



АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ 3D-ПРОТОТИПИРОВАНИЯ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОЙ КОРРЕКЦИИ ВРОЖДЕННЫХ КИФОСКОЛИОЗОВ

А.А. Снетков, Д.С. Горбатюк, А.А. Пантелеев, Н.А. Еськин, С.В. Колесов

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

Цель исследования. Анализ преимуществ аддитивных технологий и 3D-моделирования при хирургии тяжелых врожденных деформаций позвоночника, вызванных смешанными и неклассифицируемыми аномалиями развития, включая оценку качества проведения транспедикулярных винтов.

Материал и методы. Проведено лечение 20 пациентов со сложной анатомией позвоночника, вызванной врожденными аномалиями развития позвонков. У 9 пациентов имелись сложные неклассифицируемые аномалии развития позвоночника, у 11 — смешанные аномалии, у 3 из них — аплазия структур позвоночного столба. С целью оценки результатов пациентов разделили на две группы по 10 человек. В группе I проводили стандартную предоперационную подготовку по данным рентгенограмм, КТ и МРТ. В группе II предоперационная подготовка сопровождалась использованием предварительно изготовленной 3D-модели позвоночника пациента. За основу взяты данные КТ позвоночника, которые преобразовывали в stl-модель. Печать модели осуществляли с применением 3D-принтера. Провели анкетирование врачей, специализирующихся в патологии позвоночника, для оценки эффективности применения 3D-моделирования в предоперационном планировании.

Результаты. При анкетировании хирургов отмечены случаи изменения тактики хирургического лечения после 2-го этапа опроса, основанные на применении стандартных методов лучевой диагностики и 3D-модели всего позвоночника пациента с прототипированием грудного, поясничного, крестцового отделов позвоночника. В 25,3 % случаев тактика была изменена. Значительное улучшение результатов хирургического лечения отмечено в группе II, где применяли 3D-моделирование, — 94,9 % винтов без мальпозиции, в группе I — 78,1 % винтов без мальпозиции.

Заключение. 3D-моделирование позволяет повысить точность установки транспедикулярных винтов и снизить риск их мальпозиции, что благоприятно влияет на биомеханические свойства конструкции и снижает риск повреждения невральных структур. Использование 3D-моделирования позволяет статистически достоверно снизить время, затрачиваемое на установку одного винта, и количество рентгеновских снимков, требуемых при этом. Снижение количества снимков позволяет уменьшить лучевую нагрузку не только на пациента, но и на персонал отделения.

Ключевые слова: врожденные аномалии, 3D-моделирование, транспедикулярная фиксация, сколиоз.

Для цитирования: Снетков А.А., Горбатюк Д.С., Пантелеев А.А., Еськин Н.А., Колесов С.В. Анализ применения 3D-прототипирования при хирургической коррекции врожденных кифосколиозов // Хирургия позвоночника. 2020. Т. 17. №1. С. 42–53.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2020.1.42-53>.

ANALYSIS OF THE 3D PROTOTYPING IN THE SURGICAL CORRECTION OF CONGENITAL KYPHOSCOLIOSIS

A.A. Snetkov, D.S. Gorbatyuk, A.A. Panteleyev, N.A. Eskin, S.V. Kolesov

N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics, Moscow, Russia

Objective. To analyze the advantages of additive technologies and 3D modeling in surgery for severe congenital spinal deformities caused by mixed and non-classified developmental anomalies, including assessing the quality of transpedicular screws.

Material and Methods. A total of 20 patients with complex spinal anatomy caused by congenital vertebral anomalies were treated. Nine patients had complex unclassifiable anomalies of the spine, 11 had mixed anomalies, 3 of them had aplasia of the structures of the spinal column. In order to assess the results, patients were divided into two groups of 10 people. In Group I, standard preoperative preparation was performed according to X-ray, CT and MRI data. In Group II, preoperative preparation was accompanied by the use of a prefabricated 3D model of the patient's spine. CT data were used to create STL-models which were printed using 3D printer. To analyze the effectiveness of 3D prototyping in preoperative planning, a survey among surgeons specializing in pathology of the spine was conducted.

Results. Survey results demonstrated that there were cases of changes in surgical treatment tactics after the 2nd stage of the survey, based on the results of applying standard methods of radiation diagnostics and 3D model of the entire spine with prototyping of the thoracic, lumbar, and sacral spine. In 25.3 % of cases, tactics were changed. Significant improvement in surgical treatment results were observed in Group II with preoperative 3D modeling (94.9 % without screw malposition), compared to Group I in which surgical correction was performed using standard methods of imaging (78.1 % without screw malposition).

Conclusion. 3D modeling allows increasing the accuracy of the placement of transpedicular screws and reducing the risk of malposition, which favorably affects the biomechanical properties of the instrumentation and reduces the risk of damage to neural structures. The use of 3D modeling can statistically significantly reduce the time taken to install one screw, and the number of x-rays required. Reducing the number of images allows you to reduce radiation exposure not only to the patient, but also to the staff of the department.

Key Words: congenital anomalies, 3D modeling, transpedicular fixation, scoliosis.

Please cite this paper as: Snetkov AA, Gorbatyuk DS, Panteleyev AA, Eskin NA, Kolesov SV. Analysis of the 3D prototyping in the surgical correction of congenital kyphoscoliosis *Hir. Pozvonoc.* 2020;17(1):42–53. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2020.1.42-53>.

Выбор тактики хирургического лечения врожденных деформаций позвоночника на фоне смешанных и неклассифицируемых аномалий развития ставит перед хирургом ряд задач, для решения которых необходимо тщательное предоперационное планирование с применением современных лучевых и нелучевых методов диагностики. Разработанная в настоящее время техника одноэтапных оперативных вмешательств применима не всегда. В частности, при наличии множественных деформаций, требующих коррекции, и значительному числу пациентов с врожденными деформациями требуется многоэтапное хирургическое лечение, что в дальнейшем только усложняет задачу хирурга. Крайне важной является точная визуализация позвоночника пациента, которая позволяет детально оценить тип аномалии развития, точно выбрать зоны фиксации позвонков, оценить возможность инструментации позвоночника, снизить риск мальпозиции имплантатов и эффективнее подобрать тактику дальнейших оперативных вмешательств у данной группы пациентов.

Актуальность работы определяется несколькими причинами:

– наличием группы пациентов с тяжелыми врожденными деформациями

позвоночника, нуждающихся в оперативном лечении;

– анатомо-хирургическими сложностями в выполнении операций у подобных пациентов, требующих новых возможностей визуализации деформаций по итогам предоперационного обследования;

– необходимостью совершенствования существующих методик и научно-клинического поиска новых методик, материалов и подходов лечения данных пациентов, примером которых является вмешательство с использованием 3D-моделирования;

– совершенствованием самих технологий 3D-моделирования, в частности повышением точности изготовления изделий и снижением стоимости, что облегчает их внедрение в клиническую практику.

Цель исследования – анализ преимуществ аддитивных технологий и 3D-моделирования при хирургии тяжелых врожденных деформаций позвоночника, вызванных смешанными и неклассифицируемыми аномалиями развития, включая оценку качества проведения транспедикулярных винтов.

В качестве дополнительной задачи сравнили время, затрачиваемое на проведение одного винта в группах I и II, а также количество рентгеновских интраоперационных снимков.

Научная новизна работы определяется изложением опыта лечения пациентов с вышеописанными деформациями в условиях отделения патологии позвоночника Национального медицинского исследовательского центра травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова (Москва).

Материал и методы

Критерии отбора пациентов: возраст от 4 до 19 лет, первичное хирургическое вмешательство, ангулярная кифосколиотическая деформация на фоне смешанных или неклассифицируемых аномалий развития позвонков, нарушение фронтального или сагиттального баланса позвоночника.

Проведено лечение 20 пациентов со сложной анатомией позвоночника, вызванной врожденными аномалиями развития позвонков. У 9 пациентов имелись сложные неклассифицируемые аномалии развития позвоночника, у 11 – смешанные аномалии, у 3 из них – аплазия структур позвоночного столба.

С целью оценки результатов всех пациентов разделили на 2 группы по 10 человек (табл. 1). В группе I проводили стандартную предоперационную подготовку по данным рентгенограмм, КТ и МРТ-исследования. В группе II предоперационная под-

Таблица 1

Распределение пациентов исследуемых групп по возрасту, n

Группа	Возраст, лет															
	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19
I	1	–	1	2	1	1	1	–	1	1	–	–	–	1	–	–
II	–	1	–	2	2	–	2	1	–	–	1	–	–	–	–	1

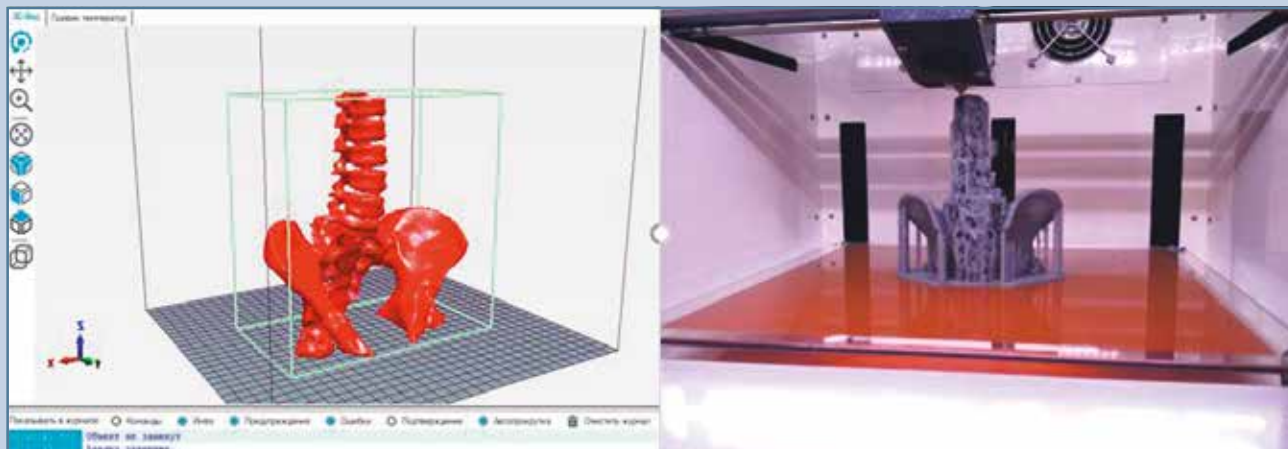


Рис. 1

Изготовление пластиковой модели позвоночника на 3D-принтере

готовка сопровождалась использованием предварительно изготовленной 3D-модели позвоночника пациента.

При моделировании использовали печать в натуральную величину, а в 3 случаях – дополнительную печать с увеличением зоны наиболее сложной анатомии позвоночника (рис. 1).

За основу взяты данные КТ-исследования позвоночника, которые преобразовывали в stl-модель. Печать модели осуществляли с применением FDM 3D-принтера. Высота слоя 0,2 мм. Длительность печати – от 27 до 42 ч. В среднем цикл производства занимал 2–4 дня. Построение модели осуществляли с захватом грудного, поясничного, крестцового отделов позвоночника и таза пациента для наиболее полной визуализации всех зон, вовлеченных в формирование деформации, и визуализации анатомии костных структур аномалий развития позвоночника (рис. 2).

Для оценки эффективности применения 3D-моделирования в качестве предоперационного планирования отобрали 10 клинических примеров с врожденными аномалиями позвоночника, включающих 6 пациентов с врожденным кифозом и 4 – с врожденным сколиозом. Сформировали анкету, включающую в себя следующие критерии: уровень остеотомии,

протяженность, уровни фиксации позвоночника, оценку возможности установки имплантата, вид аномалии развития позвоночника, оценку кривизны и типа деформации.

Для анализа эффективности применения 3D-прототипирования в предоперационном планировании провели анкетирование с участием 7 травматологов-ортопедов, специализирующихся в патологии позвоночника: 2 специалиста с докторской медицинской степенью (стаж в хирургии позвоночника свыше 28 лет), 5 специалистов с кандидатской медицинской степенью (стаж в хирургии позвоночника от 11 до 14 лет).

Анкетирование проводили в два этапа: 1-й – оценка хирургом стандартных методов лучевой диагностики (Rg, Кт, МРТ), 2-й – оценка стандартных методов лучевой диагностики, дополненных предварительно построенной 3D-моделью позвоночника (рис. 3).

Сравнивали следующие параметры: 1) уровень и тип остеотомии позвоночника;

2) протяженность фиксации;

3) возможность проведения имплантации в зоне запланированного хирургического лечения, отсутствие возможности проведения имплантатов на уровнях;

4) вид аномалии развития позвоночника.

Для оценки эффективности металлофиксации и мальпозиции транспедикулярных винтов результат хирургического лечения исследуемых пациентов проанализировали в сравнении с группой пациентов, которым не проводилось предоперационное 3D-моделирование. Сформировали две группы пациентов, которым выполнено послеоперационное



Рис. 2

Внешний вид изготовленной модели позвоночника



Рис. 3

Этап предоперационного планирования с использованием методов лучевой диагностики и 3D-модели

КТ-исследование с последующей оценкой мальпозиции транспедикулярных винтов. Чтобы минимизировать влияние фактора возраста и, следовательно, анатомических размеров дужек на точность установки транспедикулярных винтов, провели рандомизацию модифицированным методом последовательных номеров: пациенты были расположены в ряд по увеличению возраста (в годах), каждому в данном ряду присвоен порядковый номер. Пациенты с нечетными номерами составили группу I (сравнения), с четными – II.

Группа I включала в себя 10 пациентов с врожденными деформациями позвоночника (смешанными, неклассифицируемыми аномалиями развития грудного и поясничного отделов позвоночника) в возрасте от 4 до 17 лет. Проведение транспедикулярных имплантатов осуществляли по данным рентгенограмм, КТ, МРТ-исследований. Общее количество транспедикулярных винтов – 169. Группа II – 10 пациентов с врожденными деформациями позвоночника (смешанными, неклассифицируемыми аномалиями развития грудного и поясничного отделов позвоночника) в возрасте от 5 до 19 лет. Проведение транспедикулярных имплантатов осуществляли по данным рентгенограмм, КТ, МРТ-исследований и построению

3D-модели. Общее количество транспедикулярных винтов – 175.

Всем пациентам введение транспедикулярных винтов осуществляли методом freehand. В послеоперационном периоде, вне зависимости от жалоб, выполняли МСКТ-контроль положения винтов.

При анализе результатов оперативных вмешательств в группах I и II оценивали следующие аспекты: частоту корректной установки винтов (абсолютное число и процентная доля от общего числа), абсолютное число и процент винтов, установленных со смещением траектории. Внутри данной совокупности, в свою очередь, исследовали распределение неверно установленных винтов (B – мальпозиция до 2 мм, C – 2–4 мм, D – более 4 мм, группе A соответствуют корректно установленные винты без мальпозиции) как в абсолютных числах, так и в процентной доле относительно общего числа пациентов [1].

Статистический анализ точности установки произведен при помощи χ^2 -критерия Пирсона. Итоговая обработка и анализ данных велись в программе SPSS Statistics 22. Для каждого винта устанавливалось мальпозиционное (тангенциальное) смещение относительно правильного установочного положения, измеряемое в миллиме-

трах. В условиях поставленной задачи оказалось целесообразным использование программ – средств просмотра электронных данных МСКТ, штатной функцией которых являлось измерение расстояния между двумя точками с точностью до 0,1 мм. Каждому винту соответствовало значение смещения, измеренное с указанной точностью. У корректно установленных винтов смещение предполагалось равным 0 мм. С целью исключения ошибки одни и те же изображения подвергали перекрестному просмотру в трех различных программах; несовпадение одного из результатов измерений с другими двумя, полученных для одного и того же винта, рассматривали как программную ошибку, при этом для винта принималось значение двух совпадающих результатов измерения. Критическое значение $p = 0,05$. В качестве нулевой гипотезы принимали утверждение, что степень смещения винтов не отличается в двух выборках. Проводили два сравнения: общих выборок винтов между собой и только некорректно установленных винтов.

Время, затраченное на установку одного винта для пациентов каждой из двух групп, а также количество требуемых снимков на ЭОП-контроле также сравнивали с использовани-

ем t-критерия Стьюдента и критерия Манна – Уитни. В качестве нулевых гипотез были выбраны утверждения об отсутствии различий между выборками винтов по указанным признакам.

Сравнение многих ключевых параметров остеотомий (величины достигнутой коррекции, уровня выполненной остеотомии) не вполне актуально из-за малой численности групп сравнения и различий в возрасте пациентов. При этом сравнения в определенных возрастных группах (например, до 7 лет, 7–14 лет и т.д.) было бы крайне затруднительным по причине малого размера подобных групп, однако данный аспект может стать лейтмотивом для дальнейших исследований, в том числе мультицентровых.

Протяженность металлофиксации сравнивали при помощи U-критерия Манна – Уитни, при этом в качестве единиц измерения взяли число уровней фиксации от верхнего до нижнего полюса металлоконструкции включительно.

Результаты

В результатах анкетирования отметили случаи изменения тактики хирургического лечения после проведения 2-го этапа опроса, основываясь на стандартных методах лучевой диагностики и применении 3D-модели всего позвоночника пациента с прототипированием грудного, поясничного, крестцового отделов (табл. 2).

С целью коррекции фронтального и сагиттального балансов проводили коррекцию деформации за счет сегментов, сохранивших естественную мобильность. В зоне ангулярной деформации в связи с нарушением сегментации позвонков коррекцию выполняли с помощью техники остеотомии позвоночника по методике SPO – в 9 случаях, PSO – в 8, VCR – в 3. Уровень и объем планируемой остеотомии по результатам опроса изменен в среднем в 2,7 случаях (от 0 до 4). Протяженность и уровни фиксации позвоночника в среднем – в двух случаях (от 0 до 4), прямая визуализация всего позвоночника пациента

позволяет более полно оценить костные структуры и анатомию пациента в целом и способна повлиять на выбор оптимальных точек введения имплантата при планировании металлофиксации. При 2-м этапе анкетирования оценка возможности установки имплантата пересмотрена в среднем в 5 случаях (от 2 до 7), оценка и вид аномалии развития позвоночника, участвующей в деформации, – в 0,4 случаях (от 0 до 1). По результатам анкетирования можно сделать вывод, что наибольшее значение 3D-моделирование имеет при выборе области металлофиксации и определении объемов остеотомии позвоночника, необходимых для более успешного исхода хирургического лечения.

По общему количеству изменений тактики хирургического лечения по критериям 2-го этапа анкетирования в 25,3 % случаев тактика была изменена. Указанные изменения были связаны с техническими моментами оперативного вмешательства и его планирования:

- отказом от проведения винтов через корни дуг одного или двух позвонков, соседних с наиболее измененным, исходя из изменений их параметров, в том числе размера, формы корней дуг, а также их анатомо-топографических взаимоотношений с позвоночным каналом;
- принятием решения о проведении дополнительных винтов, кор-

рекцией уровней установки винтов с целью сохранения функционально-биомеханических свойств металлоконструкции;

– иными изменениями конфигурации металлоконструкции, включая усиление межстержневыми стяжками; присоединением через коннекторы дополнительных стержней в наиболее нагружаемом поясничном сегменте металлоконструкции; при недифференцированных аномалиях развития – укладкой стержней в обход значительных костных масс и выступов, требующих чрезмерного изгиба и связанной с ним избыточной тангенциальной нагрузки на стержни; данные изменения предлагались в ответ на первичное заключение о возможности или невозможности проведения винтов в наиболее измененной зоне (апикальный уровень ± 2 уровня вверх и вниз); следует отметить, что решение об установке дополнительных элементов (стяжек и иных) зачастую принимается непосредственно в ходе оперативного вмешательства; однако при использовании 3D-модели оказалось возможным продумать их использование уже на предоперационном этапе, включая не только локализацию и предполагаемое количество дополнительных элементов, но и объем формирования костных лож для их установки в тех местах, где это анатомически возможно; итоговое решение о подобном изменении

Таблица 2

Оценка изменения тактики хирургического лечения по результатам 2-го этапа анкетирования хирургов

Оцениваемые параметры	Хирурги						
	1-й	2-й	3-й	4-й	5-й	6-й	7-й
Объем и уровень планируемой остеотомии	2	3	1	4	3	4	3
Протяженность и уровни фиксации позвоночника	1	4	2	0	2	3	2
Оценка возможности установки имплантата	5	7	2	4	6	5	6
Вид аномалии развития позвоночника	1	0	0	0	1	1	0
Всего	9	14	5	8	12	13	11

(дополнении) конфигурации металлоконструкции было принято у 8 (80 %) пациентов в опытной группе и у 1 (10 %) – в контрольной, так как данные КТ, даже с применением трехмерной реконструкции, не позволяли эффективно спланировать этот технический момент;

– у 2 (20 %) пациентов был пересмотрен уровень остеотомии; объем и конфигурация костной ткани анатомически измененных задних элементов позвонков не позволяли провести ее на данном уровне без существенного увеличения продолжительности оперативного вмешательства и потери крови, поэтому было принято решение выполнить остеотомию на уровень ниже у каждого из двух пациентов.

Дальнейшее вмешательство проводили согласно окончательному мнению оперирующего хирурга.

Несмотря на то что 3D-прототипирование является в большей степени прикладным техническим, чем клиническим методом, предназначенным для планирования оперативного вмешательства и визуального ассистирования при его проведении, о результатах его применения можно говорить с оптимизмом. В группе I проведена имплантация 169 транспедикулярных винтов. По данным КТ-исследования получены следующие результаты: 132 (78,1 %) имплантата установлены корректно, 37 (21,9 %) – со смещением траектории, из них тип В – 16 (9,4 %) случаев, тип С – 17 (10,0 %), тип D – 4 (2,3 %).

В группе II проведена имплантация 175 транспедикулярных винтов. По данным КТ-исследования получены следующие результаты: 166 (94,9 %) имплантатов установлены корректно, 9 (5,1 %) – со смещением траектории, из них тип В – 3 (1,7 %) случая, тип С – 4 (2,3 %), тип D – 2 (1,1 %).

Время, затраченное на установку одного винта, имело статистические различия в двух группах. Из-за многочисленности установленных винтов (всего 344) и предположения о нормальном распределении был использован t-критерий Стьюдента. В груп-

пе I среднее время установки винта составило $135,00 \pm 10,41$ с, в группе II – $117,00 \pm 8,27$ с, при этом различия были статистически значимы ($p < 0,05$). При сравнении только неправильно установленных винтов анализ в пределах подгрупп (тип В, тип С и тип D) был статистически невозможен из-за малого количества подобных винтов в экспериментальной группе. В целом время, затраченное на один неверно установленный винт, составляло в группе I – $132,00 \pm 13,15$ с, в группе II – $120,00 \pm 9,47$ с, различия также были статистически значимы ($p < 0,05$; U-критерий Манна – Уитни). При этом статистических различий между подгруппами верно и неверно установленных винтов в пределах одной и той же группы (I или II) выявлено не было ($p < 0,05$).

Количество снимков при ЭОП-контроле в группе I составило $2,9 \pm 0,8$ на винт, в группе II – $2,1 \pm 0,5$ на винт (t-критерий Стьюдента). Различия статистически значимы ($p < 0,05$).

Согласно литературным данным, медиальная мальпозиция до 4 мм не приводит к неврологическим повреждениям, так как соответствует так называемой зоне безопасности (safe zone). Это правило наиболее применимо для грудного отдела, где 2 мм приходится на эпидуральное пространство, 2 мм – на субарахноидальное, поэтому не возникает непосредственной компрессии спинного мозга.

Проведенное исследование показало значительное улучшение результатов в группе с применением 3D-моделирования (94,9 % винтов без мальпозиции) в сравнении с группой, в которой хирургическая коррекция проводилась только с применением стандартных методов лучевой диагностики – 78,1 % винтов без мальпозиции (рис. 4). Общее количество имплантатов с нарушением траектории проведения в группе I составило 37, из них 24 проведены в грудном отделе позвоночника, 13 – в поясничном; в группе II 9 винтов установлены в положении мальпозиции, из них

6 – в грудном отделе позвоночника, 3 – в поясничном.

Протяженность металлофиксации у пациентов двух групп, проанализированная при помощи U-критерия Манна – Уитни, статистически значимых различий не имела ($p > 0,05$), что связано с общепринятой тактикой устанавливать винты минимум на 3 уровня выше и ниже металлоконструкции. При принятии решения об изменении протяженности фиксации у данных пациентов конструкция удлинялась не более чем на 1 уровень дистально.

Установку транспедикулярного имплантата во всех случаях проводили по методике freehand. Помимо анализа мальпозиции имплантата, оценили время проведения имплантата, частоту повторной установки пробойника корня дуги, количество повторных снимков с применением ЭОП. Получены следующие результаты: среднее время проведения имплантата от начала формирования канала в корне дуги до окончательной фиксации в теле позвонка в группе I – 3 мин 11 с (± 49 с), в группе II – 2 мин 22 с (± 41 с). Различия по критерию Манна – Уитни достоверны



Рис. 4

Диаграмма вероятности мальпозиции винтов (типы В, С, D) по отношению к общему количеству имплантатов

($p = 0,045$), по t-критерию Стьюдента высоко достоверны ($p < 0,001$). Среднее количество установок пробойника при формировании канала в группе I – 1,8 (от 1 до 7), в группе II – 1,3 попытки (от 1 до 4). Это позволяло реже использовать ЭОП-контроль в группе I – $1,4 \pm 0,2$ (среднее и стандартное отклонение выборки соответственно) снимка на постановку одного имплантата, в группе II – $0,9 \pm 0,15$ снимков (различия не достоверны по критерию Манна – Уитни при $p = 0,8$, достоверны по t-критерию Стьюдента при $p = 0,004$).

В ходе анализа степени мальпозиции винтов выявлены статистически достоверные различия между двумя общими выборками винтов (группы I и II соответственно), измеренные по t-критерию Стьюдента ($p = 0,037$). Различия по непараметрическому U-критерию Манна – Уитни не носят такой же степени достоверности ($p = 0,071$), что может быть объяснено ограниченностью применения непараметрических методов на крупных (более 100 элементов) выборках; данный фактор следует принимать в расчет и при работе с другими указанными параметрами (числом снимков ЭОП и временем, затрачиваемым на установку одного винта).

При сравнении выборки только некорректно установленных винтов (типы смещения B, C, D) различия по обоим критериям оказались достоверными: для критерия Манна – Уитни $p = 0,031$, для t-критерия Стьюдента $p = 0,022$.

По полученным данным стоит отметить, что в группе с применением 3D-модели значительно снижено время, затраченное на проведение винта. В группе II гораздо меньше травматизация костных структур при формировании канала пробойником при сложной анатомии, что снижает риск повреждения содержимого позвоночного канала и развития осложнений, а также позволяет уменьшить интраоперационный ЭОП-контроль, снижая при этом лучевую нагрузку на пациента и оперирующего хирурга.

Клинический пример. Пациент 5 лет, с врожденным кифосколиозом поясничного отдела позвоночника, смешанной аномалией грудного и поясничного отделов позвоночника, аплазией задних элементов поясничного отдела позвоночника (рис. 5).

Из анамнеза известно, что при рождении выявлены спинно-мозговая грыжа и аномалия развития поясничного отдела позвоночника, костная форма диастематомелии, аплазия дужек поясничного (L_1-L_5) и нижегрудного отдела (Th_9-Th_{12}) позвоночника, проведено хирургическое лечение по иссечению спинно-мозговой грыжи с участием нейрохирурга. Из-за незаживающего кожного дефекта в зоне операции провели его пластику с закрытием кожным лоскутом.

В возрасте от 4 до 5 лет отмечено резкое прогрессирование кифотической деформации в поясничном отделе позвоночника из-за аплазии задних элементов позвонков. При детальном изучении КТ выявлены комбинация врожденных полупозвонков и нарушения сегментации в грудном отделе позвоночника, аплазия дужек позвонков в поясничном и крестцовом отделах позвоночника, а также неоднородные рубцово-спаечные изменения в зоне сформированного кожного лоскута. При клиническом осмотре в неврологическом статусе нижний вялый парализ, нарушение функ-

ции тазовых органов по типу недержания, тип B по классификации Frankel. Проведено УЗИ мягких тканей в зоне над содержимым позвоночного канала и над зоной корней дуг поясничного отдела позвоночника (данные УЗИ сопоставлены с данными МРТ-исследования поясничного отдела позвоночника) для оценки возможности проведения доступа к позвоночнику в ходе оперативного вмешательства. Высота кожного покрова на вершине деформации составила 1,5 мм, с неоднородными изменениями в структуре дуральной оболочки. Слева, на вершине деформации, высота кожных покровов и мягких тканей над корнями дуги составила от 3 мм, справа – от 4 мм (рис. 6).

В связи со сложностью анатомических структур в предоперационном планировании и трудностями в проведении дорсального доступа по срединному разрезу по данным УЗИ принято решение о проведении 3D-моделирования позвоночника пациента. По данным КТ проведено построение модели позвоночника, изготовленной из материала PLA (рис. 7).

У данного пациента технология 3D-прототипирования позволила преодолеть ряд технических затруднений. Оказались возможны рациональный подбор типоразмеров винтов и точное определение



Рис. 5

Внешний вид и рентгенограммы позвоночника пациента 5 лет до оперативного вмешательства

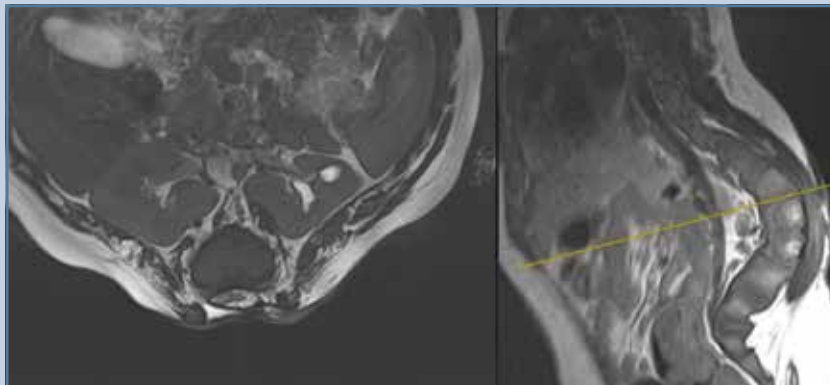


Рис. 6

МРТ поясничного отдела позвоночника пациента 5 лет

углов их установки, что имеет особое значение в связи с возрастом пациента и соответствующими размерами анатомических структур. За счет описанного предоперационного планирования 100 % винтов (12 из 12) оказались установлены без мальпозиции с первой попытки. Во время оперативного вмешательства модель находилась в зоне видимости оперирующего хирурга и ассистента, ориентированная параллельно анатомическим структурам пациента, что дополнительно облегчало установку винтов. До операции были обсуждены (с использованием модели) несколько разновидностей (конфи-

гураций) металлоконструкции, среди которых выбрана оптимальная.

В связи с высоким риском незаживления раны и развития трофических расстройств доступ выполнен из двух разрезов на 1 см латеральнее линии проекции корневой дуг слева и справа. По данным КТ и интраоперационной 3D-модели проведена установка транспедикулярных винтов на уровнях Th₁₁–L₅. Выполнена клиновидная остеотомия позвоночника по методу PSO на уровне L₂ позвонка с формированием дорсального костного блока ауто- и аллокостью. Общая кровопотеря составила 250 мл. Время оперативного вмешательства – 4 ч 35 мин.

Проведена имплантация 12-винтовой металлоконструкции. По данным КТ, мальпозиция положения имплантатов не выявлена (рис. 8).

Пациент вертикализирован на 3-и сут после удаления дренажной системы. На 7-е сут выявлена перфорация кожи элементом металлоконструкции на фоне нарушения трофики кожных покровов в зоне швов. Наложили вторичные швы с мобилизацией подкожной клетчатки кожного лоскута и иссечением зоны некроза. На 12-е сут швы удалены. На контрольных рентгенограммах положение металлоконструкции стабильное.

В данном клиническом примере стоит отметить важность предоперационного планирования хирургического лечения пациента, у которого имеется сложная и тяжелая врожденная кифотическая деформация с высоким потенциалом патологического роста в сочетании с недифференцированной рубцовой тканью на вершине деформации над содержимым позвоночного канала, что затрудняет не только выбор оптимального типа хирургического лечения, но также ограничивает возможности хирурга в связи с трудностями проведения доступа к позвоночнику. 3D-моделирование позволило сформировать понимание хирургической тактики в сочетании объемов фикса-



Рис. 7

Построение пластиковой (PLA) модели по данным КТ-исследования



Рис. 8

Внешний вид и рентгенограммы позвоночника пациента 5 лет после оперативного вмешательства

ции, уровня необходимой остеотомии, локализации доступа к позвоночнику.

Обсуждение

В современной литературе достаточно широко описаны методы хирургического лечения изолированных аномалий, однако мало публикаций о методах хирургической тактики у пациентов с множественными аномалиями развития, включающими в себя сочетание различных типов аномалий, в том числе не поддающихся классификации.

Основные задачи хирурга – формирование удовлетворительного фронтального и сагиттального баланса позвоночника, предотвращение развития неврологической симптоматики, ограничение патологического роста, вызывающего дальнейшую деформацию позвоночника. Несмотря на все риски, современные хирурги должны проводить оперативное лечение в ранние сроки, чтобы не допустить вторичных изменений, которые в дальнейшем могут существенно сказаться на качестве жизни пациента.

Для наиболее полной картины общего состояния пациентам с аномалиями развития позвоночника проводят комплексное обследование с применением современных методов лучевой диагностики (постуральной рентгенографии в вертикальном

положении, МСКТ, МРТ всех отделов позвоночника, участвующих в формировании деформации). Однако даже при детальном изучении снимков часто не удается получить полной картины для выбора оптимальной комбинации хирургических техник. Аддитивные 3D-технологии позволяют расширить возможности хирурга в планировании операций у данной группы пациентов.

Сообщения по тематике достаточно разрозненны. Поиск, проведенный в ноябре 2018 г. по базе данных PubMed (ключевые слова: 3D printing, kyphosis, scoliosis), выявил лишь два обзора, позволяющих оценить состояние проблемы [2, 3]. В литературе имеется значительное количество статей формата «клинический случай» (clinical case), однако акцент делается на характеристиках самой деформации и количестве установленных винтов, а также описывается общий опыт применения технологии тем или иным автором для лечения отдельно взятой деформации или нарушения развития позвоночника [4, 5]. В указанных работах зачастую приводятся только степени мальпозиции (например, В – смещение до 2 мм, С – от 2 до 4 мм, D – более 4 мм) [6] или только количество верно либо неверно установленных винтов [7, 8]. Серии клинических случаев включают в себя весьма ограниченное количество

пациентов [9, 10]. Не умаляя достоинств имеющихся работ, а именно оценки коррекции деформации с доскональным изучением геометрии позвоночного столба и детального описания клинических исходов и структуры возникающих осложнений, следует отметить, что количественные данные о тангенциальном смещении винтов, за редким исключением [11], не являются детальными, равно как и информация о времени, затраченном на установку каждого винта (как правило, приводится только общее время оперативного вмешательства).

По многочисленным литературным данным, величина мальпозиций винтов в грудном и поясничном отделах при коррекции деформаций позвоночника составляет от 1 до 58 % в случаях использования методики freehand.

По сообщению Kuklo et al. [12], при коррекции сколиотических деформаций более 90° 96,3 % винтов, установленных методом freehand [13, 14], имели корректное положение. По другим данным, количество мальпозиций в грудном отделе достигает 31,6 %, в поясничном – 10,6 %. До 48,0 % мальпозиций в грудном отделе приходится на уровень Th₁–Th₆, что обусловлено меньшим диаметром ножек позвонков [15]. Около 56 % некорректно установленных винтов располагается на вогнутой стороне деформации, что можно объяснить структурной дисплазией дужек и апикальной торсией. При этом у 81–86 % винтов мальпозиция не достигает 2 мм, у 68 % – не превышает 4 мм. Следует отметить, что предметом данных исследований являются идиопатические и диспластические сколиотические деформации, но врожденные деформации позвоночного столба, непосредственно связанные с аномалиями развития, остаются мало исследованными.

Ведется поиск методов, позволяющих снизить частоту мальпозиций, в том числе путем ухода от техники freehand в ее оригинальном виде или разработке ассистирующих

устройств. Так, в работе Кокушина с соавт. [16] описан метод изготовления направителей для транспедикулярных винтов с использованием 3D-моделирования с достаточно оптимистичными результатами: использование направителя дополнительно к 3D-моделированию позвоночника (аналогичному описываемому в данной работе) повышает частоту правильной установки винтов до 96,3 % (без направителей – 80,8 %; $p = 0,011$). Вместе с тем по экономическим причинам либо доступности тех или иных материалов и технологий выбор «технология freehand и 3D-моделирование только позвоночника» может быть рационален, что обуславливает необходимость его дальнейшего рассмотрения.

Использование детальной визуализации задних структур и точек имплантации в сочетании с методом freehand под ЭМГ-контролем повышает точность установки винтов до 98 % [17, 18]. Достаточно надежным способом формирования корректного транспедикулярного канала является развертка PediGuard (ECD), принцип действия которой основан на импедансометрии, что существенно снижает риск опасных мальпозиций.

Опыт и мастерство хирурга являются наиболее важными переменными для количества мальпозиций в каждом клиническом случае, что требует более информативной визуализации объекта хирургического вмешательства.

Точность введения винтов повышается при использовании в предоперационном планировании МСКТ с 3D-моделированием, что позволяет более точно определить точки введения винтов. По данным литературы, ее использование при грудно-поясничных деформациях 42–78° повышает точность введения винтов до 94,1 % против 84,5 % без использования МСКТ с 3D, что достоверно указывает на актуальность применения 3D-моделирования и прототипирования в современной хирургии, в особенности в случаях со сложными деформациями, вызванными аномалиями развития позвоночника.

В современной вертебрологии в настоящее время широко распространены высокоточные методы как лучевой диагностики, так и методы интраоперационного контроля с целью улучшения качества и точности проводимой инструментации [19, 20].

Как уже отмечалось, для успеха техники freehand существенное значение имеет опыт хирурга и его нарабатываемые мануальные (оперативные) навыки. Вместе с тем 3D-модель значительно упрощает данную задачу, даже для опытного специалиста. Это достигается за счет ряда аспектов.

На этапе предоперационного планирования имеется возможность точного подбора типоразмеров и типов транспедикулярных винтов, а также углов их введения в ножки позвонков. Кроме того, при работе с 3D-моделью можно обсудить использование и расположение иных фиксированных элементов, если предполагается использование гибридных конструкций.

Помимо целостной основной модели, по одним и тем же КТ-данным можно создать несколько дополнительных, с плоскостями среза, проходящих через интересующие вертебролога структуры (например, слившись в костный блок задние элементы позвонков при нарушениях сегментации), что при должном качестве 3D-печати позволит оценить параметры (толщину, расположение, иные анатомо-топографические особенности) кортикального и губчатого слоев в данных структурах. Это свойство может оказаться полезным в следующих случаях:

- при оценке трудоемкости, анатомического объема, технических условий выполнения тех или иных вариантов остеотомии;
- при оценке уровня остеотомии согласно анатомическим условиям ее выполнения (расположение костных масс, магистральных кровеносных сосудов и иных структур, классическая КТ-визуализация которых представляет сложности;
- при необходимости установки транспедикулярных винтов и иных

фиксирующих элементов в грубо измененные анатомические костные структуры (имеющие структуру, отличную от ножки позвонка); также данная технология поможет подобрать верный типоразмер винтов в подобных случаях.

В ходе непосредственно оперативного вмешательства 3D-модель может быть помещена в поле зрения оперирующего хирурга и ассистентов и сориентирована относительно позвоночника пациента, что позволяет более точно ориентироваться в расположении анатомических структур, в первую очередь, измененных (на вершине деформации). Данное свойство приобретает особую ценность в случаях, когда оперативное вмешательство проводится из нестандартных доступов, в том числе малой длины. Именно такая ситуация описана в приведенном клиническом примере, что обусловлено не только особенностями деформации, но и выраженным дефицитом мягких тканей в области оперативного вмешательства, что резко повысило риск незаживления раны при стандартном дорсальном доступе и побудило использовать альтернативный.

В настоящее время набирает силу такое развитие вертебральной хирургии, как использование различных навигационных систем и направителей. Методы проведения имплантата с применением навигационных систем позволяют достаточно точно выбрать точки фиксации позвоночника, однако техническое оснащение стоит дорого и требует точного позиционирования установленных меток. Применение интраоперационного нейрофизиологического мониторинга и систем для контроля состояния канала винта PediGuard может рассматриваться только как дополнение к основным методам навигации при постановке имплантата.

Построение 3D-модели позвоночника позволяет хирургу получить полный визуальный контроль и дать возможность сопоставления формы и анатомии скелетированного позвоночника со структурами модели,

что, в свою очередь, позволяет одновременно выбрать точку фиксации и задать необходимый угол установки имплантата. Данный метод снижает риск травматизации анатомических структур позвоночника лишними движениями при перестановке имплантата, значительно уменьшает лучевую нагрузку на персонал и пациента.

Выводы

1. 3D-моделирование позволяет повысить точность установки транспедикулярных винтов и снизить риск их мальпозиции, что, в свою очередь, благоприятно влияет на биомеханические свойства конструкции и снижает риск повреждения невралных структур.

2. Предоперационное 3D-моделирование способно помочь в техническом планировании тех аспектов вмешательства, для которых данные КТ недостаточны или трудноинтерпретируемы. К подобным аспектам относятся точная

трехмерная конфигурация металлоконструкции, использование дополнительных элементов, определение анатомических возможностей формирования костных лож под установку элементов металлоконструкции.

3. Использование 3D-моделирования позволяет уточнить и доработать методику операции, предполагаемую оперирующими хирургами-вертебрологами с различным стажем работы. В силу малочисленности (2) вошедших в исследование вертебрологов со стажем работы более 25 лет вопрос о взаимосвязи стажа работы и частоты изменения плана операции при описанном планировании является перспективным для будущих мультицентровых исследований, позволяющих набрать достаточно большие группы сравнения.

4. Дополнительным преимуществом 3D-моделей является возможность их нахождения в поле зрения оперирующего хирурга и ассистента, что позволяет лучше ориентиро-

вать винты непосредственно в ходе операции в сложных топографо-анатомических условиях, характерных для врожденных деформаций позвоночника. Кроме того, 3D-модель одновременно предоставляет всю полную информацию, полученную при КТ, в отличие от изображений в цифровом или печатном виде.

5. Использование 3D-моделирования позволяет статистически достоверно снизить как время, затрачиваемое на установку одного винта, так и количество рентгеновских (ЭОП) снимков, требуемых при этом. Снижение количества снимков позволит уменьшить лучевую нагрузку не только на пациента, но и на персонал отделения.

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

Литература/References

- Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. Spine. 1990;15:11–14. DOI: 10.1097/00007632-199001000-00004.
- Wilcox B, Mobbs RJ, Wu AM, Phan K. Systematic review of 3D printing in spinal surgery: the current state of play. J Spine Surg. 2017;3:433–443. DOI: 10.21037/jss.2017.09.01.
- Cho W, Job AV, Chen J, Hwan BJ. A review of current clinical applications of three-dimensional printing in spine surgery. Asian Spine J. 2018;12:171–177. DOI: 10.4184/asj.2018.12.1.171.
- Chhabra S, Chopra S, Kataria R, Sinha VD. Use of 3D printer model to study vertebral artery anatomy and variations in developmental craniovertebral junction anomalies and as a preoperative tool – an institutional experience. J Spine Surg. 2017;3:572–579. DOI: 10.21037/jss.2017.10.07.
- Hsu MR, Haleem MS, Hsu W. 3D printing applications in minimally invasive spine surgery. Min Invas Surg. 2018;2018:ID 4760769. DOI: 10.1155/2018/4760769.
- Tan LA, Yerneni K, Tuchman A, Li XJ, Cerpa M, Lehman RA Jr, Lenke LG. Utilization of the 3D-printed spine model for freehand pedicle screw placement in complex spinal deformity correction. J Spine Surg. 2018;4:319–327. DOI: 10.21037/jss.2018.05.16.
- Yang M, Zhang N, Shi H, Li H, Liu S, Song Z, Shan L, Wu Q, Hao D. Three-dimensional printed model-assisted screw installation in treating posterior atlantoaxial internal fixation. Sci Rep. 2018;8:11026. DOI: 10.1038/s41598-018-29426-2.
- Fan Y, Du J, Zhang J, Liu S, Xue X, Huang Y, Zhang J, Hao D. Comparison of accuracy of pedicle screw insertion among 4 guided technologies in spine surgery. Med Sci Monit. 2017;23:5960–5968. DOI: 10.12659/msm.905713.
- Karlin L, Weinstock P, Hedequist D, Prabhu SP. The surgical treatment of spinal deformity in children with myelomeningocele: the role of personalized three-dimensional printed models. J Pediatr Orthop B. 2017;26:375–382. DOI: 10.1097/BPB.0000000000000411.
- Wang YT, Yang XJ, Yan B, Zeng TH, Qiu YY, Chen SJ. Clinical application of three-dimensional printing in the personalized treatment of complex spinal disorders. Chin J Traumatol. 2016;19:31–34. DOI: 10.1016/j.cjtee.2015.09.009.
- Park HJ, Wang C, Choi KH, Kim HN. Use of a life-size three-dimensional-printed spine model for pedicle screw instrumentation training. J Orthop Surg Res. 2018;13:86. DOI: 10.1186/s13018-018-0788-z.
- Kuklo TR, Lenke LG, O'Brien MF, Lehman RA Jr, Polly DW Jr, Schroeder TM. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in curves more than 90 degrees. Spine. 2005;30:222–226. DOI: 10.1097/01.brs.0000150482.26918.d8.
- Complications of Pediatric and Adult Spinal Surgery, ed. by Vaccaro AR, Regan JJ, Crawford AH, Benzel EC, Anderson DG. N. Y.: Marcel Dekker, 2004. DOI: 10.1201/b14827.
- O'Brien MF, Lenke LG, Mardjetko S, Lowe TG, Kong Y, Eck K, Smith D. Pedicle morphology in thoracic adolescent idiopathic scoliosis: is pedicle fixation an anatomically viable technique? Spine. 2000;25:2285–2293. DOI: 10.1097/00007632-200009150-00005.
- Rampersaud YR, Pik JH, Salonen D, Faroog S. Clinical accuracy of fluoroscopic computer-assisted pedicle screw fixation: a CT analysis. Spine. 2005;30:E183–E190. DOI: 10.1097/01.brs.0000157490.65706.38.
- Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Овечкина А.В., Познович М.С. Сравнительный анализ положения транспедикулярных винтов у детей с врожденным сколиозом: метод «свободной руки»

- (*in vivo*) и шаблоны-направители (*in vitro*) // Травматология и ортопедия России. 2018. Т. 24. № 4. С. 53–63. [Kokushin DN, Vissarionov SV, Baidurashvili AG, Ovechkina AV, Poznovich MS. Comparative analysis of pedicle screw placement in children with congenital scoliosis: freehand technique (*in vivo*) and guide templates (*in vitro*). *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2018;24(4):53–63. In Russian]. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63.
17. **De Blas G, Barrios C, Regidor I, Montes E, Burgos J, Piz -Vallespir G, Hevia E.** Safe pedicle screw placement in thoracic scoliotic curves using t-EMG: stimulation threshold variability at concavity and convexity in apex segments. *Spine*. 2012;37:E387–E395. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31823b077b.
18. **Samdani AF, Tantorski M, Cahill PJ, Ranade A, Koch S, Clements DH, Betz RR, Asghar J.** Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? *Eur Spine J*. 2011;20:869–874. DOI: 10.1007/s00586-010-1653-x.
19. **Виссаронов С.В., Дроздецкий А.П., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М.** Коррекция идиопатического сколиоза у детей под контролем 3D-КТ-навигации // Хирургия позвоночника. 2012. № 2. С. 30–36. [Vissarionov SV, Drozdetsky AP, Kokushin DN, Belyanchikov SM. Correction of idiopathic scoliosis under 3D-CT navigation in children. *Hir. Pozvonoc*. 2012;(2):30–36. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2012.2.30-36.
20. **Виссаронов С.В.** Технологии коррекции деформаций позвоночника транспедикулярными спинальными системами у детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2013. № 1. С. 21–27. [Vissarionov SV. Approaches to spinal

deformity correction using transpedicular systems in children with idiopathic scoliosis. *Hir. Pozvonoc*. 2013;(1):21–27. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2013.1.21-27.

Адрес для переписки:

Снетков Александр Андреевич
127299, Москва, ул. Приорова, 10,
НМИЦ травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова,
isnetkov@gmail.com

Address correspondence to:

Snetkov Aleksandr Andreevich
N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics,
10 Priorov sr., Moscow, 127299, Russia,
isnetkov@gmail.com

Статья поступила в редакцию 29.01.2019

Рецензирование пройдено 17.01.2020

Подписано в печать 21.01.2020

Received 29.01.2019

Review completed 17.01.2020

Passed for printing 21.01.2020

Александр Андреевич Снетков, канд. мед. наук, врач отделения патологии позвоночника, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0001-5837-9584, isnetkov@gmail.com;
Дмитрий Сергеевич Горбатюк, младший научный сотрудник организационного методического отдела, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0001-8938-2321, naddis@mail.ru;
Андрей Андреевич Пантелеев, врач отделения патологии позвоночника, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0002-1198-1874, apanteleyev@gmail.com;
Николай Александрович Еськин, д-р мед. наук, проф., заместитель директора по научной работе, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0003-4738-7348, cito-uchsovet@mail.ru;
Сергей Васильевич Колесов, д-р мед. наук, заведующий отделением патологии позвоночника, Национальный медицинский исследовательский центр травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова, Россия, 127299, Москва, ул. Приорова, 10, ORCID: 0000-0001-9657-8584, dr-kolesov@yandex.ru.

Aleksandr Andreevich Snetkov, MD, PhD, surgeon in the Spinal Pathology Department, N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow 127299, Russia, ORCID: 0000-0001-5837-9584, isnetkov@gmail.com;

Dmitry Sergeevich Gorbatyuk, junior researcher, Organizational Methodological Department, N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow 127299, Russia, ORCID: 0000-0001-8938-2321, naddis@mail.ru;

Andrey Andreevich Panteleyev, surgeon in the Spinal Pathology Department, N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow 127299, Russia, ORCID: 0000-0002-1198-1874, apanteleyev@gmail.com;

Nikolay Aleksandrovich Eskin, DMSc, Prof., Deputy Director for science, N.N. Priorov National Medical Research Center of Traumatology and Orthopaedics, 10 Priorova str., Moscow 127299, Russia, ORCID: 0000-0003-4738-7348, cito-uchsovet@mail.ru;

Sergey Vasilyevich Kolesov, DMSc, orthopedic traumatologist, Head of the Spinal Pathology Department, N.N. Priorov Central Institute of Traumatology and Orthopedics, 10 Priorova str., Moscow 127299, Russia, ORCID: 0000-0001-9657-8584, dr-kolesov@yandex.ru.