



# КОМПЬЮТЕРНОЕ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЕ С ИЗГОТОВЛЕНИЕМ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ЛЕКАЛ ДЛЯ НАВИГИРОВАНИЯ ВВЕДЕНИЯ ВИНТОВ В ШЕЙНОМ ОТДЕЛЕ ПОЗВОНОЧНИКА

**А.В. Бурцев, О.М. Павлова, С.О. Рябых, А.В. Губин**

*Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия»  
им. акад. Г.А. Илизарова, Курган, Россия*

**Цель исследования.** Доказать эффективность методики 3D-моделирования с индивидуальным изготовлением лекал при винтовой фиксации шейного отдела позвоночника.

**Материал и методы.** На основании данных МСКТ трех пациентов изготовили 3D-модели шейных позвонков и лекала-направители. С помощью стандартного инструментария для введения винтов в шейные позвонки имплантировали винты транспедикулярно в С<sub>2</sub>–С<sub>7</sub> и в боковые массы С<sub>1</sub> 3D-моделей. Затем данную технологию клинически апробировали у пациента с новообразованием С<sub>2</sub> позвонка, которому произвели дорсальную стабилизацию С<sub>1</sub>–С<sub>3</sub> с использованием лекал как направителей. В послеоперационном периоде выполняли МСКТ для контроля положения винтов.

**Результаты.** При имплантации винтов в муляжи технических трудностей не выявили. После введения винтов производили визуальную оценку 3D-модели позвонка. Мальпозиций на моделях не определялось. На основании отработанной методики провели клиническую апробацию у пациента с нормальным строением шейных позвонков. По результатам МСКТ отмечена девиация винтов относительно заданной траектории не более чем на 2 мм, при этом мальпозиций не выявлено.

**Заключение.** Представлено первое отечественное описание методики навигирования по лекалам. Из всех существующих данная методика является наиболее надежным способом позиционирования винтов в шейном отделе позвоночника. Возможная погрешность при введении не отражается на качестве положения.

**Ключевые слова:** транспедикулярное введение, шейный отдел, навигация, 3D-моделирование.

COMPUTER 3D-MODELING OF PATIENT-SPECIFIC  
NAVIGATIONAL TEMPLATE FOR CERVICAL SCREW  
INSERTION

*A.V. Burtsev, O.M. Pavlova, S.O. Ryabykh, A.V. Gubin  
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology  
and Orthopaedics, Kurgan, Russia*

**Objective.** To prove the effectiveness of 3D computer modeling and printing of patient-specific templates for cervical spine screw fixation.

**Materials and Methods.** Based on the MSCT data of three patients, 3D models of cervical vertebrae and guiding templates were produced. The screws were inserted transpedicularly into 3D-printed models of C2–C7 vertebrae and C1 lateral masses using standard cervical instrumentation. This technology was then clinically tested in a patient with C2 tumor, in whom posterior stabilization of C1–C3 vertebrae was performed using guiding templates. In the postoperative period, MSCT was performed to monitor the position of screws.

**Results.** When implanting screws into 3D-models, technical difficulties were not revealed. After insertion of screws, a visual assessment of the 3D vertebra model was made. Malpositions in models were not detected. Based on the proven technique, a clinical approbation was performed in a patient with normal cervical spine pattern. MSCT study revealed the deviation of screws relative to the planned trajectory by no more than 2 mm, with no malpositions.

**Conclusion.** The first domestic description of the technique of navigation using guiding templates is presented. Of all the existing methods, this is the most reliable way of screw positioning in the cervical spine. The possible insertion error does not affect the quality of positioning.

**Key Words:** transpedicular insertion, cervical spine, navigation, 3D modeling.

Для цитирования: Бурцев А.В., Павлова О.М., Рябых С.О., Губин А.В. Компьютерное 3D-моделирование с изготовлением индивидуальных лекал для навигирования введения винтов в шейном отделе позвоночника // Хирургия позвоночника. 2018. Т. 15. № 2. С. 33–38.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2018.2.33-38>.

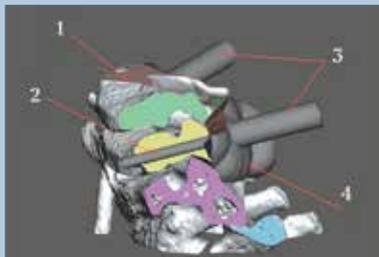
Please cite this paper as: Burtsev AV, Pavlova OM, Ryabykh SO, Gubin AV. Computer 3D-modeling of patient-specific navigational template for cervical screw insertion. *Hir. Pozvonoc.* 2018;15(2):33–38. In Russian.  
DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2018.2.33-38>.

Современные технологии дорсальной стабилизации шейного отдела позвоночника предусматривают применение винтовых металлоконструкций. В краниоцервикальном отделе наиболее надежной является фиксация  $C_1$ – $C_2$  по Goel – Harms, а в субаксиальном – транспедикулярная. Существующие методики введения винтов можно условно разделить на free hand (свободная рука) и навигирование. Наиболее безопасными с точки зрения предотвращения мальпозиций являются различные способы навигирования. В настоящее время широкое распространение получили методики на основе мультиспиральной КТ с применением сложной и дорогостоящей техники. Однако мобильность шейного отдела не позволяет добиться абсолютно точного позиционирования винтов интраоперационно, что не исключает полностью риска мальпозиций. В последнее время в зарубежных источниках все большее внимание уделяется 3D-моделированию и изготовлению лекал для задания траектории введения винтов [1–16]. При этом в отечественной литературе подобного рода публикации отсутствуют.

## Материал и методы

Работа выполнена в Российском научном центре «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова (Курган). На основании данных МСКТ трех пациентов с различными аномалиями развития шейного отдела позвоночника изготовлены 3D-модели шейных позвонков. МСКТ выполняли на аппарате «Aquilion 64» (Toshiba), GE Light Speed, с толщиной среза 0,5 мм и разрешением 512 на 512 dpi. Все изображения сохраняли в формате DICOM и передавали на рабочую станцию с программным обеспечением «InVesalius v. 3.0», которая создавала 3D-модель шейных позвонков. После создания 3D-модели производили ее экспорт в файл с расширением stl. В программном обеспечении «AutoDesk Meshmixer» из stl-модели позвонков производили моделирование лекала, рабочая поверхность которого являлась обратной поверхности позвонка, что обеспечивало идеальное прилегание с учетом расположения смежных позвонков. После создания лекала определяли оптимальную траекторию с учетом диаметра сверла и дрели (рис. 1). Для удобства хирурга каждый навигационный шаблон нумеровали на обратной стороне от  $C_1$  до  $C_7$ . После виртуального создания 3D-модели позвонков и лекал их изготавливали на 3D-принтере «Ultimaker 2GO» из биodeградируемого пластика PLA (рис. 2).

После изготовления лекал с помощью стандартного инструментария для введения винтов в шейные позвонки имплантировали винты транспедикулярно в  $C_2$ – $C_7$  позвонки и в боковые массы  $C_1$  позвонка 3D-моделей трех пациентов. В дальнейшем на основании предыдущих данных была отработана технология 3D-моделирования, определения оптимальной траектории введения и изготовления лекал. Данная технология апробирована клинически у пациента с новообразованием  $C_2$  позвонка, которому произвели дорсальную стабилизацию  $C_1$ – $C_3$  с использованием лекал как направителей правильной траектории. В послеоперационном периоде выполняли МСКТ для контроля положения винтов.



**Рис. 1**

Виртуальное моделирование: построение траектории введения винта, моделирование поверхности лекала с учетом расположения смежных позвонков: 1 – смежный позвонок; 2 – тубус-направитель, имитирующий траекторию введения винта в тело позвонка; 3 – тубус-направитель на лекале, задающий траекторию для сверла; 4 – лекало



**Рис. 2**

Изготовленные 3D-модели шейных отделов позвонков и лекала для навигирования введения винтов

## Результаты и их обсуждение

Применение МСКТ с использованием программного обеспечения и 3D-принтера позволило изготовить лекала для транспедикулярного введения винтов в шейные позвонки. В направлятелях изготовленных лекал формировали отверстия диаметром 2,2 мм для прохождения сверла. Лекало плотно прикладывали к дуге и остистому отростку позвонка, после чего с помощью высокоскоростного бора, а затем сверла формировали отверстие для введения винта. В сформированное отверстие имплантировали винт (рис. 3). При введении винта в муляжи технических трудностей не выявлено. После введения винтов визуально оценивали 3D-модели позвонка. Мальпозиций на моделях не выявлено (рис. 4).

На основании отработанной методики проведена клиническая апробация у пациента с нормальным строением шейных позвонков. После изготовления 3D-модели и лекал направлятелей в боковые массы  $C_1$  транспедикулярно в  $C_3$  имплантировали винты. Винты имплантировали и в боковые массы  $C_3$  методом свободной руки для большей жесткости конструкции. Применение лекал интраоперационно требовало тщательного скелетирования задних структур  $C_3$  позвонка, тогда как для  $C_1$  было достаточно лишь выделения задней дуги, что предупредило возможное кровотечение из венозного сплетения  $C_1$ – $C_2$ . Кроме того, при введении винтов транспедикулярно в  $C_3$  большой массив мягких тканей существенно ограничивал выбор правильной траектории, что потребовало выполнения контрапертуры для придания необходимого направления. После имплантации винта с одной стороны необходимо было отломить направлятель на этой же стороне лекала, так как головка винта мешала плотному прилеганию и, соответственно, точному позиционированию траектории (рис. 5). По результатам МСКТ отмечалась девиация винтов относительно заданной траектории не более чем на

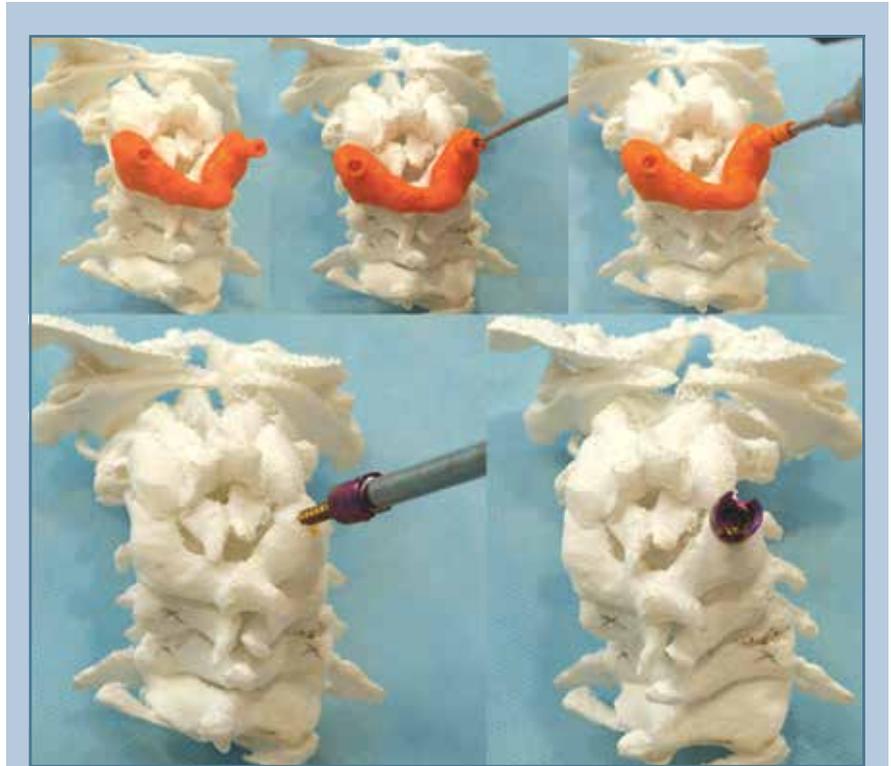


Рис. 3

Этапы введения винта на 3D-модели по лекалу

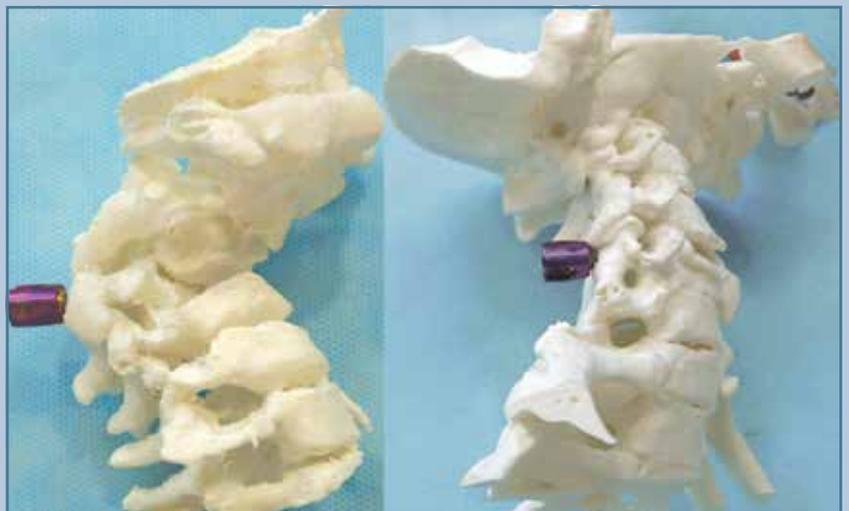


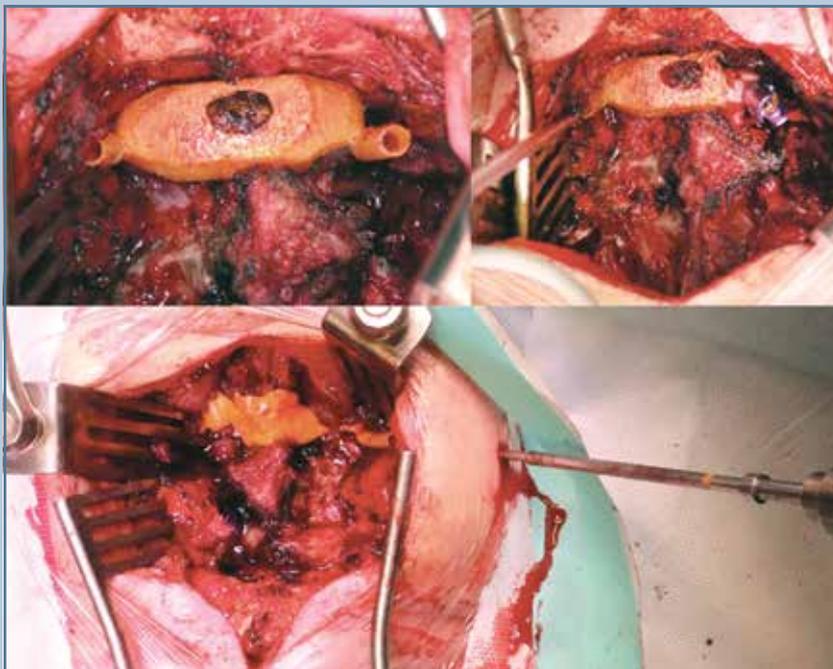
Рис. 4

Положение винтов в 3D-модели (визуальная оценка после введения по лекалам)

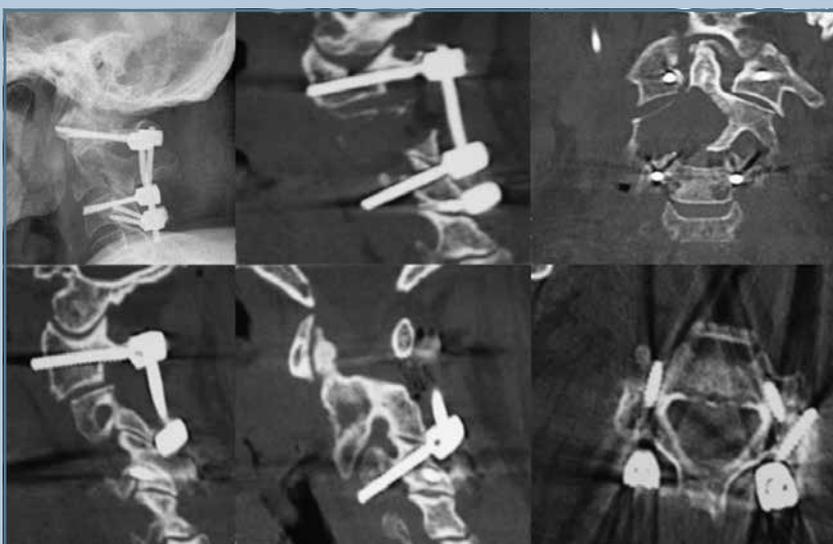
2 мм, при этом мальпозиций не выявлено (рис. 6).

Методика навигирования с помощью лекал является выполнимой,

позволяет создать индивидуальные направлятели (лекала) для точного размещения винтов [11]. Однако потребность наличия 3D-принтера может

**Рис. 5**

Интраоперационные фото с этапами введения винтов методом навигирования по лекалам

**Рис. 6**

Рентгенография и МСКТ-контроль положения винтов после операции

ограничивать ее широкое распространение. При этом в настоящее время способ является наиболее точным для корректного введения винтов [4, 6,

7, 10]. Немногочисленные публикации, посвященные этой проблеме, описывают различные варианты изготовления лекал. Большинство этих работ

посвящено навигированию в шейном отделе позвоночника, что свидетельствует о наибольшей сложности при введении винтов в этой области [4–9, 13–15]. Описаны различные варианты методик от одного [4, 7] до трех (для шила, сверла, винта) лекал [14, 15]. Однако на точности позиционирования это сказывается не существенно [4–6, 8, 14, 15]. Наиболее частыми погрешностями при навигировании по лекалам являются отклонения от заданной траектории. Их величина в 97,9 % случаев не превышает 2 мм, при этом мальпозиций не отмечают [6]. В 95 % случаев не отмечаются отклонения от траектории [13]. Погрешность при введении винтов возможна чаще всего из-за человеческого фактора, в связи с чем следует полагаться на лекало, что полностью исключает мальпозицию.

В настоящее время не существует публикаций, описывающих большой опыт применения лекал. Все имеющиеся работы по шейному отделу позвоночника ограничиваются либо каверными исследованиями, либо клинической серией от 10 до 25 пациентов, с общим количеством имплантированных винтов, не превышающим 86. Эти обстоятельства подтверждают актуальность данной публикации.

### Заключение

Представленное первое отечественное описание методики навигирования по лекалам показывает, что данный способ выполним в условиях федерального центра, занимающегося хирургическим лечением патологии позвоночника. Из всех существующих методик данная является наиболее надежным способом позиционирования винтов в шейном отделе позвоночника. Возможная погрешность при введении винтов не отражается на качестве их положения.

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

## Литература/References

- Berry E, Cuppone M, Porada S, Millner PA, Rao A, Chiverton N, Seedhom BB. Personalised image-based templates for intra-operative guidance. Proc Inst Mech Eng H. 2005;219:111–118. DOI: 10.1243/095441105X9273.
- Birnbaum K, Schkommodau E, Decker N, Prescher A, Klapper U, Radermacher K. Computer-assisted orthopedic surgery with individual templates and comparison to conventional operation method. Spine. 2001;26:365–370. DOI: 10.1097/00007632-200102150-00012.
- D'Urso PS, Williamson OD, Thompson RG. Biomodeling as an aid to spinal instrumentation. Spine. 2005;30:2841–2845. DOI: 10.1097/01.brs.0000190886.56895.3d.
- Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, Albert TJ, Dong WX., Xie H, Yuan JB, Wang CT. Deviation analysis of C2 translaminar screw placement assisted by a novel rapid prototyping drill template: a cadaveric study. Eur Spine J. 2013;22:2770–2776. DOI: 10.1007/s00586-013-2993-0.
- Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M, Higashiyama N, Takabatake M, Mizoi K. A novel screw guiding method with a screw guide template system for posterior C2 fixation: clinical article. J Neurosurg Spine. 2014;21:231–238. DOI: 10.3171/2014.3.SPINE13730.
- Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M. Safe and accurate midcervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system. Spine. 2015;40:E341–E348. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000772.
- Lu S, Xu YQ, Chen GP, Zhang YZ, Lu D, Chen YB, Shi JH, Xu XM. Efficacy and accuracy of a novel rapid prototyping drill template for cervical pedicle screw placement. Comput Aided Surg. 2011;16:240–248. DOI: 10.3109/10929088.2011.605173.
- Lu S, Xu YQ, Lu WW, Ni GX, Li YB, Shi JH, Li DP, Chen GP, Chen YB, Zhang YZ. A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement. Spine. 2009;34:E959–E966. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c09985.
- Lu S, Xu YQ, Zhang YZ, Xie L, Guo H, Li DP. A novel computer-assisted drill guide template for placement of C2 laminar screws. Eur Spine J. 2009;18:1379–1385. DOI: 10.1007/s00586-009-1051-4.
- Lu S, Zhang YZ, Wang Z, Shi JH, Chen YB, Xu XM, Xu YQ. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. Med Biol Eng Comput. 2012;50:751–758. DOI: 10.1007/s11517-012-0900-1.
- Mobbs RJ, Coughlan M, Thompson R, Sutterlin CE 3rd, Phan K. The utility of 3D printing for surgical planning and patient-specific implant design for complex spinal pathologies: case report. J Neurosurg Spine. 2017;26:513–518. DOI: 10.3171/2016.9.SPINE16371.
- Radermacher K, Porthelme F, Anton M, Zimolong A, Kaspers G, Rau G, Staudte HW. Computer assisted orthopaedic surgery with image based individual templates. Clin Orthop Relat Res. 1998;(354):28–38.
- Ryken TC, Owen BD, Christensen GE, Reinhardt JM. Image-based drill templates for cervical pedicle screw placement. J Neurosurg Spine. 2009;10:21–26. DOI: 10.3171/2008.9.SPI08229.
- Sugawara T, Higashiyama N, Kaneyama S, Sumi M. Accurate and simple screw insertion procedure with patient-specific screw guide templates for posterior C1–C2 fixation. Spine. 2017;42:E340–E346. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001807.
- Sugawara T, Higashiyama N, Kaneyama S, Takabatake M, Watanabe N, Uchida F, Sumi M, Mizoi K. Multistep pedicle screw insertion procedure with patient-specific lamina fit-and-lock templates for the thoracic spine: clinical article. J Neurosurg Spine. 2013;19:185–190. DOI: 10.3171/2013.4.SPINE121059.
- Takemoto M, Fujibayashi S, Ota E, Otsuki B, Kimura H, Sakamoto T, Kawai T, Futami T, Sasaki K, Matsushita T, Nakamura T, Neo M, Matsuda S. Additive-manufactured patient-specific titanium templates for thoracic pedicle screw placement: novel design with reduced contact area. Eur Spine J. 2016;25:1698–1705. DOI: 10.1007/s00586-015-3908-z.

## Адрес для переписки:

Павлова Ольга Михайловна  
640014, Россия, Курган,  
ул. М. Ульяновой, 6,  
РНЦ «Восстановительная травматология и ортопедия»  
им. акад. Г.А. Илизарова,  
pavlova.neuro@mail.ru

## Address correspondence to:

Pavlova Olga Mikhailovna  
Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative  
Traumatology and Orthopaedics,  
M. Ulyanovoy str., 6, Kurgan, 640014, Russia,  
pavlova.neuro@mail.ru

Статья поступила в редакцию 28.08.2017

Рецензирование пройдено 18.10.2017

Подписана в печать 23.10.2017

Received 28.08.2017

Review completed 18.10.2017

Passed for printing 23.10.2017

Александр Владимирович Бурцев, канд. мед. наук, хирург, ортопед-вертебролог, научный сотрудник научной клинико-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, ул. М. Ульяновой, 6, 640014, Курган, Россия, bav31rus@mail.ru;

Ольга Михайловна Павлова, нейрохирург, ортопед-травматолог, младший научный сотрудник научной клинико-экспериментальной лаборатории патологии осевого скелета и нейрохирургии, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, ул. М. Ульяновой, 6, 640014, Курган, Россия, pavlova.neuro@mail.ru;

Сергей Олегович Рябых, д-р.мед. наук, детский хирург, ортопед-травматолог, вертебролог, руководитель клиники патологии позвоночника и редких заболеваний, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. акад. Г.А. Илизарова, ул. М. Ульяновой, 6, 640014, Курган, Россия, rso\_@mail.ru;

Александр Вадимович Губин, д-р.мед. наук, ортопед-травматолог, директор, Российский научный центр «Восстановительная травматология и ортопедия» им. Г.А. Илизарова, ул. М. Ульяновой, 6, 640014, Курган, Россия, sbugu19@gubin.spb.ru.

*Aleksandr Vladimirovich Burtsev, MD, PhD, surgeon, orthopedist-vertebrologist, researcher, Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 640014, Kurgan, Russia, bav31rus@mail.ru;*  
*Olga Mikbailovna Pavlova, neurosurgeon, orthopedist-traumatologist, junior researcher in the Laboratory of Axial Skeletal Pathology and Neurosurgery, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 640014, Kurgan, Russia, pavlova.neuro@mail.ru;*  
*Sergey Olegovich Ryabykh, DMSc, pediatric surgeon, orthopedist-traumatologist, vertebrologist, Head of the Clinic of Spine Pathology and Rare Diseases, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 640014, Kurgan, Russia, rso\_@mail.ru;*  
*Alexandr Vadimovich Gubin, DMSc, orthopedist-traumatologist, Director, Russian Ilizarov Scientific Center for Restorative Traumatology and Orthopaedics, M. Ulyanovoy str., 640014, Kurgan, Russia, sbugu19@gubin.spb.ru.*