas P, Ouellet J, Cunin V, Kieffer J, Kharrat K, Accadbled F.** Fusionless surgery in early-onset scoliosis. Orthop Traumatol Surg Res. 2015;101(6 Suppl):S281–S288. DOI: 10.1016/j.otsr.2015.07.004.
46. **Ouellet J.** Surgical technique: modern Luque trolley, a self-growing rod technique. Clin Orthop Relat Res. 2011;469:1356–1367. DOI: 10.1007/s11999-011-1783-4.
47. **Redding G, Song K, Inscore S, Effmann E, Campbell R.** Lung function asymmetry in children with congenital and infantile scoliosis. Spine J. 2008;8:639–644. DOI: 10.1016/j.spinee.2007.04.020.
48. **Roaf R.** The treatment of progressive scoliosis by unilateral growth arrest. J Bone Joint Surg Br. 1963;45:637–651.
49. **Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL.** Comparison of complications among growing spinal implants. Spine. 2010;35:2091–2096. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181c6edd7.
50. **Sankar WN, Skaggs DL, Yazici M, Johnston CE 2nd, Shah SA, Javidan P, Kadakia RV, Day TF, Akbarnia BA.** Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns. Spine. 2011;36:806–809. DOI: 10.1097/brs.0b013e318214d78f.
51. **Shah SA, Sucato DJ, Newton PO, Shufflebarger HL, Emans JB, Sponseller PD, Neiss G, Yorgova P, Lenke IG.** Perioperative neurologic events from a multicenter consecutive series of pediatric vertebral column resection: nature, frequency and outcomes. Proceedings of the 17th International Meeting on Advanced Spine Techniques. Toronto, Ontario, Canada, 2010:97.
52. **Shands AR Jr, Eisberg HB.** The incidence of scoliosis in the state of Delaware; a study of 50,000 minifilms of the chest made during a survey for tuberculosis. J Bone Joint Surg Am. 1955;37:1243–1249.
53. **Striegl A, Chen ML, Kifle Y, Song K, Redding G.** Sleep-disordered breathing in children with thoracic insufficiency syndrome. Pediatr Pulmonol. 2010;45:469–474. DOI: 10.1002/ppul.21197.
54. **Suk SI, Chung ER, Lee SM, Lee JH, Kim SS, Kim JH.** Posterior vertebral column resection in fixed lumbosacral deformity. Spine. 2005;30:E703–E710. DOI: 10.1097/01.brs.0000188190.90034.be.
55. **Swank SM, Winter RB, Moe JH.** Scoliosis and cor pulmonale. Spine. 1982;7:343–354. DOI: 10.1097/00007632-198207000-00004.
56. **Teoh K, Winson D, James SH, Jones A, Howes J, Davies PR, Ahuja S.** Do magnetic growing rods have lower complication rates compared with conventional growing rods? Spine J. 2016;16(4 Suppl):S40–S44. DOI: 10.1016/j.spinee.2015.12.099.
57. **Terek RM, Wehner J, Lubicky JP.** Crankshaft phenomenon in congenital scoliosis: a preliminary report. J Pediatr Orthop. 1991;11:527–532. DOI: 10.1097/01241398-199107000-00021.
58. **Thompson GH, Akbarnia BA, Kostial P, Poe-Kochert C, Armstrong DG, Roh J, Lowe R, Asher MA, Marks DS.** Comparison of single and dual growing rod techniques followed through definitive surgery: a preliminary study. Spine. 2005;30:2039–2044. DOI: 10.1097/01.brs.0000179082.92712.89.
59. **Vitale MG, Matsumoto H, Bye MR, Gomez JA, Booker WA, Hyman JE, Roye DP Jr.** A retrospective cohort study of pulmonary function, radiographic measures, and quality of life in children with congenital scoliosis: an evaluation of patient outcomes after early spinal fusion. Spine. 2008;33:1242–1249. DOI: 10.1097/brs.0b013e3181714536.
60. **Yamaguchi K, Skaggs D, Mansour S, Myung K, Yazici M, Johnston C, Thompson G, Sponseller P, Akbarnia BA, Vitale MG.** Are rib versus spine anchors protective against breakage of growing rods? Spine Deform. 2014;2:489–492. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.08.007.

Адрес для переписки:

Хусаинов Никита Олегович
196603, Санкт-Петербург, Пушкин,
ул. Парковая, 64–68,
НИДОИ им. Г.И. Турнера,
nikita_husainov@mail.ru

Address correspondence to:

Khusainov Nikita Olegovich
The Turner Scientific and Research Institute for Children's
Orthopaedics,
Parkovaya str., 64–68, Pushkin,
St. Petersburg, 196603, Russia,
nikita_husainov@mail.ru

Статья поступила в редакцию 30.12.2016

Рецензирование пройдено 22.01.2017

Подписана в печать 26.01.2017

Received 30.12.2016

Review completed 22.01.2017

Passed for printing 26.01.2017

Никита Олегович Хусаинов, научный сотрудник, отделение патологии позвоночника и нейрохирургии, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия, nikita_husainov@mail.ru;

Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук, заместитель директора по научной и учебной работе, научный руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия, turner01@mail.ru;

Дмитрий Николаевич Кокушин, научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии, Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия, turner01@mail.ru.

Nikita Olegovich Khusainov, MD, researcher in the Department of spine pathology and neurosurgery, The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopaedics, St. Petersburg, Russia, nikita_husainov@mail.ru;

Sergei Valentinovich Vissarionov, DMSc, Deputy Director for science and academic work, Head of the Department of spine pathology and neurosurgery, The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopaedics, St. Petersburg, Russia, turner01@mail.ru;

Dmitry Nikolayevich Kokushin, MD, researcher in the Department of spinal pathology and neurosurgery, The Turner Scientific Research Institute for Children's Orthopaedics, St. Petersburg, Russia, turner01@mail.ru.