

## АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ХИРУРГИЧЕСКОГО ЛЕЧЕНИЯ ДЕТЕЙ С МНОЖЕСТВЕННЫМИ АНОМАЛИЯМИ РАЗВИТИЯ ПОЗВОНКОВ И ГРУДНОЙ КЛЕТКИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ВНЕПОЗВОНОЧНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

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

ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Статья поступила в редакцию: 10.02.2017

Статья принята к печати: 12.05.2017

**Актуальность.** Идеология лечения пациентов с врожденными деформациями позвоночника на фоне изолированных пороков развития тел позвонков заключается в проведении коррекции и стабилизации деформации в максимально раннем возрасте с сохранением возможности дальнейшего роста. Однако для лечения детей с врожденной деформацией при множественных и комбинированных аномалиях развития позвонков и ребер применение данной тактики затруднительно. С этой целью все шире используют внепозвоночные металлоконструкции, однако публикации, отражающие результаты их применения, немногочисленны.

**Цель** — анализ результатов лечения пациентов с множественными аномалиями развития позвоночника и грудной клетки после этапных оперативных вмешательств с использованием внепозвоночных металлоконструкций.

**Материалы и методы.** За период с 2012 по 2016 г. проведено хирургическое лечение 20 пациентов в возрасте от 2 до 12 лет, которым выполнены 44 оперативных вмешательства. Средний возраст пациентов на момент вмешательства составил 6,9 года. В 13 наблюдениях деформация имела грудную локализацию, у 7 детей — груднопоясничную. Бифокальный реберно-реберный захват применили в 18 наблюдениях, реберно-позвоночные металлоконструкции — в 26 случаях. Результаты хирургического вмешательства оценивали по величине коррекции сколиотической дуги деформации непосредственно после оперативного вмешательства, также оценивали количество этапов проведенного оперативного лечения, частоту и характер осложнений.

**Результаты.** Средняя величина сколиотической деформации до хирургического вмешательства составила 68,7° по Cobb. Количество этапных вмешательств варьировало от 3 до 7. Средняя величина коррекции деформации после хирургического вмешательства составила 15,1°. В отдаленном периоде после проведенных этапных операций у всех 20 пациентов величина деформации не превышала исходную. Частота осложнений в послеоперационном периоде составила 15,9 %.

**Заключение.** Использование внепозвоночных металлоконструкций в лечении пациентов с врожденными сколиотическими деформациями на фоне комбинированных аномалий развития позвонков и одностороннего синостоза ребер позволяет уменьшить имеющуюся деформацию, приостановить темпы ее прогрессирования и увеличить объем гемиторакса.

**Ключевые слова:** врожденный сколиоз, хирургическое лечение, синостоз ребер, дети.

## ANALYSIS OF RESULTS OF TREATMENT WITHOUT-OF-SPINE-BASED IMPLANTS IN PATIENTS WITH MULTIPLE CONGENITAL ANOMALIES OF THE SPINE AND THORAX

© S.V. Vissarionov, N.O. Khusainov, D.N. Kokushin

The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, Saint Petersburg, Russia

For citation: Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery, 2017;5(2):5-12

Received: 10.02.2017

Accepted: 12.05.2017

**Aim.** Treatment of patients with multiple congenital anomalies of the spine is a complex problem, demanding both correction and stabilization to be performed as early as possible without disturbing the growth of the spinal column.

To achieve the latter, different instrumentation, such as rib-based distractors, may be useful. Little is known this treatment of congenital spine deformities. We aimed to investigate the results of treatment in our patients with the use of out-of-spine-based metal implants.

**Material and methods.** During 2012–2016, there were 44 procedures performed in 20 patients at an age of 2 years to 12 years. In 13 cases, the deformity was located in the thoracic spine and in the thoracolumbar regions in 7 cases. We used bifocal rib-rib connections in 18 procedures, and a rib-spine connection in 26 cases. Results were evaluated based upon the amount of achieved correction after each procedure, amount of stages of treatment, and complication rates.

**Results.** The mean curve magnitude was 68.7°. The amount of staged procedures varied from 3 to 7. The mean amount of achieved correction was 15.1°. In all cases, deformity was lower than at the beginning of the treatment. The complication rate was 15.9%.

**Conclusion.** We assume that out-of-spine-based metal implants may be used in treatment of patients with multiple congenital spine and thorax anomalies, as this technique allows effective correction and stabilization of the deformity, as well as increases the volume of the hemithorax.

**Keywords:** congenital scoliosis, surgical treatment, rib synostosis, children.

## Актуальность

Несмотря на сравнительно небольшую частоту встречаемости в общей структуре ортопедической патологии у детей, врожденные деформации позвоночника представляют серьезную проблему в практике вертебролога. Наиболее тяжелую группу среди этой категории больных составляют пациенты с врожденной деформацией на фоне множественных аномалий развития тел позвонков и синостоза ребер. Это связано с характером течения искривления позвоночного столба при подобных вариантах врожденных пороков тел позвонков и нарушения формирования ребер в процессе роста ребенка. Процесс формирования и развития врожденных деформаций позвоночника при таких аномалиях характеризуется их выраженностью и ригидностью, неуклонным и бурным прогрессированием, формированием компенсаторных дуг искривления, а также существенным снижением качества и продолжительности жизни пациента [1–6]. Среди больных данной группы отмечается высокая частота смертности от сердечно-легочных заболеваний [7], которые связывают с развитием рестриктивных нарушений функции внешнего дыхания и с последующим формированием легочной гипертензии (*cor pulmonale*). Данное состояние впервые описано Campbell как «синдром торакальной недостаточности» (*thoracic insufficiency syndrome*) [8]. Общеизвестным является факт безуспешности консервативного лечения в виде корсетотерапии, средств лечебной физкультуры или этапных гипсовых коррекций [9, 10]. В подавляющем большинстве случаев такие пациенты требуют хирургического лечения, задачами которого являются: восстановление или улучшение баланса туловища, предотвращение развития синдрома торакальной недостаточности и неврологических нарушений, а также сохранение длины позвоночного столба.

В отечественной и зарубежной литературе достаточно подробно и детально освещены вопросы тактики ведения и хирургического лечения детей раннего возраста с изолированными врожденными деформациями позвоночника грудного и поясничного отделов [1, 11]. К применяемым методикам относятся: стабилизация деформации *in situ*, а также радикальная коррекция посредством экстирпации/частичной резекции аномально развитых костных структур с последующей стабилизацией металлоконструкцией, установленной на позвоночник [11–14]. Однако для лечения пациентов с множественными аномалиями развития позвонков и синостозом ребер эти вмешательства не всегда приемлемы ввиду опасности развития вторичных деформаций и уменьшения размера грудной клетки, ассоциированного с синдромом торакальной недостаточности [15, 16]. Кроме того, у этой категории пациентов проведение хирургического вмешательства в раннем возрасте не позволяет одновременно и радикально исправить врожденное искривление, а необходимость осуществления многократных этапных операций в процессе роста ребенка создает опасность развития неврологических нарушений и осложнений со стороны внутренних органов [17–19].

В последние годы среди методик, применяемых в лечении пациентов, страдающих инфантильными формами сколиоза, все большее распространение получают этапные вмешательства с использованием «растущих» металлоконструкций, в частности внепозвоночных систем, которые позволяют осуществлять опосредованную коррекцию и стабилизацию деформации позвоночника до достижения ребенком возраста, когда возможно проведение завершающего хирургического вмешательства. К внепозвоночным металлоконструкциям мы относим те, которые имеют реберно-реберную, реберно-тазовую или реберно-позвоночную фиксацию и не сопровождаются

протяженной стабилизацией позвоночника (более одного позвоночно-двигательного сегмента) и костной пластикой. Основным показанием к их применению служит наличие порока развития грудной клетки (синостозирование ребер). Первой предложенной и одной из наиболее широко применяемых конструкций является VEPTR (Vertical Expandable Prosthetic Titanium Rib), которую впервые использовали Robert Campbell и Melvin Smith в 1989 г. для лечения пациента с «синдромом торакальной недостаточности» [20]. Существуют сообщения об успешном применении этих систем в различных вариантах установки (реберно-реберный захват, реберно-позвоночный, с опорой на кости таза) у пациентов с нейрогенными формами сколиоза [21]. Одновременно с этим необходимо подчеркнуть, что опыт их использования у пациентов с врожденными деформациями позвоночника на фоне множественных пороков позвонков и синостоза ребер представлен в литературе недостаточно.

Цель — провести анализ результатов хирургического лечения пациентов детского возраста с врожденной деформацией грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне множественных аномалий развития позвонков и синостоза ребер с использованием реберно-реберных и реберно-позвоночных металлоконструкций.

## Материалы и методы

За период с 2012 по 2016 г. в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России проведено хирургическое лечение 20 пациентов в возрасте от 2 до 12 лет, которым выполнены 44 оперативных вмешательства. Средний возраст пациентов на момент вмешательства составил 6,9 года. Все пациенты (их представители) добровольно подписали информированное согласие на участие в исследовании и выполнение хирургического вмешательства. У всех пациентов сколиоти-

ческая деформация была обусловлена наличием множественных комбинированных аномалий развития позвонков (асимметричные бабочковидные позвонки, боковой несегментированный стержень, множественные полусегментированные заднебоковые полупозвонки) и односторонним синостозом ребер. В группу исследования не включали пациентов с сопутствующей патологией спинного мозга и позвоночного канала (спинальный дизрафизм, различные варианты фиксации спинного мозга), а также больных, которым коррекцию деформации осуществляли на этапах внедрения хирургической методики. Неврологических нарушений не было отмечено ни у одного ребенка.

В 13 наблюдениях деформация имела грудную локализацию, у остальных 7 детей — груднопоясничную (рис. 1).

Проведено 18 хирургических вмешательств с использованием металлоконструкций с бифокальным реберно-реберным захватом и 26 операций с применением реберно-позвоночных систем, которые включали этапные вмешательства, ряд из них сопровождался заменой корригирующего имплантата (рис. 2).

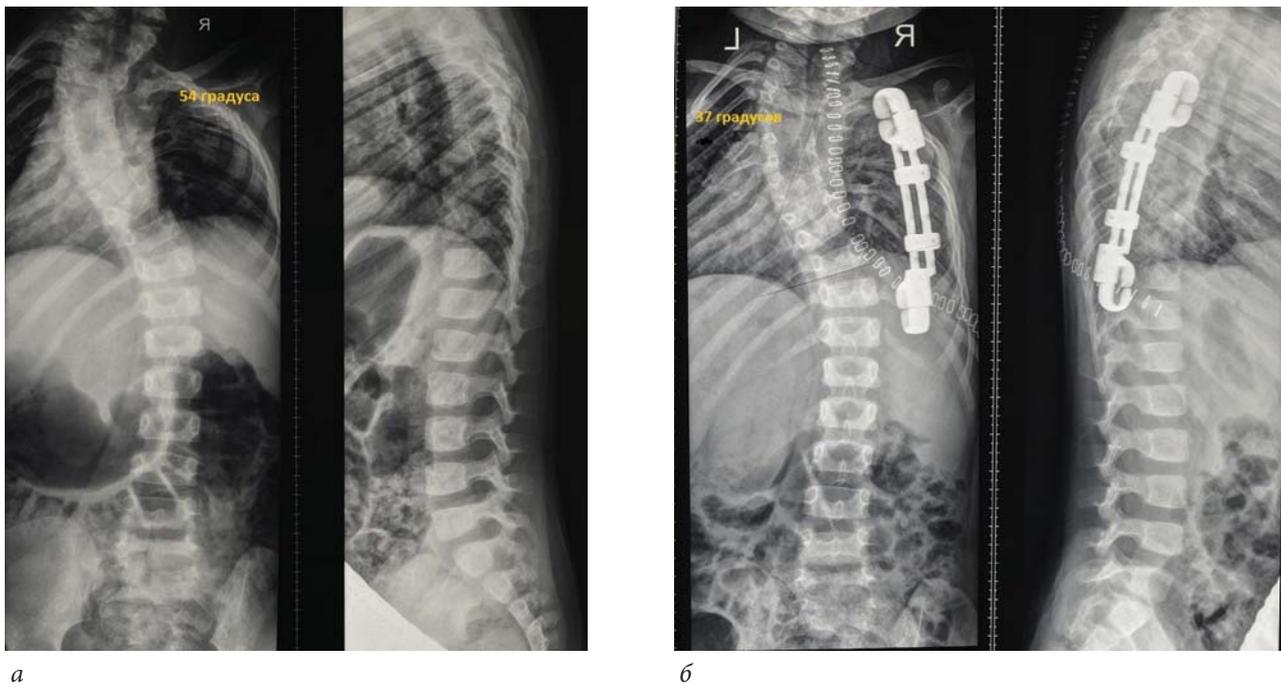
Показаниями для проведения хирургического вмешательства являлись: тяжелая врожденная деформация позвоночника на фоне множественных аномалий развития позвонков и одностороннего синостоза ребер, бурное прогрессирование имеющегося искривления (более  $10^\circ$  в год), резко сниженный объем гемиторакса на стороне реберного блока. Величину сколиотической деформации определяли по методу Cobb на рентгенограммах позвоночника в прямой проекции, выполненных в положении лежа. С целью уточнения характера порока, определения объема гемиторакса на вогнутой стороне деформации, оценки анатомо-антропометрических параметров позвонков и характера искривления реберной клетки осуществляли компьютерную томографию. Для исключения интраканальной патологии проводили магнитно-резонансную томографию. У пациентов с врожден-



**Рис. 1.** Распределение пациентов по уровню локализации деформации



**Рис. 2.** Распределение пациентов по типу использованной металлоконструкции

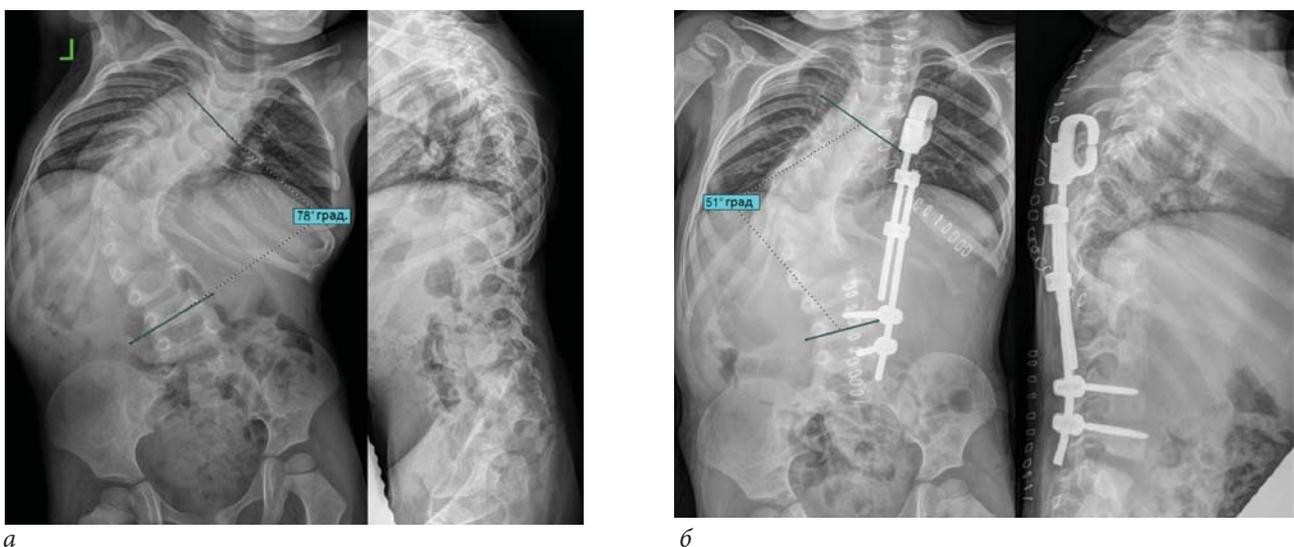


**Рис. 3.** Рентгенограммы пациентки С., 5 лет. Диагноз: «Врожденный сколиоз на фоне множественных аномалий развития позвоночника (заднебоковые Th2(S), Th6(S) полупозвонок, правосторонний несегментированный стержень Th4-Th7, синостоз 2-7-х ребер справа)»: а — до операции; б — после хирургического вмешательства

ной деформацией позвоночника в грудном отделе на фоне множественных пороков развития тел позвонков и одностороннего синостозирования ребер хирургическое вмешательство осуществляли при помощи реберно-реберной металлоконструкции. Целью операции являлись восстановление формы грудной клетки, опосредованное исправление и стабилизация врожденного искривления позвоночника при помощи металлоконструкции с формированием реберно-реберного захвата на верхней и нижней границах синостозированных ребер на протяжении сколиотической дуги деформации (рис. 3).

У пациентов с врожденным искривлением в грудном и поясничном отделах позвоночника, односторонним синостозированием ребер в ходе вмешательства использовали реберно-позвоночную металлоконструкцию. При этом верхний реберный захват формировали на уровне верхнего участка синостозированных ребер, а нижние опорные элементы (транспедикулярные винты) устанавливали в поясничном отделе позвоночника по вогнутой стороне деформации (рис. 4).

Сформированные опорные площадки соединяли через коннекторы при помощи двух стержней. У всех пациентов выполняли несколько (2-3) про-



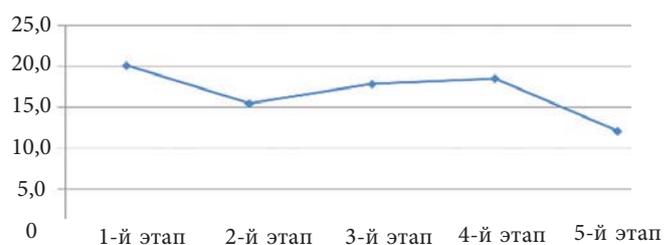
**Рис. 4.** Рентгенограммы пациента О., 4 года. Диагноз: «Врожденный сколиоз на фоне множественных аномалий развития позвоночника (заднебоковой Th9(S) полупозвонок, правосторонний несегментированный стержень Th6-L1, синостоз 6-9-х ребер справа)»: а — до операции; б — после хирургического вмешательства

дольных остеотомий ребер на протяжении блокированных ребер и осуществляли дистрагирующее воздействие вдоль стержней. Этапную коррекцию деформации позвоночника производили посредством выделения раздвижной части металлоконструкции и последующей дистракции с частотой 1 раз в 6–9 месяцев. Результаты хирургического вмешательства оценивали по величине коррекции сколиотической дуги деформации непосредственно после оперативного вмешательства, также оценивали количество этапов проведенного оперативного лечения, частоту и характер осложнений.

## Результаты

Средняя величина сколиотической деформации до хирургического вмешательства составила  $68,7^\circ$  (от  $36$  до  $94^\circ$ ) по Cobb. Количество этапных вмешательств варьировало от 3 до 7. Средняя величина коррекции деформации после хирургического вмешательства на момент окончания наблюдения за пациентами (от 1 года до 4 лет) составила  $15,1^\circ$ . Усредненное значение величины коррекции каждого из этапных вмешательств составило  $11,4^\circ$ . При более подробном анализе эффективности коррекции на каждом из этапов установлено, что наибольшим корригирующим эффектом обладало первое хирургическое вмешательство. В дальнейшем отмечали медленную, но стабильную тенденцию к снижению эффективности проводимой коррекции (рис. 5).

Средняя величина коррекции при использовании реберно-реберных металлоконструкций со-

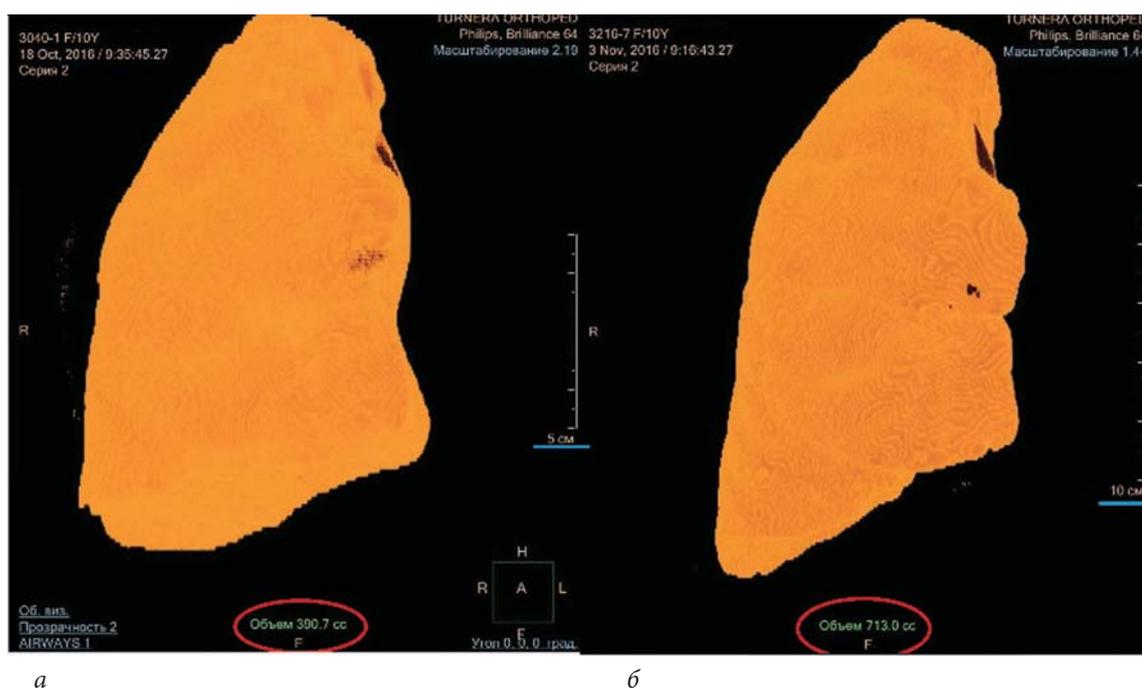


**Рис. 5.** Динамика величины коррекции сколиотического компонента деформации на каждом из этапов хирургического лечения

ставляла  $8,6^\circ$ , при использовании реберно-позвоночных металлоконструкций —  $18,6^\circ$ .

В отдаленном периоде (от 1 года до 4 лет) после проведенных этапных операций у всех 20 пациентов величина деформации не превышала исходную, что свидетельствовало об отсутствии прогрессирования врожденного искривления. По данным МСКТ-исследования в послеоперационном периоде у больных наблюдали увеличение объема гемиторакса и легкого на стороне вмешательства приблизительно в 2 раза (рис. 6).

Частота осложнений в послеоперационном периоде составила 15,9 %: в 4 случаях отмечена дестабилизация металлоконструкции (перелом стержня); в 3 наблюдениях отмечено развитие трофических нарушений со стороны мягких тканей в зоне вмешательства на стороне установленной металлоконструкции. Первая группа осложнений объяснялась значительной величиной сколиотической дуги деформации позвоночника и прогрессирующим характером течения искривления на фоне продолжающегося роста ребенка, вторая



**Рис. 6.** Данные компьютерной томографии демонстрируют увеличение объема легкого с 390,7 cc (а — до операции) до 713,0 cc (б — после операции). Величина основания масштаба рисунков а и б — 5 и 10 см соответственно

группа осложнений была обусловлена гипотрофией пациента, а также отсутствием выраженного мышечного и подкожно-жирового слоя на вогнутой стороне грудной клетки, что создавало технические трудности при укрывании металлоконструкции. Дестабилизация металлоконструкции потребовала проведения повторных вмешательств с целью замены стержней. Вторая группа, представленная нарушением процесса заживления раны, была успешно купирована при помощи консервативных методов.

## Обсуждение

Течение врожденных сколиотических деформаций на фоне комбинированных пороков развития позвоночника и одностороннего синостоза ребер отличается ранним началом, а также бурным и неуклонным прогрессирующим по мере роста и развития ребенка. Трудность в лечении пациентов данной группы состоит в отсутствии возможности одномоментного проведения радикальной коррекции врожденной деформации и стабилизации позвоночника в физиологически правильном положении. Невозможность достижения такого результата обусловлена множественными аномалиями позвонков и синостозом ребер, наличием сохраняющейся значительной потенции к росту и высоким риском развития вторичных деформаций позвоночного столба. Одним из вариантов лечения данной категории пациентов является использование металлоконструкций, которые позволяют добиться уменьшения или стабилизации врожденной деформации посредством воздействия на реберный каркас грудной клетки, избегая проведения вмешательств непосредственно на позвоночнике. Данная тактика лечения позволяет предотвратить бурное прогрессирующее врожденное искривление позвоночника до момента окончания костного роста пациента, когда становится возможным выполнение завершающего стабилизирующего оперативного вмешательства, а также увеличить объем грудной клетки с целью создания условия для развития легких. Результаты лечения демонстрируют возможность коррекции врожденной деформации, увеличения длины позвоночника на стороне деформации в среднем на 8,0 мм/год, повышения показателей функции внешнего дыхания, увеличения объема легочной перфузии по данным радиоизотопных исследований и увеличения объема легочной ткани по данным компьютерной томографии [22–26]. Последний эффект наблюдали и мы при проведении данного исследования. Однако существуют сообщения об отрицательном воздействии

этой методики на функцию внешнего дыхания ввиду наличия металлического имплантата и послеоперационных рубцов, ограничивающих экскурсию ребер [27]. В данной ситуации важен тактически правильный выбор возраста ребенка для осуществления вмешательства, так как в группе больных, 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 [27]. Объяснением этому факту, по-видимому, могут служить данные работ Dimeglio et al., которые демонстрируют, что развитие альвеол наиболее активно происходит в течение первых 5 лет жизни ребенка, а после 7–8 лет их количество не меняется [28, 29]. Потому только своевременно созданные условия для развития легкого, то есть хирургические вмешательства в раннем возрасте, позволят улучшить функцию дыхания.

Недостатком этого вида вмешательства является высокая частота развития осложнений (по данным ряда авторов, до 72 %), преимущественно связанных с нарушением заживления операционной раны, присоединением инфекционного процесса, ранениями плевры, миграцией опорных элементов, повреждением плечевого сплетения [30, 31]. В нашей работе частота развития осложнений составила 15,9 %, ограничившись только переломом стержня металлоконструкции и замедленным заживлением операционной раны. С целью профилактики осложнений мы считаем важным при формировании реберного захвата и до коррекции тщательное выполнение мобилизации надкостницы ребер и интимно спаянной с ней париетальной плевры. Соблюдение данного технического момента позволяет избежать разрывов плевры при коррекции и проведения дренирования плевральной полости. Одновременно с этим необходимо отметить, что при осуществлении этапных хирургических вмешательствах, вне зависимости от сроков их выполнения, мы сталкивались с проблемой спонтанного формирования выраженного костного блока между ребрами в зоне первичной операции, который приходилось повторно подвергать остеотомии с целью осуществления этапной коррекции. Стоит отметить, что несмотря на то, что оперативное вмешательство не включало выполнение вертебротомии, уменьшение величины деформации мы связывали с коррекцией, возникающей на уровне смежных с аномалией позвоночно-двигательных сегментов. Это соотносится с тем, что при использовании реберно-позвоночных фиксаторов величина коррекции была больше. Не установлена частота и кратность проведения этапных дистрак-

ций — по аналогии с использованием «растущих стержней» их выполняют в среднем через 6–9 месяцев до достижения костной зрелости, достаточной для проведения завершающего хирургического вмешательства. При лечении наших пациентов мы руководствовались темпами прибавки ребенка в росте и степенью прогрессирования деформации: в связи с разнородностью вариантов пороков у многих пациентов она отличалась. В работах ряда авторов отмечена нашедшая подтверждение и в нашем исследовании закономерность, заключающаяся в постепенном уменьшении корригирующего эффекта проводимых этапных хирургических вмешательств [32]. Последний факт может косвенно свидетельствовать о том, что, несмотря на характер вмешательства, исключающий скелетирование костных структур непосредственно позвонков, односторонняя стабилизация металлоконструкцией приводит к постепенному ограничению возможности эффективной коррекции врожденной деформации. С нашей точки зрения, данная корригирующая система имеет ограниченные показания для использования и может применяться у детей с врожденной деформацией позвоночника, обусловленной множественными аномалиями развития позвонков и/или ребер, в том случае, если невозможно осуществить одномоментное или ряд хирургических вмешательств, позволяющих полностью исправить врожденное искривление позвоночного столба.

## Заключение

Результаты нашей работы демонстрируют, что использование реберно-реберных и реберно-позвоночных систем в лечении пациентов с врожденными сколиотическими деформациями на фоне комбинированных аномалий развития позвонков и одностороннего синостоза ребер позволяет эффективно корригировать имеющуюся деформацию (в среднем на 15,1°), предотвратить ее бурное прогрессирование по мере роста ребенка, увеличить объем гемиторакса. Однако значительное количество осложнений, связанных с данной хирургической технологией, заставляет задуматься о широком ее применении и заниматься поиском новых более эффективных вариантов коррекции врожденной деформации у детей с множественными аномалиями развития позвонков и синостозом ребер.

## Информация о финансировании и конфликте интересов

Авторы статьи декларируют отсутствие конфликта интересов.

Финансирование данного исследования не производилось.

## Список литературы

1. Ульрих Э.В. Аномалии позвоночника у детей: рук. для врачей. – СПб.: Сотис, 1995. – 336 с. [Ulrikh EV. Spine anomalies in children: manual for doctors. Saint Petersburg: Sotis; 1995. 336 p. (In Russ.)]
2. Berend N, Marlin GE. Arrest of alveolar multiplication in kyphoscoliosis. *Pathology*. 1979;11:485-491. doi: 10.3109/00313027909059026.
3. Bergofsky EH. Respiratory failure in disorders of the thoracic cage. *Am Rev Respir Dis*. 1979;119:643-669.
4. Campbell RM Jr, et al. 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.
5. Goldberg CJ, Moore DP, Fogarty EE, et al. The natural history of early onset scoliosis. *Stud Health Technol Inform*. 2002;91:68-70.
6. 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.
7. Swank SM, Winter RB, Moe JH. Scoliosis and cor pulmonale. *Spine*. 1982;7:343-54. doi: 10.1097/00007632-198207000-00004.
8. Campbell Jr RM, Smith MD. Thoracic insufficiency syndrome and exotic scoliosis. *J Bone Joint Surg Am*. 2007;89(Suppl 1):108-22. doi:10.2106/00004623-200701001-00013.
9. Winter RB, Lonstein JE, Boachie-Adjei O. Congenital spinal deformity. *Instr Course Lect*. 1996;45:117-27.
10. Bouchoucha S, Khelifi A, Saied W, et al. Progressive correction of severe spinal deformities with halo-gravity traction. *Acta Orthop Belg*. 2011; 77:529-534.
11. Виссарионов С.В. Хирургическое лечение сегментарной нестабильности грудного и поясничного отделов позвоночника у детей: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Новосибирск, 2008. [Vissarionov SV. Surgical treatment of segmental instability of the thoracic and thoracolumbar spine in children. [dissertation] Saint Petersburg; 2008. (In Russ.)]
12. Hedequist DJ, Hall JE, Emans JB. Hemivertebra excision in children via simultaneous anterior and posterior exposures. *J Pediatr Orthop*. 2005;25:60-63. doi: 10.1097/01241398-200501000-00014.
13. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Картавенко К.А., Ефремов А.М. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2012. – № 3. – С. 33–37. [Vissarionov SV, Kartavenko KA, Kokushin DN, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital lumbar and lumbosacral spine deformity. *Spine Surgery*. 2012;(3):33-37. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2012.3.33-37.
14. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Ефремов А.М. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией позвоночника у детей: Автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Новосибирск, 2008. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Belyanчиков SM, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital spine deformity. [dissertation] Saint Petersburg; 2008. (In Russ.)]

- денной деформацией верхнегрудного отдела позвоночника // Хирургия позвоночника. – 2011. – № 2. – С. 035-040. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Belyanchikov SM, Efremov AM. Surgical treatment of children with congenital deformity of the upper thoracic spine. *Spine Surgery*. 2011;(2):35-40. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2011.2.35-40.
15. Karol LA, Johnston C, Mladenov K, et al. 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.
  16. Terek RM, Wehner J, Lubicky JP. Crankshaft phenomenon in congenital scoliosis: a preliminary report. *J Pediatr Orthop*. 1991;11(4):527-532. doi: 10.1097/01241398-199107000-00021.
  17. Михайловский М.В., Ханаев А.Л. Врожденные аномалии вне апикальной зоны: диагноз и принципы лечения // Хирургия позвоночника. – 2009. – № 3. – С. 46–50. [Mikhailovsky MV, Khanaev AL. Congenital abnormalities outside the apical region: diagnosis and treatment approaches. *Spine Surgery*. 2009;(3):46-50. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2009.3.46-50.
  18. Shah SA, Sucato DJ, Newton PO, et al. 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.
  19. Lenke LG, Newton PO, Sucato DJ, et al. Complications following 147 consecutive vertebral column resections for severe pediatric spinal deformity: a multicenter analysis. *Spine*. 2013;38(2):119-132. doi: 10.1097/brs.0b013e318269fab1.
  20. 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.
  21. El-Hawary, Kadhim M, Smith J, et al. VEPTR Implantation to Treat Children With Early-Onset Scoliosis Without Rib Abnormalities: Early Results From a Prospective Multicenter Study. *J Pediatr Orthop*. 2017 Jan 30. doi: 10.1097/BPO.0000000000000943.
  22. Михайловский М.В., Ульрих Э.В., Суздalov В.А., и др. Инструментарий VEPTR в хирургии инфантильных и ювенильных сколиозов: первый отечественный опыт // Хирургия позвоночника. – 2010. – № 3. – С. 31–41. [Mikhailovsky MV, Ulrikh EV, Suzdalov VA, et al. VEPTR instrumentation in the surgery for infantile and juvenile scoliosis: first experience in Russia. *Spine Surgery*. 2010;(3):31-41. (In Russ.)]. doi: 10.14531/ss2010.3.31-41.
  23. Рябых С.О. Хирургическое лечение деформаций позвоночника высокого риска: автореф. дис. ... д-ра мед. наук. – Курган, 2014. [Ryabykh SO. Surgical treatment of high-risk spine deformities. [dissertation] Kurgan; 2014. (In Russ.)].
  24. Emans JB, Caubet JF, Ordonez CL, et al. 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):S58-68; 86 (Suppl. 1):51-64. doi: 10.1097/01.brs.0000175194.31986.2f.
  25. Gadepalli SK, Hirschl RB, Tsai WC, et al. 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.
  26. Johnston C, McClung A, Salah F. Computed Tomography Lung Volume Changes After Surgical Treatment for Early-Onset Scoliosis. *Spine Deformity*. 2014.2(6):460-466. doi: 10.1016/j.jspd.2014.04.005.
  27. Motoyama EK, Yang CI, Deeney VF. Thoracic malformation with early onset scoliosis: Effect of serial VEPTR expansion thoracoplasty on lung growth. *Paediatr Respir Rev*. 2009;10:12-7. doi: 10.1016/j.prrv.2008.10.004.
  28. 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.
  29. Redding G, Song K, Inscore S, et al. Lung function asymmetry in children with congenital and infantile scoliosis. *Spine J*. 2008;8(4):639-644. doi: 10.1016/j.spinee.2007.04.020.
  30. Garg S, LaGreca J, St. Hilaire T. Wound complications of vertical expandable prosthetic titanium rib incisions. *Spine*. 2014;39:E777-81. doi: 10.1097/brs.0000000000000343.
  31. Sankar WN, Acevedo DC, Skaggs DL. Comparison of complications among growing spinal implants. *Spine*. 2010;35:2091-6. doi: 10.1097/brs.0b013e3181c6edd7.
  32. Sankar WN, Skaggs DL, Yazici M, et al. Lengthening of dual growing rods and the law of diminishing returns. *Spine*. 2011;36:806-9. doi: 10.1097/brs.0b013e318214d78f.

#### Сведения об авторах

**Сергей Валентинович Виссарионов** — д-р мед. наук, проф., заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: turner01@mail.ru.

**Никита Олегович Хусаинов** — научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России. E-mail: nikita\_husainov@mail.ru.

**Дмитрий Николаевич Кокушин** — научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии ФГБУ «НИДОИ им. Г.И. Турнера» Минздрава России.

**Sergey V. Vissarionov** — MD, PhD, professor, Deputy Director for Research and Academic Affairs, head of the department of spinal pathology and neurosurgery of the Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: turner01@mail.ru.

**Nikita O. Husainov** — MD, research associate of the department of spinal pathology and neurosurgery. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics. E-mail: nikita\_husainov@mail.ru.

**Dmitriy N. Kokushin** — MD, research associate of the department of spinal pathology and neurosurgery. The Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics.