

ПРИМЕНЕНИЕ ШАБЛОНОВ-НАПРАВИТЕЛЕЙ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ ДОШКОЛЬНОГО ВОЗРАСТА С ВРОЖДЕННЫМ СКОЛИОЗОМ ГРУДНОЙ И ПОЯСНИЧНОЙ ЛОКАЛИЗАЦИИ

© Д.Н. Кокушин, С.В. Виссарионов, А.Г. Баиндурашвили, А.В. Овечкина, Н.О. Хусаинов, М.С. Познович, А.В. Залетина

Федеральное государственное бюджетное учреждение «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера»
Министерства здравоохранения Российской Федерации, Санкт-Петербург

■ Для цитирования: Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., и др. Применение шаблонов-направителей при хирургическом лечении детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2020. – Т. 8. – Вып. 3. – С. 305–316. <https://doi.org/10.17816/PTORS42000>

Поступила: 21.05.2020

Одобрена: 30.06.2020

Принята: 24.08.2020

Обоснование. Использование в качестве опорных элементов транспедикулярных винтов с позиции биомеханики предпочтительнее по сравнению с ламинарной фиксацией, но несет риск различных осложнений (мальпозиция винтов, повреждение твердой мозговой оболочки, спинного мозга и крупных сосудов), обусловленный структуральными изменениями позвонков в связи с пороками развития, малыми размерами корней дуг позвонков у детей младшего возраста. Исходя из этого, обеспечение безопасной и корректной установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении детей с врожденным сколиозом является актуальным. **Цель** — оценка корректности положения транспедикулярных винтов, установленных в тела позвонков у детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации при помощи шаблонов-направителей.

Материалы и методы. Работа основана на проспективном анализе результатов хирургического лечения 30 пациентов с врожденным сколиозом на фоне нарушения формирования позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника. Возраст пациентов: 1 год 8 мес. — 6 лет 5 мес. (средний возраст — 3 года 4 мес.). Распределение по полу — 12 мальчиков, 18 девочек. На основании мультиспиральной компьютерной томографии позвоночника, выполненной в послеоперационном периоде, оценивали корректность положения установленных транспедикулярных винтов корригирующей многоопорной металлоконструкции. Корректность положения транспедикулярных опорных элементов оценивали по шкале S.D. Gertzbein et al. (1990).

Результаты. Общее количество имплантированных транспедикулярных винтов составило 96 (100 % запланированных транспедикулярных винтов). Для установки транспедикулярных винтов использовано 48 шаблонов-направителей. Корректность положения установленных винтов по степени смещения: Grade 0 — 93,7 % (90 винтов), Grade I — 4,2 % (четыре винта), Grade II — 2,1 % (два винта), Grade III — 0 %. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 94 (97,9 %).

Заключение. Применение шаблонов-направителей при установке транспедикулярных винтов у детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации позволило достичь высокой точности и корректности (93,7 %). Использование шаблонов-направителей при хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника у пациентов младшего возраста обеспечивает подбор оптимального типоразмера и корректность позиции транспедикулярных опорных элементов в позвонках.

Ключевые слова: врожденный сколиоз; полупозвонок; транспедикулярная фиксация; шаблон-направитель; 3D-прототипирование; дети.

THE USE OF GUIDE TEMPLATES IN THE SURGICAL TREATMENT OF PRESCHOOL CHILDREN WITH CONGENITAL SCOLIOSIS OF THORACIC AND LUMBAR LOCALIZATION

© D.N. Kokushin, S.V. Vissarionov, A.G. Baindurashvili, A.V. Ovechkina, N.O. Khusainov, M.S. Poznovich, A.V. Zaletina

H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia

■ For citation: Kokushin DN, Vissarionov SV, Baindurashvili AG, et al. The use of guide templates in the surgical treatment of preschool children with congenital scoliosis of thoracic and lumbar localization. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2020;8(3):305-316. <https://doi.org/10.17816/PTORS42000>

Received: 21.05.2020

Revised: 30.06.2020

Accepted: 24.08.2020

Background. The use of transpedicular screws as support elements from the standpoint of biomechanics is preferable as compared to that of laminar fixation, albeit the former carries the risk of various complications (such as malposition screws, damage to the Dura mater, spinal cord, and major blood vessels) caused by structural changes in the vertebrae under the background of their defects, with small size of roots arcs vertebrae in young children. Thus, the issue of ensuring safe and correct installation of transpedicular screws in the surgical treatment of children with congenital scoliosis remains relevant.

Aim. We aimed to evaluate the correctness of the position of the transpedicular screws installed in the vertebral bodies in preschool children with congenital scoliosis of thoracic and lumbar localization using guide templates (SHN).

Materials and methods. We conducted a prospective analysis of the outcomes of surgical treatment of 30 patients with congenital scoliosis against the background of impaired formation of the vertebrae of the thoracic and lumbar spine. The patients included 12 boys and 18 girls of age: 1 year 8 months to 6 years 5 months (average: 3 years 4 months). Based on the computed tomography of the spine, performed postoperatively, the correctness of the position of the installed elements of the corrective multi-support metal structure was evaluated. The correctness of the position of the installed transpedicular support elements was evaluated based on the scale described by S.D. Gertzbein and co-authors (1990).

Results. The total number of implanted transpedicular screws sets was 96 (100% of the planned transpedicular screws set), and 48 SHN were used for transpedicular screws installation. The correct position of installed screws by degree of displacement revealed Grade 0 — 93.7% (90 screws), Grade I — 4.2% (4 screws), Grade II — 2.1% (2 screws), Grade III — 0%. The number of screws with a Grade 0 + Grade I offset was 94 (97.9%).

Conclusion. The results obtained with the use of SHN among preschool children with congenital scoliosis of thoracic and lumbar localization revealed high accuracy and correctness of transpedicular screws installation (93.7%) with the use of this type of navigation in clinical practice. The use of SHN for installing transpedicular screws in the surgical treatment of congenital spinal deformities in young patients allows for the selection of the optimal size and correct position of the transpedicular support elements in the vertebrae to be instrumented.

Keywords: congenital scoliosis; semi vertebra; transpedicular fixation; guide pattern; 3D prototyping; children.

Подход к хирургическому лечению детей с врожденными сколиозами на фоне нарушения формирования позвонков, обеспечивающий эффективную коррекцию деформации и фиксацию небольшого количества сегментов позвоночника, в настоящее время базируется на принципах радикальной коррекции искривления позвоночного столба, достигаемой за счет удаления полупозвонка, фиксации локальной металлоконструкцией в раннем возрасте [1, 2]. Хирургическое вмешательство при врожденных сколиозах, выполненное у детей старшего возраста, не позволяет достичь радикальной коррекции деформации и приводит к увеличению протяженности инструментального спондилодеза [3]. Использование в качестве опорных элементов транспедикулярных винтов (ТВ) с позиции биомеханики предпочтительнее по сравнению с ламинарной фиксацией, так как данный вид фиксации оказывает корригирующее воздействие на все три колонны позвоночного столба [4]. Однако применение ТВ связано с риском различных осложнений (мальпозиция винтов, повреждение твердой мозговой оболочки, спинного мозга и крупных сосудов), что обусловлено структуральными изменениями позвонков на фоне сколиотического процесса, пороков развития позвоночного столба, а также малыми размерами корней дуг позвонков у детей младшего возраста [5–7]. По этой причине вопрос обеспечения безопасной и корректной установки

ТВ является актуальным при хирургическом лечении пациентов с врожденным сколиозом. Профилактика данных осложнений значительно повышает качество медицинской помощи, оказываемой пациентам детского возраста [8].

Наилучший метод для контролирования корректной установки ТВ в настоящее время не определен. Для решения данной задачи используют различные навигационные методики: флюороскопию, компьютерно-томографическую навигацию, робот-ассистированную хирургию [9, 10]. Одним из навигационных методов, показавшим достаточно высокую точность и корректность положения ТВ, установленных в костные структуры позвонков в различных его анатомических отделах, является использование шаблонов-направителей (ШН) для установки ТВ при различных заболеваниях и деформациях позвоночного столба (травма позвоночника, дегенеративно-дистрофические и воспалительные заболевания, патология краниовертебральной области, идиопатический сколиоз и др.) [11–14]. Данная технология получила достаточно широкое распространение прежде всего при транспедикулярной фиксации шейного отдела позвоночника у взрослых пациентов [15–19]. В то же время публикации, в которых представлен анализ использования ШН у детей, в основном посвящены вопросам хирургического лечения пациентов школьного возраста, приближающихся по своим анатомо-антропометрическим

характеристикам костных структур позвоночника ко взрослым. Исследования по применению ШН у детей с врожденными деформациями позвоночника носят единичный характер и, как правило, включают детей школьного возраста [20, 21]. Работы, в которых проанализирована эффективность применения ШН при врожденных сколиозах у детей младшего и дошкольного возраста, относятся к категории *in vitro* [22].

Таким образом, при анализе отечественной и зарубежной литературы нами не найдено работ, посвященных вопросам использования ШН для установки ТВ при врожденных сколиозах грудной и поясничной локализации на фоне нарушения формирования позвонков у детей дошкольного возраста.

Цель — оценка корректности положения ТВ, установленных в тела позвонков у детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации при помощи шаблонов-направителей.

Материалы и методы

Работа основана на проспективном анализе результатов обследования и хирургического лечения 30 пациентов (12 пациентов мужского пола и 18 — женского) в возрасте от 1 года 8 мес. до 6 лет 5 мес. (средний возраст — 3 года 4 мес.) с врожденным сколиозом на фоне нарушения формирования позвонков (заднебоковые полупозвонки грудного и поясничного отделов позвоночника). Все дети проходили обследование и хирургическое лечение в период с 2018 по 2019 г.

Работа состояла из двух этапов: первый — выбор оптимального дизайна ШН для установки ТВ на основе предварительной оценки надежности его «сцепления» на пластиковой модели позвоночника и затем непосредственно в ходе хирургического вмешательства (10 пациентов), второй — оценка корректности положения имплантированных ТВ при помощи ШН (20 пациентов).

Стандартное обследование в предоперационном и послеоперационном периоде включало мультиспиральную компьютерную томографию (МСКТ) грудного и поясничного отделов позвоночника. Всем детям выполняли экстирпацию полупозвонка со смежными межпозвонковыми дисками, коррекцию врожденной деформации позвоночника многоопорной транспедикулярной системой, передний корпородез и задний спондилодез аутокостью для создания костного блока между смежными с зоной удаленного полупозвонка интактными позвонками.

Перед хирургическим вмешательством на основании данных предоперационного МСКТ-исследования позвоночника, импортированных в программу-планировщик PME Planner (Polygon Medical Engineering, polygonmed.ru), планировали виртуальные винты и ШН. С помощью 3D-модели позвоночника определяли типоразмер и оптимальное положение имплантируемых ТВ в позвонки. Корректировали взаиморасположение ТВ с учетом возрастных анатомо-морфологических особенностей позвонков. Затем при помощи инструмента «кисть» на дорсальной поверхности костных структур позвонка задавали необходимые границы ШН (рис. 1). Созданные 3D-модели ШН печатали на 3D-принтере Formlabs Form 2 (SLA технология).

Этап интраоперационной работы с ШН. Выполняли скелетирование дорсальных костных структур позвоночника в зоне предполагаемой имплантации металлоконструкции. Затем ШН устанавливали на дорсальную поверхность позвонка, сверлом формировали в заданном направлении каналы, проходящие через корень дуги в тело позвонка. С помощью зонда проверяли целостность стенок костного канала в позвонке. После формирования всех необходимых каналов устанавливали в тела позвонков рентген-метки и осуществляли рентген-контроль. В каналы проводили транспедикулярные опорные элементы (рис. 2).

На основании МСКТ-исследования позвоночника, выполненного в послеоперационном периоде, оценивали корректность положения установленных транспедикулярных винтов корригирующей многоопорной металлоконструкции.

Корректность положения ТВ оценивали по шкале, предложенной S.D. Gertzbein et al., где Grade 0 (full correct) — ТВ полностью находится в корне дуги, Grade I — смещение ТВ относительно кортикального слоя корня дуги до 2 мм, Grade II — смещение в пределах от 2 до 4 мм, Grade III — более 4 мм [23]. Для определения пространственного вида мальпозиции ТВ использовали схему SLIM + V: S (superior) — верхняя (краниальная) стенка корня дуги, L (lateral) — латеральная (наружная) стенка корня дуги, I (inferior) — нижняя (каудальная) стенка корня дуги, M (medial) — медиальная (внутренняя) стенка корня дуги, V (vertebral body) — переднебоковая поверхность тела позвонка [24].

Статистический анализ проводили в программе Statistica 10 (StartSoftInk, США). Статистическую значимость различий при использовании ШН в зависимости от варианта дизайна определяли с помощью точного теста Фишера (*F*-критерий).

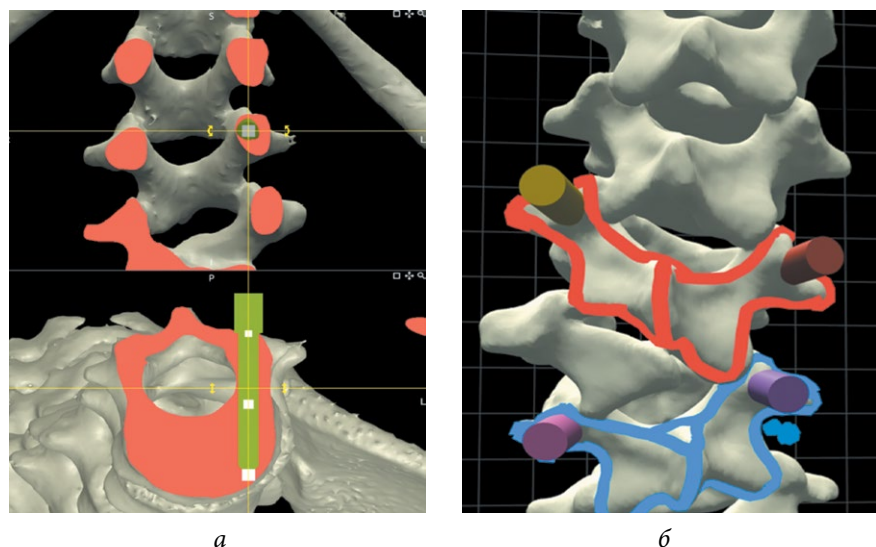


Рис. 1. Планирование виртуальных винтов и шаблонов-направителей в программной среде PVE Planner: *а* — выбор типоразмера транспедикулярного винта; *б* — создание границ шаблона-направителя

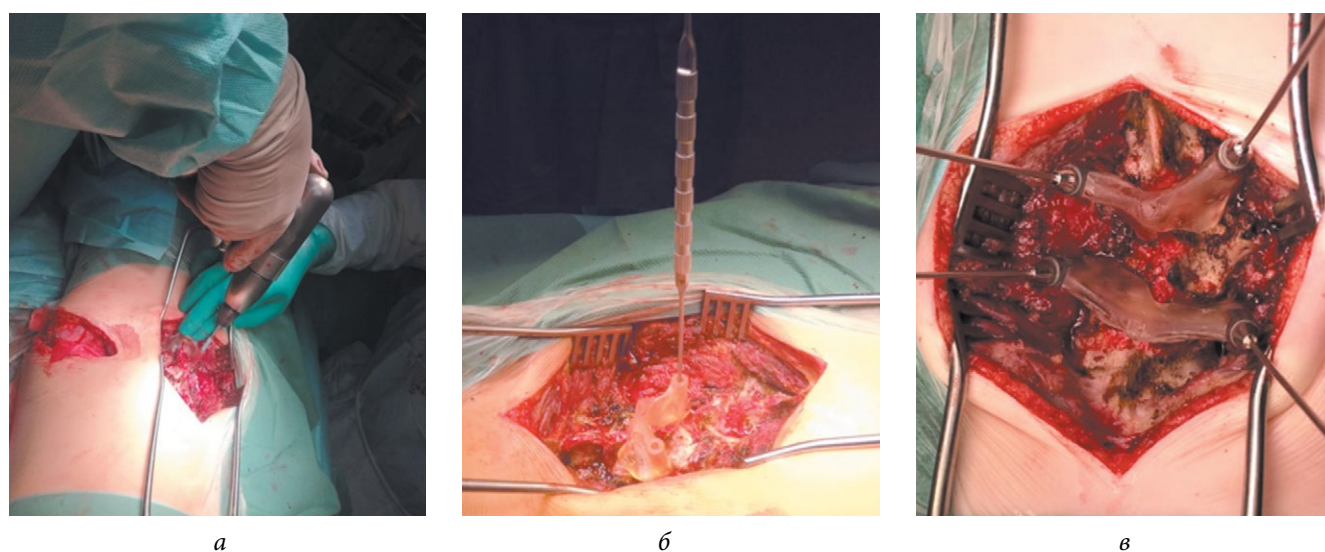


Рис. 2. Этапы интраоперационной работы: *а* — установка шаблона-направителя на дорсальные костные структуры позвонка и формирование дрелью канала для транспедикулярного винта; *б* — верификация зондом целостности стенок сформированного костного канала в позвонке; *в* — установка рентген-меток в тела позвонков для выполнения рентген-контроля

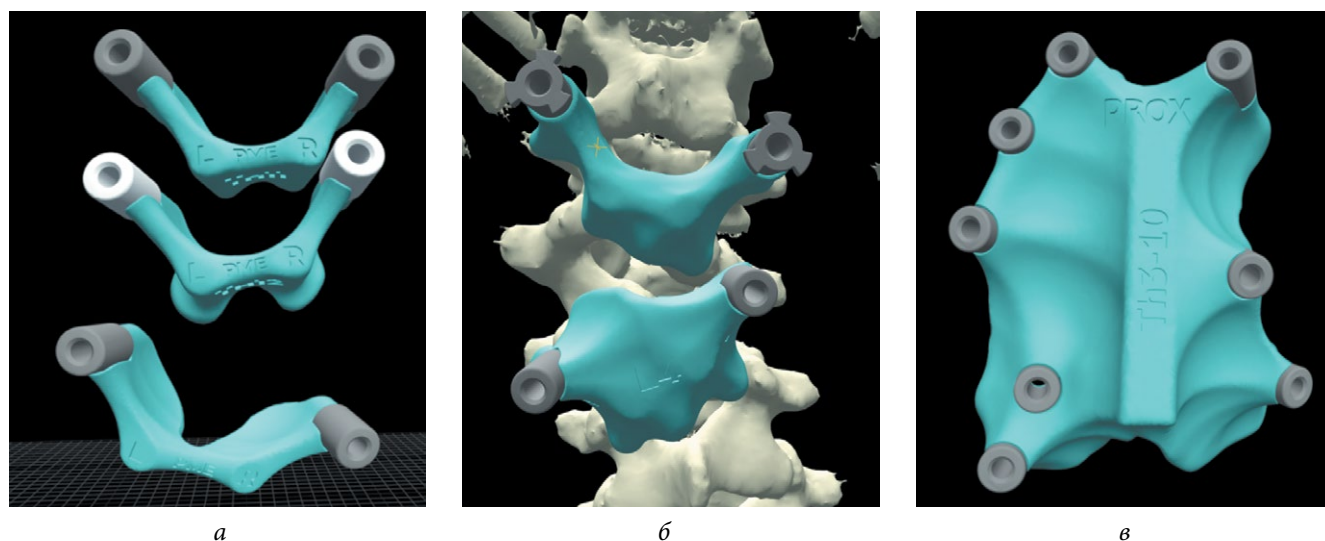


Рис. 3. Варианты дизайна шаблона-направителя: *а* — моноsegmentарный с ограниченной площадью контакта (1-й вариант); *б* — моноsegmentарный с площадью контакта, включающей грани остистого отростка, дугу и поперечные отростки позвонка (2-й вариант); *в* — полиsegmentарный, включающий в площадь контакта два позвонка и более (3-й вариант)

Результаты

На этапе отработки оптимального дизайна ШН для установки ТВ детям дошкольного возраста с врожденным сколиозом было апробировано три основных варианта: 1-й — моноsegmentарный ШН с ограниченной площадью контакта; 2-й — моноsegmentарный ШН с площадью контакта, включающей грани остистого отростка, дугу и поперечные отростки позвонка; 3-й — полиsegmentарный ШН, захватывающий в площадь контакта два позвонка и более (рис. 3).

Все варианты ШН перед хирургическим вмешательством тестировали на пластиковых 3D-прототипах позвоночника пациентов с врожденным сколиозом для оценки качества «сцепления» ШН с дорсальной поверхностью пластиковой модели. Однако даже при условии их хорошего «сцепления» на пластиковой модели позвоночника в ходе оперативного вмешательства у пациента отмечались смещения ШН, приводящие к отклонению запланированной траектории ТВ. В таких случаях для имплантации ТВ использовали стандартный метод «свободной руки» или ламинарные опорные элементы.

Так, при использовании полиsegmentарного ШН ввиду его массивности приходилось

проводить достаточно широкое скелетирование позвоночника в зоне имплантации винтов. Данный шаблон полностью перекрывал костные структуры позвоночника, что приводило к потере визуального контроля точки введения винта в процессе формирования костного канала дрелью. Моноsegmentарный ШН с ограниченной площадью контакта позволял осуществлять визуализацию и контроль локализации точки введения винта по отношению к анатомическим структурам дорсальной поверхности позвонка, но не обеспечивал достаточно плотного контакта и жесткости «сцепления» с позвонком, что приводило к смещению ШН в процессе формирования костного канала дрелью и, как следствие, к отклонению траектории ТВ. Наиболее надежным в ходе хирургического вмешательства показал себя 2-й вариант моноsegmentарного ШН (табл. 1).

Результаты использования шаблона-направителя, оценки корректности положения ТВ и видов их мальпозиции относительно костных структур инструментированных позвонков представлены в табл. 2 и 3.

Из 48 напечатанных ШН (моноsegmentарный, 2-й вариант) в ходе хирургического вмешательства успешно использованы все шаблоны. Всего в ходе

Таблица 1

Оценка надежности «сцепления» шаблона-направителя в зависимости от дизайна

Дизайн ШН	Количество ШН	«Сцепление» ШН на пластиковой модели позвоночника		«Сцепление» ШН в ходе хирургического вмешательства у пациента		Критерий Фишера
		У	Н	У	Н	
1-й вариант	10	10	0	5	5	$F = 0,021$ (для 1-го и 2-го вариантов ШН)
2-й вариант	10	10	0	10*	0	—
3-й вариант	5	5	0	2	3	$F = 0,033$ (для 2-го и 3-го вариантов ШН)

Примечание. ШН — шаблон-направитель; У — удовлетворительное; Н — неудовлетворительное; * — статистически достоверная разница.

Таблица 2

Использование шаблона-направителя и корректность положения транспедикулярных винтов

Показатели	Запланировано	Выполнено
Шаблон-направитель (2-й вариант)	48	48 (100 %)
Общее количество транспедикулярных опорных элементов	96	96 (100 %)
Корректное положение винтов (Grade 0)	93,7 % (90 винтов)	
Некорректное положение винтов, всего	6,3 % (6 винтов)	
Grade I	4,2 % (4 винта)	
Grade II	2,1 % (2 винта)	
Grade III	—	
Grade 0 + Grade I	97,9 % (94 винта)	

Виды мальпозиции транспедикулярных винтов

UO	Vert.	Th									L						
		5	6	7	8	9	10	11	12	13	1	2	3	4			
1	R	L ₁	HV	0	-									-			
	L	0		0													
2	R	-		0	HV	0	-						-				
	L			M ₁		0											
3	R	-				0	L ₂	HV	0	-							
	L					0	0		0								
4	R	-					0	0	N	HV	L ₂	-					
	L						0	0	N		M ₁						
5	R	-						0	N	0	HV	0	-				
	L							0	N	0		V ₁	-				

Примечание. UO — наблюдение; Vert. — позвонок; Th — грудной отдел; L — поясничный отдел; R — винты, установленные справа; L — винты, установленные слева; HV — полупозвонок; N — позвонок под указанным порядковым номером отсутствует; «-» — позвонки, не включенные в зону инструментального спондилодеза; SLIM + V: S — верхняя, L — латеральная, I — нижняя и M — медиальная стенки корня дуги, V — тело позвонка (0, 1, 2, 3 — мальпозиция винта по степени смещения), Th₁₃ — сверхкомплектный полупозвонок.

предоперационного планирования в программе было предусмотрено 96 виртуальных винтов. Общее количество ТВ, установленных при помощи ШН, составило 96. Таким образом, соответствие между предполагаемой компоновкой транспедикулярной металлоконструкции и осуществленной составило 100 %. Корректное положение ТВ относительно костных структур инструментированных позвонков в целом отмечено в 93,7 % наблюдений (90 винтов), некорректное положение винтов при анализе данных МСКТ-сканирования позвоночника зарегистрировано в 6,3 % наблюдений, что составило 6 винтов. По степени смещения из 6 установленных винтов 4 (4,2 %) оценены как Grade I, 2 винта (2,1 %) — как Grade II. Смещений

степени Grade III не выявлено. По виду смещения в трех случаях отмечен тип L, в двух — тип M, в одном случае — тип V. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 97,9 % (94 винта). Каких-либо неврологических нарушений и дестабилизации металлоконструкции в послеоперационном периоде и в дальнейшем не наблюдалось (рис. 4).

Обсуждение

Необходимо отметить, что в литературе, посвященной применению ШН, представлен анализ двух основных аспектов: оценка корректности установки ТВ и оптимальный дизайн ШН. Так,

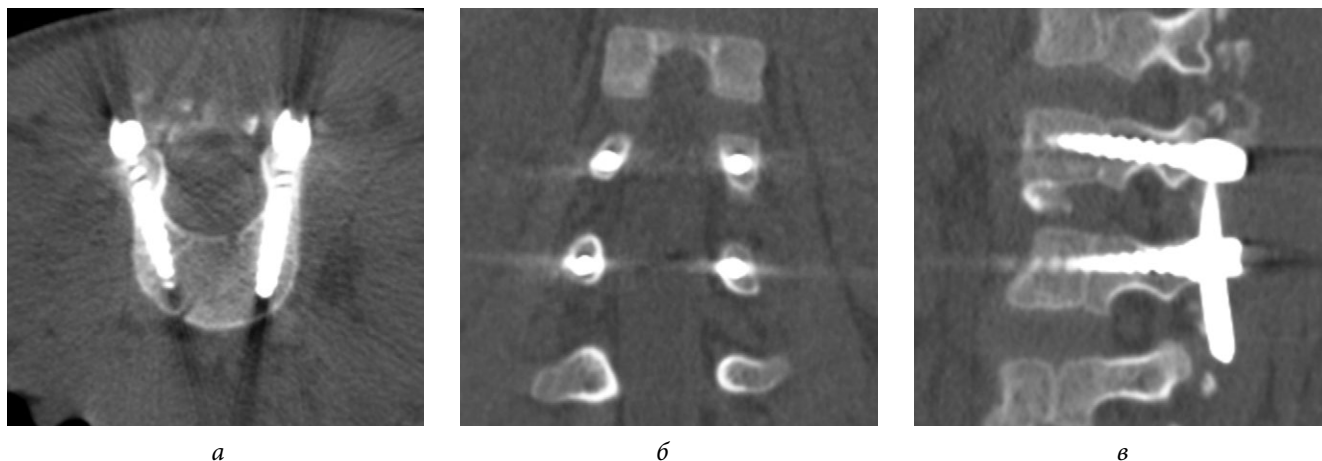


Рис. 4. Мультиспиральная компьютерная томограмма позвоночника пациента с врожденным сколиозом после экстирпации заднебокового полупозвонка L₂ с установленными транспедикулярными винтами при помощи шаблона-направителя, положение винтов полностью корректное: *а* — срез в аксиальной плоскости; *б* — срез в коронарной плоскости; *в* — срез в сагиттальной плоскости

в систематическом обзоре, включающем данные 13 исследований (466 пациентов, 1700 ТВ установлены при помощи ШН, 1675 — методом «свободной руки»), показано положительное влияние ШН на повышение точности и корректность установки ТВ [25].

Использование ШН различного дизайна также достаточно широко отражено в публикациях. Авторы приводят различные варианты компоновки и конструктивных особенностей ШН с целью доказать эффективность предлагаемого ШН — надежность «сцепления» с поверхностью позвонка и точность установки ТВ. Так, в исследовании, проведенном на трех кадавер-препаратах, была выполнена установка 60 ТВ в позвонки C₂-Th₄ с помощью ШН различного дизайна (односторонние, двусторонние матрицы и двусторонние с опорой на остистый отросток). Исходя из полученных данных, авторы рекомендуют использовать для установки ТВ в шейном и грудном отделах позвоночника билатеральный ШН с опорой на остистый отросток [26]. В то же время в другой работе исследователи предпочитают устанавливать ТВ в грудном отделе позвоночника при помощи моностороннего ШН «крючкового» типа без опоры на остистый отросток позвонка [27]. В работе, посвященной использованию ШН у детей старшего возраста (10–17 лет) с врожденными деформациями позвоночника на фоне грудных полупозвонков, авторы использовали трехуровневые ШН и достигли полностью корректного положения ТВ в 11 (91,7 %) из 12 случаев [21].

В ходе нашего исследования выявлено, что особенностью использования ШН для установки ТВ в позвонки грудного и поясничного отделов при врожденном сколиозе у детей младшей возрастной категории является необходимость достаточно плотного контакта с остистым отростком позвонка (как с его краниальной, так и с каудальной поверхностью), а границы площади контакта ШН с поверхностью дуги и поперечных отростков инструментируемого позвонка должны точно соотноситься с окружающими данную зону анатомическими структурами.

При анализе литературных источников, посвященных применению ШН у пациентов детского возраста, были получены следующие данные (табл. 4).

Всего с использованием ШН прооперировано 107 пациентов в возрасте от 5 до 25 лет (средний возраст — 16,5 года). Распределение по нозологии было следующим: 91 пациент — с идиопатическим сколиозом, 13 — с врожденным сколиозом, 2 пациента — с синдромом Марфана,

1 — с нейромышечным сколиозом. Всего при помощи ШН установлено 1120 ТВ [14, 21, 28–31].

В двух исследованиях проведен сравнительный анализ корректности установки ТВ при помощи ШН (444 винта) и методом «свободной руки» (416 винтов). Корректность установки ТВ при использовании ШН составила 98,4–93,8 %, для метода «свободной руки» — 75–78,8 % [30, 31]. В трех исследованиях авторы перед применением ШН в ходе хирургического вмешательства отработывали операцию на пластиковых моделях позвоночника [14, 21, 28], в одной работе с этой целью использована гипсовая модель позвоночника [29], в двух — ШН применяли сразу во время операции [30, 31]. В целом корректность положения (Grade 0) ТВ в позвонках, по данным авторов, составила от 84,2 до 98,4 % (среднее значение — 91,8 %) [14, 21, 28–31].

Полученные нами результаты использования ШН у детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации показали высокую точность и корректность установки ТВ (93,7 %) и согласуются с данными литературы, посвященной применению ШН *in vivo*.

Необходимо отметить, что количество установленных ТВ при помощи ШН полностью соответствовало количеству виртуальных ТВ, запланированных в программе. Это достаточно важно, так как при стандартной методике установки ТВ методом «свободной руки» в ряде случаев затруднительно предугадать окончательную компоновку (протяженность инструментального спондилодеза и количество опорных элементов) спинальной металлоконструкции.

Данные проведенного нами исследования согласуются с данными работы, в которой проанализирована корректность установки ТВ в пластиковых моделях позвонков детей младшего и дошкольного возраста с врожденным кифосколиозом на фоне нарушения формирования позвонков грудно-поясничного перехода и поясничного отдела позвоночника. Корректность ТВ, установленных *in vivo* в нашем исследовании: Grade 0 — 93,7 %, корректность положения ТВ в пластиковых моделях позвонков (*in vitro*): Grade 0 — 96,3 %. В то же время при помощи метода «свободной руки» была достигнута статистически значимо меньшая степень корректности положения ТВ: Grade 0 — 80,8 % ($p = 0,011$), что вполне согласуется с вышеприведенными данными литературы [22].

Остается открытым вопрос использования ШН у детей с деформациями позвоночника на фоне множественных пороков развития позвонков — с выраженными изменениями дорсальных костных структур позвонков, в частности их

Таблица 4

Данные литературы по использованию шаблона-направителя *in vivo* у детей

Отдел позвоночника	Год	Автор	Вид исследования	Количество наблюдений, патология	Возраст, лет	Количество винтов	CorScrew, Grade, %/(абс.)				
							0	1	2	3	0 + 1
Т	2012	Lu S. et al. [28]	ПМ + <i>in vivo</i>	16: идиопатический сколиоз (14), врожденный сколиоз (2)	5–18	168	93,5 % (157)	6,5 % (11)	–	–	100 % (168)
	2016	Takemoto M. et al. [29]	ГМ + <i>in vivo</i>	36: идиопатический сколиоз (34), синдром Марфана (2)	15,0 (11–19)	420	98,4 % (408)	1,4 % (6)	0,2 % (1)	–	99,8 % (414)
	2018	Pan Y. et al. [30]	<i>In vivo</i> ШН versus FH	37: идиопатический сколиоз (деформация >90°)	16,4 (10–18)	ШН — 396	89,4 % (354)	7,3 % (29)	3,3 % (13)	–	96,7 % (383)
						FH — 312	75 % (234)	11,9 % (37)	11,5 % (36)	1,6 % (5)	86,9 % (271)
2020	Косулин А.В. и др. [21]	ПМ + <i>in vivo</i>	4: врожденный сколиоз	10–17	12	91,7 % (11)	8,3 % (1)	–	–	100 % (12)	
Т + L	2017	Liu K. et al. [31]	<i>In vivo</i> ШН versus FH	10 (деформация >70°): идиопатический сколиоз (3), врожденный сколиоз (7)	17,7 (13–23)	ШН — 48	93,8 % (45)	6,2 % (3)	–	–	100 % (48)
						FH — 104	78,8 % (82)	18,3 % (19)	2,9 % (3)	–	97,1 % (101)
	2017	Putzier M. et al. [14]	ПМ + <i>in vivo</i>	4: идиопатический сколиоз (3), нейромышечный сколиоз (1)	17 (13–25)	76	84,2 % (64)	11,8 % (9)	4 % (3)	–	96,1 % (73)

Примечание. Т — грудной отдел; Т + L — грудной и поясничные отделы позвоночника; ШН — шаблон-направитель; FH — метод «свободной руки»; ГМ — гипсовая модель позвонков; ПМ — пластиковая модель позвонков; *in vivo* — установка пациентам транспедикулярных винтов при помощи шаблона-направителя; ШН versus FH — сравнительный анализ корректности положения транспедикулярных винтов, установленных при помощи шаблона-направителя и метода «свободной руки»; CorScrew — корректность положения винтов.

дефектов в виде гипоплазии, слияния отростков позвонков или *spina bifida posterior*.

Очевидно для решения данных вопросов необходимо проведение предварительного прототипирования позвоночника с апробацией и подбором оптимального дизайна ШН.

Заключение

Результаты применения ШН у детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации свидетельствуют о высокой точности и корректности установки ТВ (93,7 %). Установка ТВ с помощью ШН при хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника у пациентов младшего возраста

позволяет обеспечить подбор оптимального типа-размера и корректность позиции транспедикулярных опорных элементов в инструментируемых позвонках. При планировании ШН необходимо учитывать возрастные анатомо-морфологические особенности дорсальных костных структур позвонков, а также взаиморасположение запланированных виртуальных ТВ.

Дополнительная информация

Источник финансирования. Работа выполнена в рамках программы Союзного государства «Разработка новых спинальных систем с использованием технологий прототипирования в хирургическом лечении детей с тяжелыми

врожденными деформациями и повреждениями позвоночника».

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

Этическая экспертиза. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации с поправками Минздрава России и одобрено этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 20-2 от 03.07.2020). Законные представители пациентов дали добровольное согласие на публикацию клинических наблюдений.

Вклад авторов

Д.Н. Кокушин — разработка концепции и дизайна исследования. Сбор и обработка материала, анализ литературных источников, хирургическое лечение пациентов. Написание всех разделов статьи.

С.В. Виссарионов, А.Г. Баиндурашвили — разработка концепции и дизайна исследования, этапное редактирование текста статьи.

А.В. Овечкина, А.В. Залетина — заключительное редактирование текста статьи, оформление рукописи.

Н.О. Хусаинов, М.С. Познович — сбор и обработка материала, анализ литературных источников, хирургическое лечение пациентов.

Все авторы внесли существенный вклад в проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией.

Литература

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., и др. Оперативное лечение врожденной деформации груднопоясничного отдела позвоночника у детей // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. – 2013. – Т. 1. – № 1. – С. 10–15. [Vissarionov SV, Kokushin DN, Belyanchikov SM, et al. Operativnoe lechenie vrozhdennoy deformatsii grudopoyasnichnogo otdela pozvonochnika u detey. *Pediatric traumatology, orthopaedics and reconstructive surgery*. 2013;1(1):10-15. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PTORS1110-15>.
2. Рябых С.О., Филатов Е.Ю., Савин Д.М. Результаты экстирпации полупозвонков комбинированным, дорсальным и педикулярным доступами: систематический обзор // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 1. – С. 14–23. [Ryabykh SO, Filatov EY, Savin DM. Results of hemivertebra excision through combined, posterior and transpedicular approaches: systematic review. *Spine surgery*. 2017;14(1):14-23. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2017.1.14-23>.
3. Михайловский М.В., Новиков В.В., Васюра А.С., Удалова И.Г. Оперативное лечение врожденных сколиозов у пациентов старше 10 лет // Хирургия позвоночника. – 2015. – Т. 12. – № 4. – С. 42–48. [Mikhaylovskiy MV, Novikov VV, Vasyura A.S, Udalovala IG. Surgical treatment of congenital scoliosis in patients over 10 years old. *Spine surgery*. 2015;12(4):42-48. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2015.4.42-48>.
4. Кулешов А.А., Лисянский И.Н., Ветрилэ М.С., и др. Сравнительное экспериментальное исследование крючковой и транспедикулярной систем фиксации, применяемых при хирургическом лечении деформаций позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. – 2012. – № 3. – С. 20–24. [Kuleshov AA, Lisyanskiy IN, Vetrile MS. Comparative experimental study of hook and pedicle fixation systems used at surgical treatment of spine deformities. *Vestnik travmatologii i ortopedii im. N.N. Priorova*. 2012;(3):20-24. (In Russ.)]
5. Shimizu T, Fujibayashi S, Takemoto M, et al. A multicenter study of reoperations within 30 days of spine surgery. *Eur Spine J*. 2016;25(3):828-835. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-4113-9>.
6. Tsai TT, Lee SH, Niu CC, et al. Unplanned revision spinal surgery within a week: a retrospective analysis of surgical causes. *BMC Musculoskelet Disord*. 2016;17:28. <https://doi.org/10.1186/s12891-016-0891-4>.
7. Виссарионов С.В. Анатомо-антропометрическое обоснование транспедикулярной фиксации у детей 1,5–5 лет // Хирургия позвоночника. – 2006. – № 3. – С. 19–23. [Vissarionov SV. Anatomic-anthropometric basis of transpedicular fixation in children of 1.5-5 years. *Spine surgery*. 2006;(3):19-23. (In Russ.)]
8. Соколова В.В. Некоторые результаты изучения мнения родителей о качестве стационарной помощи детям // Врач-аспирант. – 2017. – Т. 81. – № 2.2. – С. 286–294. [Sokolova VV. Particular results of investigation for parents satisfaction of treatment in hospital department. *Vrach-aspirant*. 2017;81(2.2):286-294. (In Russ.)]
9. Fan Y, Du J, Zhang J, et al. Comparison of accuracy of pedicle screw insertion among 4 guided technologies in spine surgery. *Med Sci Monit*. 2017;23:5960-5968. <https://doi.org/10.12659/msm.905713>.
10. Larson AN, Polly DW, Jr., Guidera KJ, et al. The accuracy of navigation and 3D image-guided placement for the placement of pedicle screws in congenital spine deformity. *J Pediatr Orthop*. 2012;32(6):e23-29. <https://doi.org/10.1097/BPO.0b013e318263a39e>.
11. Lu S, Xu YQ, Lu WW, et al. A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2009;34(26):E959-966. <https://doi.org/10.1097/BRS.0b013e3181c09985>.
12. Hu Y, Yuan ZS, Spiker WR, et al. A comparative study on the accuracy of pedicle screw placement assisted by personalized rapid prototyping template between pre- and post-operation in patients with relatively normal mid-upper thoracic spine. *Eur Spine J*.

- 2016;25(6):1706-1715. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4540-2>.
13. Lu S, Xu YQ, Zhang YZ, et al. A novel computer-assisted drill guide template for lumbar pedicle screw placement: A cadaveric and clinical study. *Int J Med Robot.* 2009;5(2):184-191. <https://doi.org/10.1002/rcs.249>.
 14. Putzier M, Strube P, Cecchinato R, et al. A new navigational tool for pedicle screw placement in patients with severe scoliosis: A pilot study to prove feasibility, accuracy, and identify operative challenges. *Clin Spine Surg.* 2017;30(4):E430-E439. <https://doi.org/10.1097/BSD.000000000000220>.
 15. 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. [Burtsev AV, Pavlova OM, Ryabykh SO, Gubin AV. Computer 3d-modeling of patient-specific navigational template for cervical screw insertion. *Spine surgery.* 2018;15(2):33-38. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2018.2.33-38>.
 16. Коваленко Р.А., Руденко В.В., Кашин В.А., и др. Применение индивидуальных 3D-навигационных матриц для транспедикулярной фиксации субаксиальных шейных и верхнегрудных позвонков // Хирургия позвоночника. – 2019. – Т. 16. – № 2. – С. 35–41. [Kovalenko RA, Rudenko VV, Kashin VA, et al. Application of patient-specific 3D navigation templates for pedicle screw fixation of subaxial and upper thoracic vertebrae. *Spine surgery.* 2019;16(2):35-41. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2019.2.35-41>.
 17. Jiang L, Dong L, Tan M, et al. A modified personalized image-based drill guide template for atlantoaxial pedicle screw placement: A clinical study. *Med Sci Monit.* 2017;23:1325-1333. <https://doi.org/10.12659/msm.900066>.
 18. 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 (Phila Pa 1976).* 2017;42(6):E340-E346. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000001807>.
 19. Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M. Safe and accurate midcervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system. *Spine (Phila Pa 1976).* 2015;40(6):E341-348. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000000772>.
 20. Косулин А.В., Елякин Д.В., Лебедева К.Д., и др. Применение навигационного шаблона для прохождения ножки позвонка при транспедикулярной фиксации // Педиатр. – 2019. – Т. 10. – № 3. – С. 45–50. [Kosulin AV, Elyakin DV, Lebedeva KD, et al. Navigation template for vertebral pedicle passage in transpedicular screw fixation. *Pediatrician (St. Petersburg).* 2019;10(3):45-50. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.17816/PED10345-50>.
 21. Косулин А.В., Елякин Д.В., Корниевский Л.А., и др. Применение трехуровневого навигационного шаблона при грудных полупозвонках у детей старшего возраста // Хирургия позвоночника. – 2020. – Т. 17. – № 1. – С. 54–60. [Kosulin AV, Elyakin DV, Kornievskiy LA, et al. Application of three-level navigation template in surgery for hemivertebrae in adolescents. *Spine surgery.* 2020;17(1):54-60. (In Russ.)]. <http://doi.org/10.14531/ss2020.1.54-60>.
 22. Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., и др. 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, Baindurashvili AG, et al. 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 Russ.)]. <https://doi.org/10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63>.
 23. Gertzbein SD, Robbins SE. Accuracy of pedicular screw placement *in vivo*. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(1):11-14. <https://doi.org/10.1097/00007632-199001000-00004>.
 24. Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., и др. Сравнительный анализ корректности установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. – 2017. – Т. 14. – № 4. – С. 8–17. [Kokushin DN, Belyanchikov SM, Murashko VV, et al. Comparative analysis of the accuracy of pedicle screw insertion in surgical treatment of children with idiopathic scoliosis. *Spine surgery.* 2017;14(4):8-17. (In Russ.)]. <https://doi.org/10.14531/ss2017.4.8-17>.
 25. Yu C, Ou Y, Xie C, et al. Pedicle screw placement in spinal neurosurgery using a 3D-printed drill guide template: A systematic review and meta-analysis. *J Orthop Surg Res.* 2020;15(1):1. <https://doi.org/10.1186/s13018-019-1510-5>.
 26. Коваленко Р.А., Кашин В.А., Черebilло В.Ю., и др. Определение оптимального дизайна навигационных матриц для транспедикулярной имплантации в шейном и грудном отделах позвоночника: результаты кадавер-исследования // Хирургия позвоночника. – 2019. – Т. 16. – № 4. – С. 77–83. [Kovalenko RA, Kashin VA, Cherebillo VY, et al. Determination of optimal design of navigation templates for transpedicular implantation in the cervical and thoracic spine: results of cadaveric studies. *Spine surgery.* 2019;16(4):77-83. (In Russ.)]
 27. Kim SB, Won Y, Yoo HJ, et al. Unilateral spinous process noncovering hook type patient-specific drill template for thoracic pedicle screw fixation: A pilot clinical trial and template classification. *Spine (Phila Pa 1976).* 2017;42(18):E1050-E1057. <https://doi.org/10.1097/BRS.0000000000002067>.
 28. Lu S, Zhang YZ, Wang Z, et al. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. *Med Biol Eng Comput.* 2012;50(7):751-758. <https://doi.org/10.1007/s11517-012-0900-1>.
 29. Takemoto M, Fujibayashi S, Ota E, et al. Additive-manufactured patient-specific titanium templates for

- thoracic pedicle screw placement: Novel design with reduced contact area. *Eur Spine J.* 2016;25(6):1698-1705. <https://doi.org/10.1007/s00586-015-3908-z>.
30. Pan Y, Lu GH, Kuang L, Wang B. Accuracy of thoracic pedicle screw placement in adolescent patients with severe spinal deformities: A retrospective study comparing drill guide template with free-hand technique. *Eur Spine J.* 2018;27(2):319-326. <https://doi.org/10.1007/s00586-017-5410-2>.
31. Liu K, Zhang Q, Li X, et al. 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(6):1684-1689. <https://doi.org/10.1007/s00586-016-4926-1>.

Сведения об авторах

Дмитрий Николаевич Кокушин* — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>. E-mail: partgerm@yandex.ru.

Сергей Валентинович Виссарионов — д-р мед. наук, профессор, член-корр. РАН, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.

Алексей Георгиевич Баиндурашвили — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, заслуженный врач РФ, директор ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>. E-mail: turner01@mail.ru.

Алла Владимировна Овечкина — канд. мед. наук, доцент, ученый секретарь. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-3172-0065>. E-mail: ovechkina.spb@mail.ru.

Dmitry N. Kokushin* — MD, PhD, Senior Research Associate of the Department of Pathology of the Spine and Neurosurgery. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-6112-3309>. E-mail: partgerm@yandex.ru.

Sergei V. Vissarionov — MD, PhD, D.Sc., Professor, Corresponding Member of RAS, Deputy Director for Research and Academic Affairs, Head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-4235-5048>. E-mail: vissarionovs@gmail.com.

Alexey G. Baidurashvili — MD, PhD, D.Sc., Professor, Member Of RAS, Honored Doctor of the Russian Federation, Director of H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0001-8123-6944>. E-mail: turner01@mail.ru.

Alla V. Ovechkina — MD, PhD, Associate Professor, Academic Secretary. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-3172-0065>. E-mail: ovechkina.spb@mail.ru.

Никита Олегович Хусаинов — канд. мед. наук, научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-3036-3796>. E-mail: nikita_husainov@mail.ru.

Махмуд Станиславович Познович — научный сотрудник генетической лаборатории Центра редких и наследственных заболеваний у детей. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>. E-mail: poznovich@bk.ru.

Анна Владимировна Залетина — канд. мед. наук, руководитель научно-организационного отдела, врач — травматолог-ортопед отделения № 11. ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург. <https://orcid.org/0000-0002-9838-2777>. E-mail: omoturner@mail.ru.

Nikita O. Khusainov — MD, PhD, Research Associate of the Department of Pathology of the Spine and Neurosurgery. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-3036-3796>. E-mail: nikita_husainov@mail.ru.

Mahmud S. Poznovich — MD, Research Associate of the Genetic Laboratory of the Center for Rare and Hereditary Diseases in Children. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0003-2534-9252>. E-mail: poznovich@bk.ru.

Anna V. Zaletina — MD, PhD, Head of the Scientific-Organizational Department, Orthopedic and Trauma Surgeon of the Department No. 11. H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery, Saint Petersburg, Russia. <https://orcid.org/0000-0002-9838-2777>. E-mail: omoturner@mail.ru.