



3D-ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ПРОТОТИПИРОВАНИЕ В ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ВРОЖДЕННЫХ ДЕФОРМАЦИЙ ПОЗВОНОЧНИКА У ДЕТЕЙ: НАШ ПЕРВЫЙ ОПЫТ

**М.А. Герасименко, Д.К. Тесаков, С.В. Макаревич, Д.Д. Тесакова, П.А. Бобрик, К.А. Криворот,
Д.Г. Сацкевич, К.В. Пустовойтов**

Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Минск, Республика Беларусь

На примере клинического случая хирургического лечения шестилетней пациентки с кифосколиотической деформацией позвоночника на почве врожденной аномалии развития L₁ позвонка представлен опыт применения метода 3D-проектирования и прототипирования. На этапе диагностики и предоперационной подготовки использовали созданную модель деформированного отдела позвоночника в варианте муляжной копии, изготовленной по данным спиральной рентгеновской КТ на 3D-принтере из пластического полимерного материала. Использование созданной модели деформированного отдела позвоночника предоставило возможность дополнительно визуализировать и осязать патологический объект в натуральную величину, реально оценить анатомические особенности и параметры заинтересованных позвоночных сегментов и измененного позвоночного канала, что оказало существенную конструктивную помощь при планировании хирургического вмешательства и его непосредственного технического осуществления.

Ключевые слова: врожденные аномалии развития позвоночника, 3D-проектирование и прототипирование, хирургия деформаций позвоночника.

Для цитирования: Герасименко М.А., Тесаков Д.К., Макаревич С.В., Тесакова Д.Д., Бобрик П.А., Криворот К.А., Сацкевич Д.Г., Пустовойтов К.В. 3D-проектирование и прототипирование в хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника у детей: наш первый опыт // Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 1. С. 24–30.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.1.24-30>.

3D DESIGN AND PROTOTYPING IN SURGICAL TREATMENT OF CONGENITAL SPINE DEFORMITIES IN CHILDREN: THE FIRST EXPERIENCE

*M.A. Gerasimenko, D.K. Tesakov, S.V. Makarevich, D.D. Tesakova, P.A. Bobrik, K.A. Krivorot, D.G. Satskevich, K.V. Pustavoitau
The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, Minsk, Belarus*

The experience of using the method of 3D design and prototyping is exemplified in a clinical case of surgical treatment of a six-year-old patient with kyphoscoliotic deformity of the spine due to congenital malformation of the L₁ vertebra. At the stage of diagnostics and pre-operative preparation, a created model of the deformed spine was used in the form of a breadboard variant made according to the data of spiral X-ray CT on a 3D printer from a plastic polymer material. The use of the created model of the deformed spine made it possible to additionally visualize and touch the pathological object in full size, to really assess the anatomical features and parameters of the interested vertebral segments and the altered spinal canal, which provided significant constructive assistance in planning surgical intervention and its immediate technical implementation.

Key Words: congenital malformations of the spine, 3D design and prototyping, surgery for spinal deformities.

Please cite this paper as: Gerasimenko MA, Tesakov DK, Makarevich SV, Tesakova DD, Bobrik PA, Krivorot KA, Satskevich DG, Pustavoitau KV. 3D design and prototyping in surgical treatment of congenital spine deformities in children: the first experience. *Hir. Pozvonoc.* 2021;18(1):24–30. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.1.24-30>.

Деформации позвоночника, возникающие на почве врожденных аномалий развития его структур, являются актуальным и проблемным разделом современной ортопедии. Особое значение при этом имеют прогрессирующие деформации на почве нарушений сегментации и формы позвонков

у детей в течение их физиологического роста и развития, так как на уровне аномальных сегментов увеличивающейся дуги искривления в патологический процесс вовлекается находящийся в позвоночном канале спинной мозг с компримирующим смещением и деформированием. Этот процесс

сопровождается высоким риском возникновения или усугубления спинальных неврологических расстройств с утяжелением клинического проявления врожденного заболевания, что является объективным обоснованием необходимости именно хирургического лечения [1–3].

Современные оперативные вмешательства при указанной патологии предусматривают удаление аномальных позвонков с выполнением мобилизирующей вертебротомии в сочетании с циркулярной декомпрессией спинного мозга и реконструкцией позвоночного канала. После этого с помощью специальных имплантируемых металлоконструкций осуществляется коррекция деформации и ее фиксирующая стабилизация [4, 5]. Следует отметить, что хирургия врожденных деформаций позвоночника сама сопряжена с повышенным риском провокации различных периоперационных осложнений, поэтому вариант планируемого вмешательства в каждом конкретном клиническом случае при врожденной аномалии следует определять индивидуально. Для этого необходимы соответствующие диагностические подходы при подготовке пациента к хирургическому лечению, определении его методики и объема, этапности и планируемого инструментального обеспечения.

В последние годы в реконструктивной хирургии позвоночника стал применяться метод 3D-проектирования и прототипирования, предусматривающий на подготовительном этапе диагностики и планирования изготовление на 3D-принтере в натуральную величину трехмерных моделей позвоночника или его измененных отделов. Проведенный информационный анализ показывает, что использование данного метода как медицинской технологии позволяет детально визуализировать и оценивать изменения позвоночного столба и его структур, осуществлять дифференцированный подход к хирургической коррекции и стабилизации позвоночника при деформационных поражениях различного генеза, локализации и выраженности, создавать и использовать индивидуальные технические решения имплантируемых конструкций эндокорректоров-фиксаторов и шаблонов-направителей для установки опорных узлов фиксации позвонков [6–13]. Есть данные о том, что 3D-моделирование позволяет повысить точность установки транспедикулярных винтов, что благо-

приятно влияет на послеоперационную биомеханическую устойчивость конструкции и снижает риск повреждения нервных структур [7].

Цель исследования – анализ применения технологии 3D-проектирования и прототипирования в хирургической коррекции врожденной деформации позвоночника.

Представляем клинический случай хирургического лечения пациентки шести лет по поводу кифосколиотической деформации позвоночника на почве врожденной аномалии развития L₁ позвонка с применением метода 3D-проектирования и прототипирования как наш первый опыт использования данной технологии.

В Белорусском республиканском научно-практическом центре травматологии и ортопедии (РНПЦ травматологии и ортопедии) под наблюдением находится пациентка Д., 2013 года рождения. Из анамнеза известно, что у ребенка сразу после рождения выявлена аномалия развития поясничного отдела позвоночника, но по клиническому проявлению ортопедический статус до 5 лет был относительно стабильным, по общему развитию девочка находилась в показателях нормы, в 3 года пошла в обычный детский сад. В 5 лет родители стали

замечать у ребенка изменения в двигательной активности, возникающие спонтанные эпизоды спотыканий при ходьбе из-за появляющейся слабости в ногах. С этого периода у девочки стала ухудшаться и осанка.

При осмотре пациентки в стационаре отмечается незначительная асимметрия горизонталей надплечий, треугольников талии и углов лопаток. На переходном грудопоясничном уровне рельефа поверхности спины слева визуализируется незначительный реберно-мышечный валик, а также определяется изменение сагиттального профиля в виде локального кифоза, усиливающегося при наклонном сгибании туловища (рис. 1).

Со стороны верхних и нижних конечностей анатомических и функциональных нарушений не выявлено. При оценке неврологического статуса отмечено незначительное снижение сухожильно-мышечных и периостальных рефлексов в ногах. При наклонном сгибании туловища отмечается появление онемения и слабости в ногах, исчезающих после выпрямления.

На рентгенограммах позвоночника, выполненных в положении пациентки стоя (прямая и боковая проекции), визуализирована аномалия развития поясничного отдела. На боковой рент-



Рис. 1

Внешний вид пациентки Д., 6 лет, при проведении ортопедического осмотра (2019 г.)

генограмме определена гипоплазия L₁ позвонка, тело которого имеет клиновидную форму и сопровождается развитием кифотической деформации, величина дуги на уровне Th₁₂–L₂ по Cobb [13] – 49°. На прямой рентгенограмме сколиотическая грудопоясничная левосторонняя деформация с дугой на уровне Th₁₁–L₃ (18°). МРТ позвоночника подтвердила наличие у пациентки врожденной аномалии, классифицированной как нарушение формирования L₁ позвонка на почве гипоплазии тела сегмента с развитием кифотической деформации, вызывающей деформирующее смещение и компрессию дурального мешка и спинного мозга в позвоночном канале на стороне вогнутости дуги [1, 3]. Замеренная на скане МРТ дуга патологического локального кифоза на уровне Th₁₂–L₂ составила 40°. Каких-либо изменений в тканевой структуре спинного мозга на протяжении всего позвоночного канала не выявлено (рис. 2).

Проведенное электрофизиологическое обследование функционального состояния проводимости спинного мозга (суммарная и стимуляционная электромиография) выявило при произвольных моторных усилиях пациентки асимметричную биологическую активность в мышцах нижних конечностей со снижением амплитуды слева на *m. vastus lat.*, *m. tibialis ant.* и *m. soleus* до 30 %, а на *m. vastus med.*, *m. extensor hall. long.* – до 20 %, сочетающихся с изменениями в структуре активности. При электроимпульсной стимуляции *n. tibialis* получены Н-рефлексы и М-ответы *m. soleus* измененной динамики, указывающие на снижение рефлекторной возбудимости до 30 % от физиологического интервала. Полученные данные объективно указывают на изменения функционального состояния мышц нижних конечностей с иннервацией ниже L₁ сегмента спинного мозга и обусловлены его компримирующим раздражением в позвоночном канале на указанном уровне.

На основании данных рентгенологического и МРТ-обследования для уточнения анатомических осо-

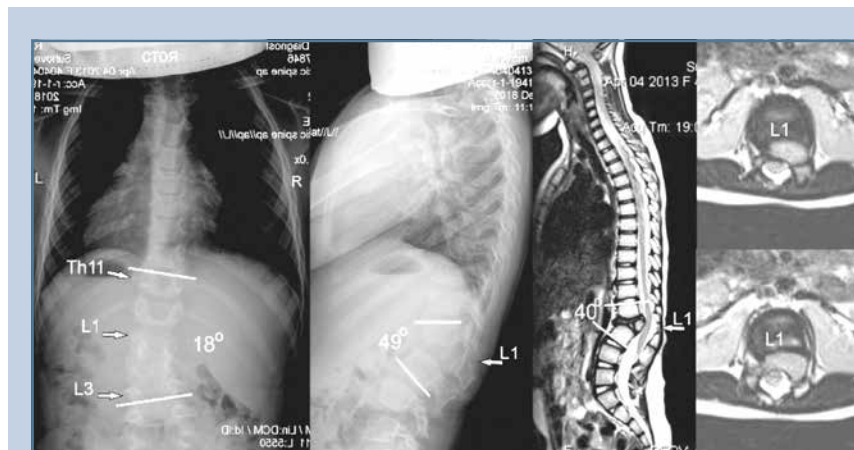


Рис. 2

Рентгенограммы и МРТ пациентки Д., 6 лет

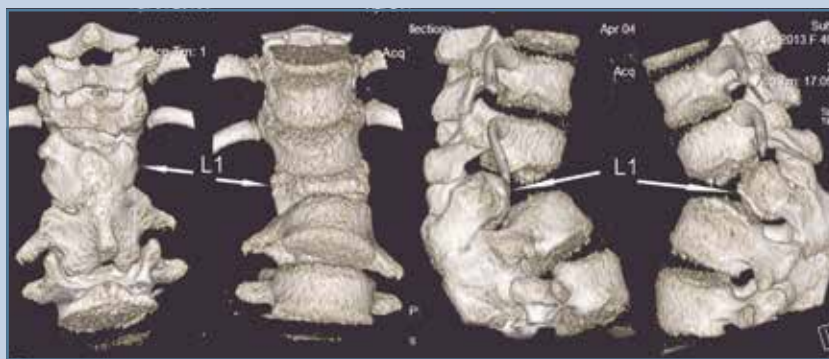


Рис. 3

Объемная рентгеновская КТ-реконструкция уровня Th₁₁–L₃ позвонков пациентки Д., 6 лет

бенностей и параметров позвонков деформированного сегмента позвоночника выполнена рентгеновская КТ на уровне Th₁₁–L₃ сегментов как зоны предполагаемого хирургического вмешательства (рис. 3).

Диагностированное деформационное поражение позвоночника и позвоночного канала, провоцирующее компрессию дурального мешка и развитие спинальных неврологических осложнений, явилось основанием для хирургического лечения, включающего удаление L₁ позвонка с циркулярной мобилизацией и декомпрессией спинного мозга, реконструкцией позвоночного канала с последующим соеди-

нением позвонков Th₁₂–L₂ и коррекцией кифосколиотической деформации с помощью имплантируемой металлоконструкции в сочетании с задним спондилодезом аутокостью на уровне Th₁₂–L₂.

С учетом небольших размеров позвонков пациентки и высокого уровня технических рисков рассматриваемого хирургического вмешательства на основании данных рентгеновского КТ-исследования в программе 3D-редактирования Rhino 6 спроектировали 3D-модель деформированного отдела позвоночника на уровне Th₁₁–L₃ и изготовили ее из пластического материала в натуральную величину на 3D-принтере

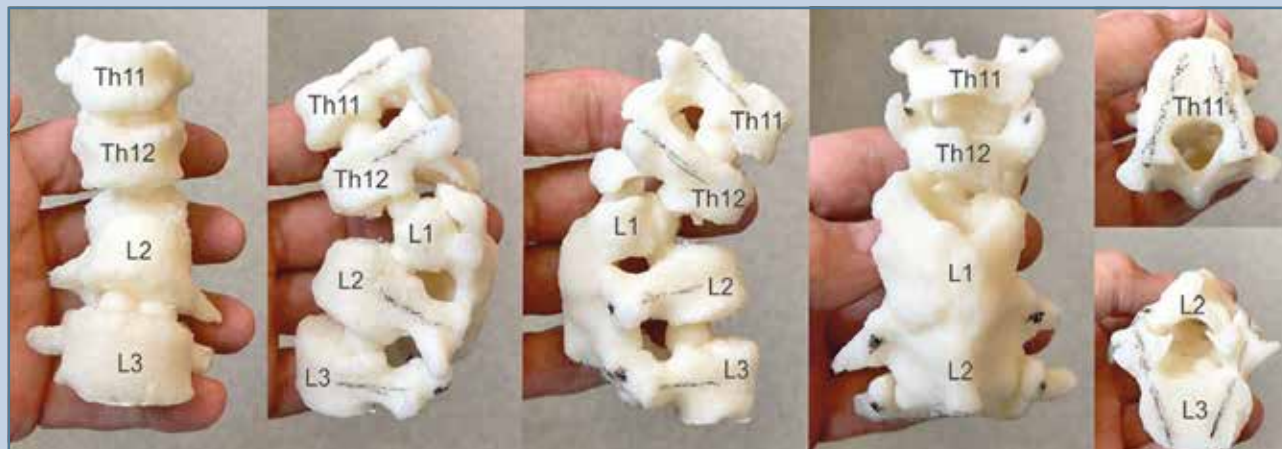


Рис. 4

Созданная 3D-модель позвоночника на уровне Th₁₁–L₃ в натуральную величину

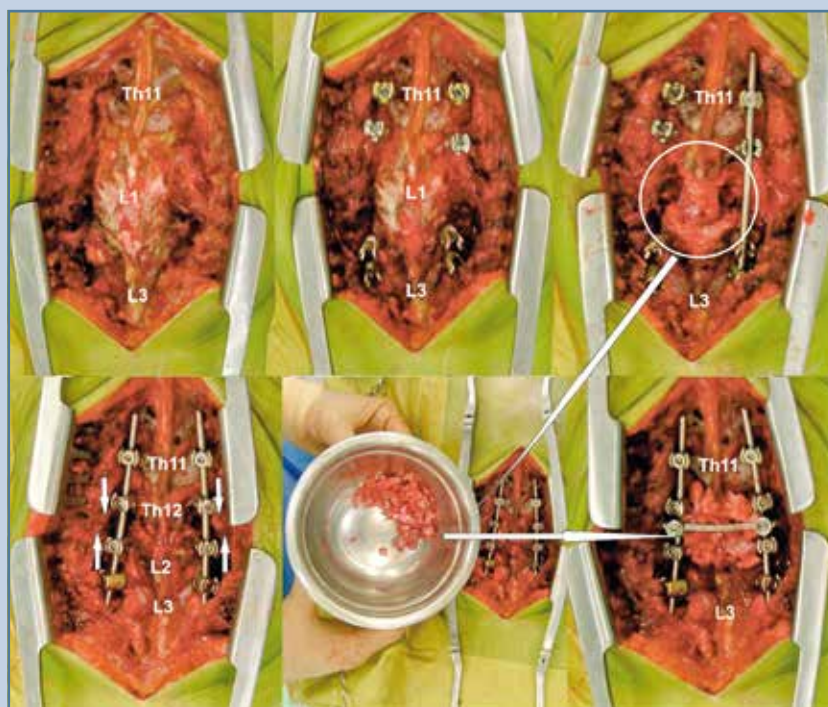


Рис. 5

Этапы хирургического вмешательства

(спинным мозгом и его корешками на уровне Th₁₂–L₂). Параллельно были уточнены необходимые параметры фиксирующих транспедикулярных винтов с определением безопасной траектории их имплантирования в позвонки (рис. 4).

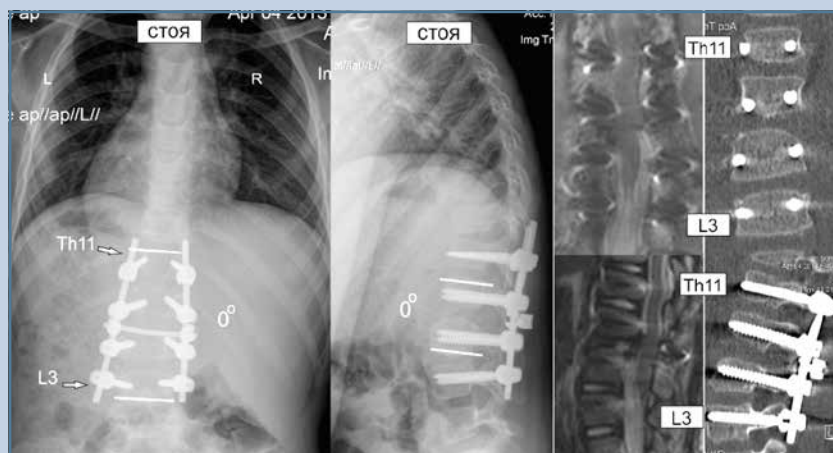
Пациентке провели хирургическую операцию из заднего доступа с последовательным выполнением запланированных этапов (рис. 5).

В процессе хирургического вмешательства, начиная с этапа заднего доступа, отмечено абсолютно полное совпадение интраоперационно визуализируемых анатомических особенностей и параметров позвоночных сегментов с таковыми на созданной 3D-модели. Это оптимизировало выполнение всех этапов с позиции повышения безопасности и контроля риска возможных технических хирургических осложнений, особенно при установке винтов транспедикулярной фиксации, удалении L₁ позвонка и проведении корригирующих манипуляций имплантируемой металлоконструкцией. В результате успешно достигнута радикальная коррекция кифосколиотической деформации с полноценной декомпрессией спинного мозга и стабилизацией позвоночника на уровне Th₁₁–L₃ имплантированной металлоконструкцией, что подтвердилось и данными

CreatBot F430. Данный этап работы осуществлен в сотрудничестве с НП ООО «Медбиотех» (Минск, Республика Беларусь).

Использование созданной 3D-модели предоставило возможность до операции объективно визуализи-

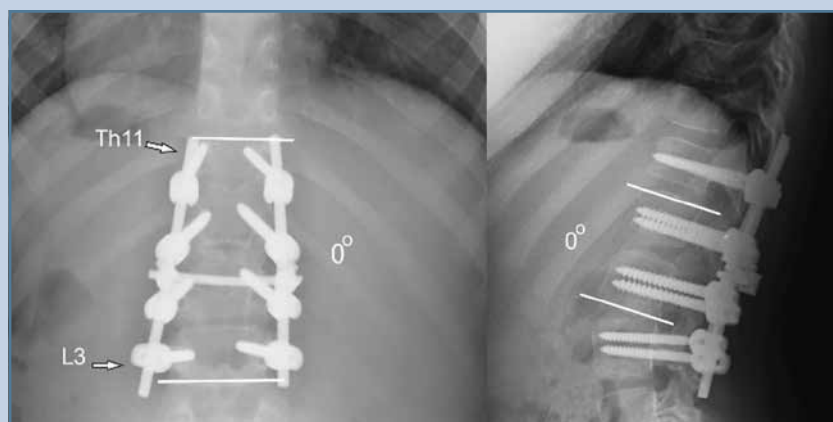
ровать и осязать вид деформационного поражения позвоночника, оценить анатомические параметры позвонков и резервные пространства позвоночного и корешковых каналов с реальной привязкой к взаимоотношениям с внутриканальными структурами

**Рис. 6**

Рентгенограммы, МРТ и РКТ пациентки Д., 6 лет, в раннем послеоперационном периоде

**Рис. 7**

Внешний вид пациентки Д. через год после операции

**Рис. 8**

Спонилограммы пациентки Д. через год после операции

лучевого обследования (рентгенографии, МРТ, РКТ) в раннем послеоперационном периоде (рис. 6).

Ранний послеоперационный период проходил без осложнений. Девочка вертикализирована на 7-е сут, через 10 дней выписана из стационара после заживления раны первичным натяжением. В дальнейшем пациентка носила жесткий корсет, индивидуально изготовленный из полиэтилена на протезном предприятии.

В ходе наблюдения отмечено, что девочка полностью адаптировалась к созданному состоянию позвоночника, контролирует осанку и движения (рис. 7), каких-либо жалоб не предъявляет, учится в первом классе общеобразовательной школы.

Выполненные через год контрольные спондилограммы показали сохранение достигнутой коррекции кифосколиотической деформации (рис. 8). Пациентка продолжает находиться под наблюдением.

Заключение

Полученный опыт применения 3D-проектирования и прототипирования на этапе предоперационной диагностики пациента с деформацией позвоночника на почве врожденной аномалии развития показал, что данная технология оказывает существенную практическую помощь хирургам, предоставляя возможность дополнительно визуализировать деформационное поражение, наглядно оценивать анатомические особенности и параметры позвонков с резервными пространствами позвоночного и корешковых каналов, а также уточнять необходимые параметры фиксирующих опорных узлов с определением безопасной траектории или зоны их имплантирования, тем самым снижая операционные риски и оптимизируя хирургическое лечение детей с врожденными аномалиями развития позвоночника.

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

Литература/References

1. **Ульрих Э.В.** Аномалия позвоночника у детей: руководство для врачей. СПб., 1995. [Ulrich EV. Abnormalities of the Spine in Children: a Guide for Doctors. St. Petersburg, 1995. In Russian].
2. **Воронов В.Г.** Пороки развития спинного мозга и позвоночника у детей (страницы истории, клиника, диагностика, лечение). СПб., 2002. [Vorono V.G. Malformations of the Spinal Cord and Spine in Children. St. Petersburg, 2002. In Russian].
3. **Михасевич Н.О., Тесаков Д.К., Тихомирова Т.Ф., Пашкевич Л.А., Ильясевич И.А., Мухля А.М.** Классификация врожденных аномалий развития позвоночника // Военная медицина. 2007. № 3 (4), С. 18–21. [Mikhasevich NO, Tesakov DK, Tikhomirova TF, Pashkevich LA, Ilyasevich IA, Mukhlya AM. Classification of congenital malformations of the spine. Military Medicine. 2007;3(4):18–21. In Russian].
4. **Виссарионов С.В., Хусаинов Н.О., Баиндурашвили А.Г., Кокушин Д.Н., Картавенко К.А.** Сравнительный анализ этапного хирургического лечения детей с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника на фоне множественных пороков развития позвонков (предварительные результаты) // Современные проблемы науки и образования. 2018. № 2. [Vissarionov SV, Khusainov NO, Baindurashvili AG, Kokushin DN, Kartavenko KA. Comparative analysis of the results for surgical treatment of patients with congenital thoracic spine deformities (preliminary results). Modern Problems of Science and Education. 2018;(2). In Russian]. DOI: 10.17513/spno.27440.
5. **Рябых С.О.** Выбор хирургической тактики при врожденных деформациях позвоночника на фоне множественных пороков позвонков // Хирургия позвоночника. 2014. № 2. С. 21–28. [Ryabykh SO. The choice of surgical approach for congenital spinal deformity caused by multiple vertebral malformations. Hir. Pozvonoc. 2014;(2):21–28. In Russian].
6. **Баиндурашвили А.Г., Виссарионов С.В., Познович М.С., Овечкина А.В., Залетина А.В.** Применение трехмерной печати в хирургии позвоночника и другой костной патологии // Современные проблемы науки и образования. 2019. № 6. [Baindurashvili AG, Vissarionov SV, Poznovich MS, Ovechkina AV, Zaletina AV. The use of three-dimensional printing in spinal surgery and other bone pathology. Modern Problems of Science and Education. 2019;(6). In Russian]. DOI: 10.17513/spno.29359.
7. **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. [Snetkov AA, Gorbatiuk 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: 10.14531/ss2020.142-53.
8. **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.
9. **Hsu MR, Haleem MS, Hsu W.** 3D printing applications in minimally invasive spine surgery. Min Invas Surg. 2018;2018ID 4760769. DOI: 10.1155/2018/4760769.
10. **Liu K, Zhang Q, Li X, Zhao C, Quan X, Zhao R, Chen Z, Li Y.** Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis. Eur Spine J. 2017;26:1684–1689. DOI: 10.1007/s00586-016-4926-1.
11. **Tan LA, Yerneni K, Tuchman A, Li XJ, Cerpa M, Lehman RA Jr, Lenke IG.** 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.
12. **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.
13. **Cobb JR.** Outline for the study of scoliosis. Instr Course Lect. 1948;5:261–275.

Адрес для переписки:

Макаревич Сергей Валентинович
Республика Беларусь,
220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4,
Республиканский научно-практический центр
травматологии и ортопедии,
sv.mak@mail.ru

Address correspondence to:

Makarevich Sergey Valentinovich
Republican Scientific and Practical Centre
for Traumatology and Orthopedics,
60/4 Leitenanta Kizhevatova str., Minsk, 220024, Belarus,
sv.mak@mail.ru

Статья поступила в редакцию 16.10.2020

Рецензирование пройдено 23.11.2020

Подписано в печать 01.12.2020

Received 16.10.2020

Review completed 23.11.2020

Passed for printing 01.12.2020

Михаил Александрович Герасименко, д-р мед. наук, проф., директор, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0001-9151-0214, kanc@ortoped.by;

Дмитрий Кириллович Тесаков, канд. мед. наук, ведущий научный сотрудник лаборатории заболеваний и последствий травм позвоночника и спинного мозга, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0002-0890-8174, dk-tesakov@yandex.ru;

Сергей Валентинович Макаревич, д-р мед. наук, доцент, главный научный сотрудник лаборатории травматических повреждений позвоночника и спинного мозга, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0001-8225-4423, sv.mak@mail.ru;

Дарья Дмитриевна Тесакова, канд. мед. наук, научный сотрудник лаборатории травматических повреждений позвоночника и спинного мозга, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0002-3603-8946, dr-tesakova@yandex.ru;

Павел Александрович Бобрик, канд. мед. наук, заведующий нейрохирургическим отделением № 2, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0002-4607-0430, kanc@ortoped.by;

Кирилл Анатольевич Криворот, канд. мед. наук, старший научный сотрудник лаборатории травматических повреждений позвоночника и спинного мозга, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0003-0456-2839, kirill.doc@mail.ru;

Дмитрий Георгиевич Сацкевич, канд. мед. наук, заместитель директора по лечебной работе, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0001-928-9665, kanc@ortoped.by;

Кирилл Васильевич Пустовойтов, заведующий нейрохирургическим отделением № 1, Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, Республика Беларусь, 220024, Минск, ул. Лейтенанта Кижеватова, 60/4, ORCID: 0000-0001-6533-6021, kiryl.pustavoitau@gmail.com.

Mikhail Aleksandrovich Gerasimenko, DMSc, Prof., Director of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0001-9151-0214, kanc@ortoped.by;

Dmitry Kimovich Tesakov, MD, PhD, Leading Researcher, Laboratory of Diseases and Consequences of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0002-0890-8174, dk-tesakov@yandex.ru;

Sergey Valentinovich Makarevich, DMSc, Associate Professor, Chief Researcher of the Laboratory of Traumatic Injuries of the Spine and Spinal Cord of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0001-8225-4423, sv.mak@mail.ru;

Daria Dmitriyevna Tesakova, MD, PhD, Researcher of the Laboratory of Traumatic Injuries of the Spine and Spinal Cord of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0002-3603-8946, dr-tesakova@yandex.ru;

Pavel Aleksandrovich Bobrik, MD, PhD, Head of the Neurosurgical Department No. 2 of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0002-4607-0430, kanc@ortoped.by;

Kirill Anatolyevich Krivorot, MD, PhD, Senior Researcher of the Laboratory of Traumatic Injuries of the Spine and Spinal Cord of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0003-0456-2839, kirill.doc@mail.ru;

Dmitry Georgiyevich Satskevich, MD, PhD, Deputy Director for Clinical Care of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0001-928-9665, kanc@ortoped.by;

Kiryl Vasilyevich Pustavoitau, Head of the Neurosurgical Department No. 1 of The Republican Scientific and Practical Centre for Traumatology and Orthopedics, 60/4 Leitenanta Kizbevatova str., Minsk, 220024, Belarus, ORCID: 0000-0001-6533-6021, kiryl.pustavoitau@gmail.com.