

Сравнительный анализ положения транспедикулярных винтов у детей с врожденным сколиозом: метод «свободной руки» (*in vivo*) и шаблоны-направители (*in vitro*)

Д.Н. Кокушин, С.В. Виссарионов, А.Г. Баиндурашвили, А.В. Овечкина, М.С. Познович

ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Россия

Реферат

Цель исследования — сравнительная оценка корректности положения транспедикулярных винтов, установленных в тела позвонков у детей младшего и дошкольного возраста с врожденным кифосколиозом грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков методом «свободной руки» *in vivo* и в пластиковые модели позвонков при помощи шаблонов-направителей (ШН) *in vitro*. **Материал и методы.** Работа основана на ретроспективном анализе результатов лечения 10 пациентов с врожденным кифосколиозом на фоне нарушения формирования позвонков грудного и поясничного отделов позвоночника. Возраст пациентов: 2 года 2 мес. — 6 лет 8 мес. (средний возраст — 3 года 8 мес.). Распределение по полу — 6 мальчиков, 4 девочки. На основании МСКТ-исследования позвоночника, выполненного в послеоперационном периоде, осуществляли оценку корректности положения установленных транспедикулярных винтов корригирующей многоопорной металлоконструкции. Эти пациенты составили группу 1 (*in vivo*). Группа 2 (*in vitro*) сформирована из 27 пластиковых моделей позвонков с установленными в них транспедикулярными винтами при помощи шаблонов-направителей. Корректность положения установленных транспедикулярных опорных элементов оценивали на основании шкалы S.D. Gertzbein с соавторами (1990). **Результаты.** В группе 1 количество транспедикулярных винтов составило 52. Корректность положения установленных винтов по степени смещения: Grade 0 — 53,8%, Grade I — 25%, Grade II — 11,6%, Grade III — 9,6%. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 41 (78,8%). В группе 2 количество винтов составило 54. Корректность положения установленных винтов по степени смещения: Grade 0 — 94,4%, Grade I — 1,9%, Grade II — 3,7%. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 52 (96,3%). **Заключение.** Количество корректно установленных транспедикулярных винтов в пластиковые модели позвонков детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника при помощи шаблонов-направителей значимо выше количества корректно установленных винтов методом «свободной руки» (96,3% против 80,8%, $p = 0,011$). Полученные результаты применения шаблонов-направителей *in vitro* показали высокую точность и корректность установки транспедикулярных винтов, что дает перспективы использования этого вида навигации в клинической практике у детей раннего возраста с врожденным сколиозом.

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

DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63

Comparative Analysis of Pedicle Screw Placement in Children with Congenital Scoliosis: Freehand Technique (*in vivo*) and Guide Templates (*in vitro*)

D.N. Kokushin, S.V. Vissarionov, A.G. Baidurashvili, A.V. Ovechkina, M.S. Poznovich

Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

📖 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;24(3):53-63. DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63.

Cite as: Kokushin D.N., Vissarionov S.V., Baidurashvili A.G., Ovechkina A.V., Poznovich M.S. [Comparative Analysis of Pedicle Screw Placement in Children with Congenital Scoliosis: Freehand Technique (*in vivo*) and Guide Templates (*in vitro*)]. *Travmatologiya i ortopediya Rossii* [Traumatology and Orthopedics of Russia]. 2018;24(3):53-63. (In Russ.). DOI: 10.21823/2311-2905-2018-24-4-53-63.

✉ Кокушин Дмитрий Николаевич / Dmitriy N. Kokushin; e-mail: partgerm@yandex.ru

Рукопись поступила/Received: 09.08.2018. Принята в печать/Accepted for publication: 25.09.2018.

Abstract

Objective. To evaluate accuracy between pedicle screw placement in vertebral bodies achieved in vivo with freehand techniques versus their placement in vertebrae plastic models achieved in vitro with the use of guide templates, in toddlers and preschool children with congenital kyphoscoliosis of the thoracolumbar transition and lumbar spine amid the vertebral malformation. **Material and Methods.** The research is based on a retrospective analysis of the results of treatment of 10 patients with congenital kyphoscoliosis of the thoracolumbar transition and lumbar spine amid the vertebral malformation. Age – from 2 years 2 months to 6 years 8 months old (mean 3 years 8 months old), gender – 6 boys, 4 girls. Based on the postoperative multi-slice spiral computed tomography (MSCT) of the spine, the pedicle screws placement accuracy of the correcting multi-support metalwork was evaluated. These patients constituted the 1st research group (in vivo group). The 2nd research group (in vitro group) was formed from 27 vertebrae plastic models with pedicle screws inserted in them with the use of guide templates. The placement accuracy of the installed pedicle support elements was assessed based on the S.D. Gertzbein et al. scale (1990). **Results.** In the 1st group, there were 52 pedicle screws placed. The screw placement accuracy according to the rate of misplacement, as follows: 53.8% in Grade 0, 25% in Grade I, 11.6% in Grade II, 9.6% in Grade III. The number of screws with the rate of misplacement in Grade 0 + Grade I was 41 (78.8%). In the 2nd group, there were 54 screws placed and slightly larger than the 1st group. The screw placement accuracy according to the rate of misplacement was 94.4% in Grade 0, 1.9% in Grade I, 3.7% in Grade II, respectively. The number of screws with the rate of misplacement in Grade 0 + Grade I was 52 (96.3%). **Conclusions.** Comparative analysis showed that the number of pedicle screws successfully placed in vertebrae plastic models in children with congenital deformities of the thoracolumbar transition and lumbar spine achieved with the use of guide templates was significantly higher than the number of screws successfully placed with freehand techniques (96.3% versus 80.8%, $p = 0.011$). The results obtained with method of navigation templates in vitro showed high precision and accuracy of pedicle screw placement which gives the prospect for using this type of navigation in clinical practice in toddlers with congenital scoliosis.

Keywords: congenital scoliosis, hemivertebra, transpedicular fixation, guide templates, 3D-printing of prototypes, children.

Competing interests: the authors declare that they have no competing interests.

Funding: this study was carried out within the framework of the Union State program «Development of new spinal systems using prototyping technologies in the surgical treatment of children with severe congenital deformities and spine injuries».

Publishing ethics: legal representatives of children given the informed consent to clinical cases publication.

Введение

При хирургической коррекции врожденных деформаций позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков у детей наибольшее распространение получила экстирпация полупозвонка с последующим радикальным исправлением искривления и фиксацией позвоночника локальной металлоконструкцией в раннем возрасте [1–5]. Хирургические вмешательства при врожденных сколиозах у детей старшего возраста не позволяют получить радикальную коррекцию деформации [6]. Метод транспедикулярной фиксации, по сравнению с ламинарной, с позиций биомеханики обладает преимуществами, однако несет риск мальпозиции винтов, обусловленный структуральными изменениями позвонков на фоне сколиотического процесса и пороков развития позвоночного столба [7]. В связи с этим при хирургическом лечении пациентов с врожденным сколиозом важно обеспечить корректную установку транспедикулярных опорных элементов.

Самым распространенным методом установки транспедикулярных винтов (ТВ) в хирургии позвоночника в целом и у пациентов детского возраста с врожденными деформациями в частности является метод «свободной руки» с последующим флюо-

роскопическим контролем корректности положения опорных элементов в телах позвонков [8]. В зарубежной литературе имеются единичные сообщения, в которых проводится анализ корректности положения ТВ, установленных детям с врожденными деформациями позвоночника при помощи интраоперационного компьютерного томографа (O-arm) и системы активной оптической навигации [9].

В последнее время все большее распространение получает 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.). Данные этих публикаций показывают достаточно высокую точность и корректность положения ТВ, установленных в костные структуры позвонков в различных анатомических отделах [10–13].

Однако при анализе отечественной и зарубежной литературы мы не нашли публикаций, посвященных вопросам использования ШН для установки ТВ при врожденных сколиозах у детей младшего и дошкольного возраста.

Цель исследования — сравнительная оценка корректности положения транспедикулярных

винтов, установленных в тела позвонков у детей младшего и дошкольного возраста с врожденным кифосколиозом грудного и поясничного отделов позвоночника на фоне нарушения формирования позвонков методом «свободной руки» *in vivo* и в пластиковые модели позвонков при помощи шаблонов-направителей (ШН) *in vitro*.

Материал и методы

Работа основана на ретроспективном анализе результатов обследования и хирургического лечения рандомизированной когорты, состоящей из 10 пациентов (6 пациентов мужского пола и 4 — женского пола) в возрасте от 2 лет 2 мес. до 6 лет 8 мес. (средний возраст — 3 года 8 мес.) с врожденным кифосколиозом на фоне нарушения формирования позвонков (заднебоковые полупозвонки грудного и поясничного отделов позвоночника). Все дети прошли обследование и хирургическое лечение в период с 2016 по 2017 г.

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

Для 3D-моделирования использовали предоперационное МСКТ-исследование позвоночника и ПО компьютерного планирования хирургического вмешательства PME Planner (Polygon Medical Engineering), предназначенное для исследования анатомических изображений области имплантации в формате 3D, позволяющее определить размеры и оптимальное положение имплантируемых ТВ в позвонки, входящие в зону инструментализации. Создание 3D-моделей ШН выполнялось с учетом запланированных виртуальных винтов в заданном положении и особенностей дорсальных костных структур исследуемых позвонков (рис. 1).

Затем на 3D-принтере Formlabs Form 2 (технология SLA) осуществляли печать ШН для установки ТВ в позвонки (рис. 2).

Для прототипирования позвонков, входящих в зону инструментализации, использовали 3D-принтер PICASO DESINGER PRO250 (печать FDM). Затем ШН устанавливали на дорсальную поверхность напечатанной пластиковой модели позвонка, сверлом диаметром 2,5 мм формировали в заданном направлении каналы, проходящие

через корень дуги в тело позвонка. В сформированные каналы проводили стандартные транспедикулярные опорные элементы диаметром 3,5 мм, после этого проводили визуальную оценку корректности положения ТВ (рис. 3).

Десяти пациентам, составившим группу 1 (*in vivo*), на основании МСКТ-исследования позвоночника, выполненного в послеоперационном периоде, осуществляли оценку корректности положения установленных транспедикулярных винтов корригирующей многоопорной металлоконструкции.

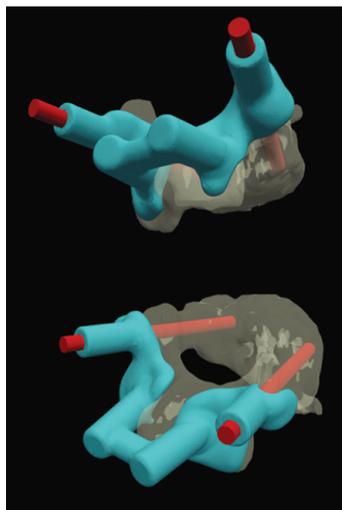


Рис. 1. Планирование виртуальных винтов и шаблонов-направителей в программе PME Planner

Fig. 1. Virtual screws and navigation templates planning within the PME Planner software environment



Рис. 2. Шаблоны-направители для установки транспедикулярных винтов в пластиковые модели позвонков

Fig. 2. Navigation templates for pedicle screws placement in vertebrae plastic models



Рис. 3. Пластиковая модель позвонка с установленными при помощи шаблона-направителя транспедикулярными винтами

Fig. 3. Vertebra plastic model with pedicle screws placed with the use of navigation templates

Группа 2 (*in vitro*) была сформирована из 27 пластиковых моделей позвонков с установленными в них ТВ при помощи ШН. В этой группе для оценки корректности положения опорных элементов также проводили МСКТ-сканирование.

Корректность положения установленных транспедикулярных опорных элементов оценивали на основании шкалы, предложенной S.D. Gertzbein с соавторами, где:

– Grade 0 (full correct) — транспедикулярный винт полностью находится в корне дуги, не контактируя с прилежащим мягкими тканями;

– Grade I — смещение транспедикулярного опорного элемента относительно кортикального слоя корня дуги до 2 мм;

– Grade II — смещение винта в пределах от 2 до 4 мм;

– Grade III — более 4 мм [14].

Для проведения сравнительного анализа корректности положения ТВ, установленных в позвонки *in vivo* при помощи метода «свободной руки» и в пластиковые модели позвонков *in vitro* при помощи ШН, использовали схему SLIM+V. Первая часть аббревиатуры обозначает положение винта относительно внешних стенок корня дуги: 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. Вторая часть аббревиатуры V (vertebral body) оценивает положение транспедикулярного винта по отношению к переднебоковой поверхности тела позвонка [15].

Статистический анализ

Статистический анализ проводился в программе STATISTICA 10. Проверка нормальности распределения полученных значений выполнена с помощью метода описательной статистики (гистограммный анализ), данные описывали как Me (min-max) (медиана, минимум-максимум). Для оценки уровня значимости различий применяли непараметрический критерий Манна – Уитни – Вилкоксона (результат считали статистически значимым при $p < 0,05$).

Результаты

Результаты МСКТ-исследования анатомо-антропометрических параметров позвонков грудно-поясничного и поясничного отделов позвоночника у детей с врожденными кифосколиозами на фоне нарушения формирования позвонков представлены в таблице 1.

Полученные анатомо-антропометрические данные позвонков груднопоясничного перехода и по-

ясничного отдела позвоночника детей с врожденным кифосколиозом на фоне нарушения формирования позвонков учитывались при планировании ШН для установки ТВ в пластиковые модели позвонков. Необходимо также отметить, что параметры позвонков поясничного отдела у детей с изолированными полупозвонками поясничной локализации в основном были сходными с параметрами поясничных позвонков детей младшей возрастной группой, не имевших какой-либо патологии позвоночника [16].

Данные оценки корректности положения ТВ, установленных при помощи метода «свободной руки» в группе 1, представлены в таблице 2.

Общее количество транспедикулярных опорных элементов, установленных в группе 1, составило 52 винта. Корректное положение винтов относительно костных структур инструментированных позвонков отмечено в 53,8% наблюдений (28 винтов), некорректное положение винтов выявлено в 46,2% наблюдений (24 транспедикулярных опорных элемента). Количество винтов со степенью смещения Grade I составило 25% (13 винтов), в 11,6% наблюдений (6 винтов) положение опорных элементов было определено как Grade II, Grade III — 9,6% случаев (5 винтов). По виду смещения преобладали смещения типа V — 69,2% (18 наблюдений), смещение тип L составило 23,1% (6 наблюдений), в 3,85% (по одному наблюдению) отмечены смещения тип I и M. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 78,8% (41 винт) (рис. 4).

Результаты оценки корректности положения ТВ, установленных при помощи ШН в группе 2, представлены в таблице 3.

Общее количество ТВ, установленных в группе 2, составило 54 винта. Корректное положение винтов относительно структур пластиковых моделей позвонков в целом отмечено в 94,4% наблюдений (51 винт), некорректное положение винтов при проведении анализа данных МСКТ-сканирования пластиковых моделей позвонков выявлено в 5,6% наблюдений (3 винта). По степени смещения из 3 установленных винтов 2 (3,7%) были оценены как Grade II, 1 (1,9%) винт — как Grade I. По виду смещения в одном наблюдении отмечен тип L, в двух — тип V. Количество винтов со степенью смещения Grade 0 + Grade I составило 52 (96,3%) (рис. 5).

Таким образом, при проведении сравнительного анализа установлено, что в группе 2 количество некорректно установленных ТВ при помощи ШН было значимо ниже (5,6%), чем количество мальпозиций ТВ, установленных методом «свободной руки» в группе 2 (46,2%, $p = 0,011$).

Таблица 1

Анатомо-антропометрические параметры позвонков грудопоясничного перехода и поясничного отдела позвоночника

Vert.	Справа				Слева			
	W	H	L	A	W	H	L	A
Th10	6,0 (5,7; 6,3)	10,3 (10,1; 10,5)	31,6 (29,9; 33,2)	11,5 (10,3; 12,7)	5,9 (5,7; 6,0)	9,8 (9,2; 10,4)	30,5 (30,0; 31,0)	12,9 (10,5; 15,3)
Th11	5,6 (4,5; 6,6)	10,0 (8,6; 10,9)	31,4 (29,7; 34,9)	11,6 (5,7; 17,6)	5,6 (4,0; 6,5)	9,8 (9,0; 11,4)	32,8 (31,2; 35,2)	13,2 (10,2; 16,5)
Th12	5,3 (4,9; 7,9)	9,8 (9,4; 11,0)	31,9 (30,5; 35,4)	12,1 (7,7; 18,1)	5,6 (3,7; 8,3)	10,0 (8,7; 11,4)	32,9 (30,2; 35,1)	12,3 (8,8; 15,7)
Th13	6,0 (5,7; 6,9)	10,4 (9,1; 11,4)	33,1 (30,5; 33,3)	10,7 (10,5; 11,6)	6,2 (5,8; 6,5)	9,7 (9,6; 10,1)	34,1 (32,1; 34,7)	12,7 (11,4; 15,0)
L1	5,7 (4,6; 8,9)	9,9 (7,2; 10,8)	32,7 (31,3; 36,8)	12,0 (8,2; 13,6)	5,3 (3,9; 6,1)	9,5 (7,8; 10,6)	32,6 (26,2; 36,2)	12,1 (4,6; 16,3)
L2	5,8 (4,1; 7,7)	8,7 (7,1; 11,0)	34,0 (30,0; 36,2)	11,5 (9,7; 23,0)	5,8 (4,5; 7,4)	9,2 (7,4; 10,6)	34,0 (31,8; 39,8)	16,2 (13,2; 20,2)
L3	6,5 (4,3; 7,9)	9,4 (6,8; 10,8)	33,0 (28,6; 39,5)	14,7 (11,8; 25,4)	5,7 (3,7; 7,6)	9,4 (0,1; 11,6)	33,6 (31,9; 40,4)	15,2 (11,5; 24,2)
L4	6,8 (5,4; 12,4)	9,0 (6,0; 9,7)	34,5 (28,4; 37,9)	17,0 (7,8; 26,0)	7,0 (4,1; 9,8)	9,3 (6,8; 10,3)	35,0 (32,2; 39,3)	15,8 (14,4; 23,1)
L5	9,1 (7,2; 11,9)	7,7 (6,0; 9,1)	32,8 (29,3; 35,3)	23,7 (13,5; 41,2)	7,8 (5,5; 10,4)	8,4 (7,0; 10,5)	33,7 (32,5; 37,8)	18,5 (12,2; 28,7)
L6	11,1 (9,5; 13,7)	6,9 (5,3; 10,0)	34,2 (30,3; 35,5)	31,2 (19,6; 41,5)	8,4 (7,0; 11,9)	7,4 (4,2; 7,8)	34,0 (27,2; 35,7)	29,8 (19,4; 40,7)
L7	10,3	6,9	31,1	36,0	13,3	7,1	33,4	32,1

Vert. — позвонок; W — ширина основания корня дуги; H — высота основания корня дуги; L — длина «винтового пути»; A — педикулярный угол в аксиальной плоскости. Данные в таблице представлены как Ме (min-max).

Таблица 2

Корректность положения ТВ в группе I (in vivo)

UO	Vert.	Th10	Th11	Th12	Th13	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1	Dex	-	-	V2	N	V3	HV	V3	-	-	-	-
	Sin	-	-	0	N	0		0	-	-	-	-
2	Dex	-	-	-	-	-	L2, V3	HV	V1	-	-	-
	Sin	-	-	-	-	-			0	0	-	-
3	Dex	-	-	-	-	-	0	HV	0	-	-	-
	Sin	-	-	-	-	-			0	V1	-	-
4	Dex	-	-	0	V2	HV	0	-	-	-	-	-
	Sin	-	-	V1	V1			0	-	-	-	-
5	Dex	-	-	0	N	0	HV	0	-	-	-	-
	Sin	-	-	V2	N	NS		NS	-	-	-	-
6	Dex	-	-	-	-	-	-	-	-	V3	HV	V3
	Sin	-	-	-	-	-	-	-	-	I2		0
7	Dex	-	-	-	0	0	HV	M1	-	-	-	-
	Sin	-	-	-	V2	V1		0	-	-	-	-

Окончание таблицы 2

UO	Vert.	Th10	Th11	Th12	Th13	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
8	Dex	0	0	HV	0	-	-	-	-	-	-	-
	Sin	V1	L1, V1		V1	-	-	-	-	-	-	-
9	Dex	-	-	0	0	HV	0	-	-	-	-	-
	Sin	-	-	0	0		0	-	-	-	-	-
10	Dex	-	L1	L1	N	HV	0	-	-	-	-	-
	Sin	-	L1	L1, V2	N		0	-	-	-	-	-
TScrew		2	4	10	8	5	10	5	4	2	0	2
Mal		1	3	5	5	2	1	2	2	2	0	1

UO — наблюдение; Vert. — позвонок; Dex — винты, установленные справа; Sin — винты, установленные слева; TScrew — общее количество винтов, установленных в позвонок; Mal — некорректно установленные винты в позвонок; HV — полупозвонок; N — позвонок под указанным порядковым номером отсутствует; «-» — позвонки, не включенные в зону инструментального спондилодеза; NS — винты в зоне инструментального спондилодеза не устанавливали; SLIM+V: S — верхняя, L — латеральная, I — нижняя, M — медиальная стенки корня дуги; V — тело позвонка (0, 1, 2, 3 — мальпозиция винта по степени смещения).



Рис. 4. МСКТ позвоночника пациента с врожденным кифосколиозом после экстирпации заднебокового полупозвонка L2, мальпозиция транспедикулярных винтов: позвонок Th12 — V2 (тело позвонка, Grade II), позвонок L1 и L3 — V3 (тело позвонка, Grade III)

Fig. 4. MSCT of the spine of a patient with congenital kyphoscoliosis following the posterolateral L2 hemivertebra resection, pedicle screw malposition: Th12 vertebra — V2 (vertebral body, Grade II), L1 and L3 vertebrae — V3 (vertebral body, Grade III)

Таблица 3

Корректность положения ТВ в группе 2 (in vitro)

UO	Vert.	Th10	Th11	Th12	Th13	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
1	Dex	-	-	0	N	0	HV	0	-	-	-	-
	Sin	-	-	V2	N	0		0	-	-	-	-
2	Dex	-	-	-	-	-	0	HV	0	-	-	-
	Sin	-	-	-	-	-	0		0	-	-	-
3	Dex	-	-	-	-	-	0	HV	0	-	-	-
	Sin	-	-	-	-	-	0		0	-	-	-
4	Dex	-	-	0	0	HV	0	-	-	-	-	-
	Sin	-	-	0	0		0	-	-	-	-	-
5	Dex	-	-	0	N	0	HV	0	-	-	-	-
	Sin	-	-	0	N	0**		0**	-	-	-	-
6	Dex	-	-	-	-	-	-	-	-	0	HV	0
	Sin	-	-	-	-	-	-	-	-	0		0
7	Dex	-	-	-	0	0	HV	0	-	-	-	-
	Sin	-	-	-	V2	0		0	-	-	-	-
8	Dex	0	0	HV	0	-	-	-	-	-	-	-
	Sin	0	L1		0	-	-	-	-	-	-	-

UO	Vert.	Th10	Th11	Th12	Th13	L1	L2	L3	L4	L5	L6	L7
9	Dex	–	–	0	0	HV	0	–	–	–	–	–
	Sin	–	–	0	0		0	–	–	–	–	–
10	Dex	–	0	0	N	HV	0	–	–	–	–	–
	Sin	–	0	0	N		0	–	–	–	–	–
TScrew		2	4	10	8	6**	10	6**	4	2	0	2
Mal		0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	0

UO — наблюдение; Vert. — позвонок; Dex — винты, установленные справа, Sin — винты, установленные слева; TScrew — общее количество винтов, установленных в позвонок; Mal — некорректно установленные винты в позвонок; HV — полупозвонок; N — позвонок под указанным порядковым номером отсутствует; «–» — позвонки, не включенные в зону инструментального спондилодеза; ** — винты, дополнительно установленные в группе 2. SLIM+V: S — верхняя, L — латеральная, I — нижняя, M — медиальная стенки корня дуги; V — тело позвонка (0, 1, 2, 3 — мальпозиция винта по степени смещения).

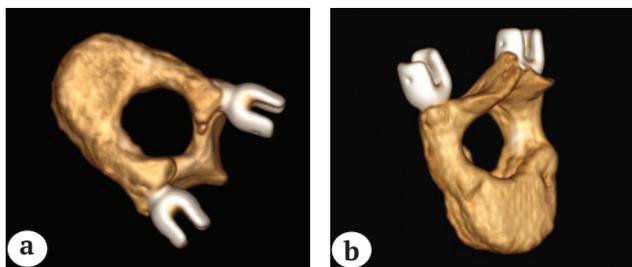


Рис. 5. 3D МСКТ пластиковой модели позвонка пациента с врожденным кифосколиозом с установленными при помощи шаблона-направителя транспедикулярными винтами, положение винтов полностью корректное: а — вид сверху; б — вид снизу

Fig. 5. 3D MSCT scan of the vertebra plastic model of a patient with congenital kyphoscoliosis with pedicle screws placed with the use of navigation templates, the position of the screws is completely successful: a — top view; b — bottom view

Обсуждение

При проведении анализа современной литературы, посвященной вопросам применения ШН для формирования каналов и установки ТВ *in vitro*, необходимо отметить, что имеются исследования, в которых авторы проводят оценку эффективности использования ШН для установки ТВ в шейном отделе [17–20], грудном [21, 22] и поясничном отделах позвоночника [23–26]. Также имеются работы, где анализируется корректность положения ТВ, установленных при помощи ШН как в грудном, так и в поясничном отделах позвоночника [18, 27, 28].

Ряд авторов проводили кадаверные исследования, заключающиеся в МСКТ-сканировании препаратов позвонков и компьютерной обработке полученных данных с последующей 3D-печатью ШН и их апробацией на кадаврах [17–19, 22–24, 27]. Имеются также исследования, где установка ТВ при помощи ШН осуществлялась в пластиковые модели позвонков, полученные при МСКТ-исследовании пациентов с интактным позвоночником [25]. В ряде работ авторами сначала создавалась пластиковая модель позвонков на основе данных, полученных при МСКТ-сканировании кадаверных препаратов позвоночника, отработывалась методика и дизайн ШН, а затем выполнялась установка ТВ в позвонки исследуемых объектов [20, 21].

В целом, по данным проведенных исследований, при помощи ШН *in vitro* было установлено от 4 до 240 винтов (всего — 646 винтов) [17–28].

Корректность положения ТВ по степени смещения, по данным литературы, составила: Grade 0 от 58,3% до 97,6%, Grade I — от 2,4% до 39,5%, Grade II — 8,7%, со степенью смещения Grade 0 + Grade I — от 91,3% до 100%. Мальпозиций винтов со степенью смещения Grade III не отмечено [17, 21, 27, 28]. В работах, где авторами анализ мальпозиций ТВ по степени смещения не проводился, корректное положение винтов составило от 71,7 до 100% (среднее — 96%) [18–20, 22–26].

В ряде исследований авторы проводили сравнительный анализ корректности положения ТВ, установленных методом «свободной руки» и при помощи ШН. Корректное положение ТВ, проведенных при навигации ШН, составило от 97,9 до 100%, методом «свободной руки» — от 81,3 до 89,2% ($p < 0,05$) [21, 26, 28].

Материалом большей части исследований послужили препараты позвонков кадавров старше 18 лет [17–25, 27, 28]. Мы обнаружили только одно кадаверное исследование, анализирующее использование ШН в поясничном отделе позвоночника у детей в возрасте от 6 до 13 лет. Авторы изготовили 10 ШН, при помощи которых установили

20 винтов в поясничный отдел позвоночника; мальпозиций ТВ не выявлено [26].

При анализе работ, посвященных вопросам применения ШН для проведения ТВ в позвонки *in vivo*, мы отметили, что большое количество публикаций затрагивает проблематику использования винтовой фиксации в шейном отделе позвоночника [10, 29–36]. Такое акцентирование внимания на этот отдел позвоночника обусловлено его анатомическими особенностями (малые размеры корней дуг, близость позвоночных артерий), требующими высокой точности и корректности установки винтовых опорных элементов. Ряд исследователей анализировали применение ШН в шейном отделе позвоночника в целом, включая как атлanto-аксиальный сегмент, так и субаксиальный отдел [10, 29, 30]. Другие авторы разрабатывали эту технологию для установки винтов с различными способами фиксации только в атлanto-аксиальном сегменте шейного отдела позвоночника [31–35]. Существуют публикации, отражающие аспекты использования ШН в субаксиальном сегменте шейного отдела позвоночника [36].

Имеются также исследования, посвященные вопросам использования ШН для установки ТВ в грудном [11, 37–40] и поясничном отделах позвоночника [12, 41, 42]. Рядом авторов опубликованы работы, где анализируется корректность положения ТВ, установленных при помощи ШН как в грудном, так и в поясничном отделах позвоночника [13, 43].

В большей части публикаций дизайн исследования заключался в предварительной отработке конструктивных особенностей формы ШН и установке ТВ в пластиковые модели позвонков, полученных путем прототипирования на основании данных МСКТ позвоночника пациентов, с оценкой корректности положения винтов в прототипированных сегментах позвоночного столба. Затем, вторым этапом, в ходе хирургического вмешательства винтовые опорные элементы устанавливали при помощи ШН *in vivo* и проводили анализ корректности их положения относительно костных структур позвонков [10, 11, 13, 29, 30, 32, 33, 35–38, 42]. В некоторых исследованиях вместо пластиковых моделей позвоночника использовали прототипы, напечатанные из гипса [39]. Рядом авторов отработка технологии установки и конструктивных особенностей ШН перед проведением хирургического вмешательства осуществлялась путем кадаверных исследований [12, 31]. Некоторые авторы осуществляли установку ТВ при помощи ШН непосредственно *in vivo*, в ходе хирургического вмешательства, не проводя предварительный этап прототипирования оперируемого сегмента позвоночника [34, 40, 41, 43].

В целом, по данным литературы, в проведенных исследованиях *in vivo* при помощи ШН было

установлено от 6 до 582 винтов (всего — 2323 винта) [10–13, 29–43].

При анализе распределения корректности положения ТВ по степени смещения были получены следующие результаты: положение ТВ, описываемое как Grade 0, составило от 80,7% до 98,4% (среднее — 92,2%), Grade I — от 1,4% до 15,9% (среднее — 6,8%), Grade II — от 0,2% до 4,0% (среднее — 2,7%), Grade 0 + Grade I — от 96,1% до 100% (среднее — 98,8%). Мальпозиций винтов со степенью смещения Grade III не отмечено [10, 13, 29, 34, 36, 37, 39–41, 43]. В тех работах, где авторы проводили анализ мальпозиций ТВ только по их наличию, без оценки степени смещения, корректное положение винтов составило от 96,1% до 100% (среднее — 99,4%) [11, 12, 30–33, 35, 38, 42].

В ряде исследований был проведен сравнительный анализ корректности положения ТВ, установленных методом «свободной руки» и при помощи ШН. Корректное положение ТВ (Grade 0), проведенных при помощи ШН, составило от 92,6% до 96%, методом «свободной руки» — от 75% до 88,8%. Суммарный процент ТВ, имевших степень смещения Grade 0 + Grade I, в группе с ШН составлял от 96,7% до 100% и был значимо выше ($p < 0,05$), чем суммарный процент ТВ, установленных методом «свободной руки» и имевших степень смещения Grade 0 + Grade I в пределах от 86,9% до 98,1% [34, 40, 41, 43].

Основная доля исследований, посвященных вопросам использования ШН в клинической практике, относится к категории пациентов старшего возраста (средний возраст — 51,5 год), страдающих такой патологией позвоночника, как дегенеративно-дистрофические заболевания, ревматоидный артрит, атлanto-аксиальная нестабильность на фоне аномалий развития краниовертебральной области, травма и метастазы в позвоночнике [10–12, 29, 31–36, 38, 41, 42].

Значительно меньшее количество работ посвящено применению ШН у пациентов детского возраста. В большинстве из них приводятся данные по использованию ШН в хирургическом лечении деформаций позвоночника при идиопатическом сколиозе, системных и врожденном сколиозах у детей старшего возраста [13, 30, 37, 39, 40, 43].

Отметим, что работ, посвященных использованию ШН для установки ТВ у детей младшего возраста с врожденными сколиозами, мы не обнаружили.

Таким образом, сопоставляя данные литературы с нашей работой, необходимо отметить достаточно высокую точность установки ТВ при помощи ШН как *in vitro* (Grade 0+I — 91,3–100%), так и *in vivo* (Grade 0+I — 96,1–100%), что вполне согласуется с полученной величиной корректности положения ТВ в группе 2 (*in vitro*) нашего исследования — Grade 0+I — 96,3%. Величина корректности

ТВ, установленных методом «свободной руки», в группе 1 (Grade 0+I — 78,8%) была сходной с данными публикаций, в которых авторы проводили сравнительный анализ корректности положения ТВ, установленных при помощи ШН и методом «свободной руки» (Grade 0+I: 96,7% — 100% против 86,9% — 98,1%).

Мы не обнаружили работ с дизайном, который представлен в нашем исследовании. Преимущество такого дизайна заключается в возможности проведения сравнительного анализа корректности положения уже установленных ТВ у пациентов методом «свободной руки» с потенциалом использования ШН и их влияния на величину корректности ТВ в пластиковые модели позвонков тех же пациентов. Так, помимо значимо более высокой точности положения установленных ТВ винтов в группе 2 (*in vitro*) нашего исследования в сравнении с группой 1 (*in vivo*), нам также удалось установить большее количество ТВ при помощи ШН.

Заключение

Количество корректно установленных ТВ в пластиковые модели позвонков детей с врожденными деформациями грудного и поясничного отделов позвоночника при помощи ШН значительно выше количества корректно установленных винтов методом «свободной руки» (96,3% против 78,8%, $p = 0,011$).

Полученные результаты выглядят обнадеживающе и позволяют рассмотреть вопрос о проведении дальнейших исследований, посвященных использованию ШН для установки ТВ при хирургическом лечении врожденных деформаций позвоночника у пациентов младшего возраста.

Этика публикации: законные представители пациентов дали добровольное согласие на публикацию клинических наблюдений.

Конфликт интересов: не заявлен.

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».

Литература [References]

1. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Картавенко К.А., Ефремов А.М. Хирургическое лечение детей с врожденной деформацией поясничного и пояснично-крестцового отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2012;(3):33-37. DOI: 10.14531/ss2012.3.33-37. Vissarionov S.V., Kokushin D.N., Kartavenko K.A., Efremov A.M. [Surgical treatment of children with congenital deformity of the lumbar and lumbosacral spine]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2012;(3):33-37. DOI: 10.14531/ss2012.3.33-37. (In Russ.)
2. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А. Оперативное лечение врожденной деформации груднопоясничного отдела позвоночника у детей. *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста*. 2013;1(1):10-15. DOI: 10.17816/PTORS1110-15. Vissarionov S.V., Kokushin D.N., Belyanchikov S.M., Murashko V.V., Kartavenko K.A. [Surgical treatment of congenital deformation of thoracolumbar spine in children]. *Ortopediya, travmatologiya i vosstanovitel'naya hirurgiya detskogo vozrasta* [Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery]. 2013;1(1):10-15. DOI: 10.17816/PTORS1110-15. (In Russ.)
3. Михайловский М.В., Фомичев Н.Г. Хирургия деформаций позвоночника. Новосибирск, 2011. 592 с. Mihailovskii M.V., Fomichev N.G. *Khirurgiya deformatsii pozvonochnika* [Surgery of spinal deformities]. Novosibirsk, 2011. 592 p. (In Russ.)
4. Рябых С.О., Губин А.В., Савин Д.М., Филатов Е.Ю. Результаты резекции полупозвонков грудного и поясничного отделов дорсальным педикулярным доступом у детей. *Гений ортопедии*. 2015;(4):42-47. DOI: 10.18019/1028-4427-2015-4-42-47. Riabikh S.O., Gubin A.V., Savin D.M., Filatov E.Yu. [The results of thoracic and lumbar hemivertebrae resection by a dorsal pedicular approach in children]. *Genij Ortopedii* [Orthopaedic Genius]. 2015;(4):42-47. DOI: 10.18019/1028-4427-2015-4-42-47. (In Russ.)
5. Рябых С.О., Филатов Е.Ю., Савин Д.М. Результаты экстирпации полупозвонков комбинированным, дорсальным и педикулярным доступами: систематический обзор. *Хирургия позвоночника*. 2017;(1):14-23. DOI: 10.14531/ss2017.1.14-23. Ryabikh S.O., Filatov E.Yu., Savin D.M. [Results of hemivertebra excision through combined, posterior and transpedicular approaches: systematic review]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2017;(1):14-23. DOI: 10.14531/ss2017.1.14-23. (In Russ.)
6. Михайловский М.В., Новиков В.В., Вастюра А.С., Удалова И.Г. Оперативное лечение врожденных сколиозов у пациентов старше 10 лет. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(4):42-48. DOI: 10.14531/ss2015.4.42-48. Mikhailovsky M.V., Novikov V.V., Vasyura A.S., Udalova I.G. [Surgical treatment of congenital scoliosis in patients over 10 years old]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2015;12(4):42-48. DOI: 10.14531/ss2015.4.42-48. (In Russ.)
7. Кулешов А.А., Лисянский И.Н., Ветрилэ М.С., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В. Сравнительное экспериментальное исследование крючковой и транспедикулярной систем фиксации, применяемых при хирургическом лечении деформаций позвоночника. *Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова*. 2012;(3):20-24. Kuleshov A.A., Lisyansky I.N., Vetrile M.S., Gavryushenko N.S., Fomin L.V. [Comparative experimental study of hook and pedicle fixation systems used at surgical treatment of spine deformities]. *Vestnik travmatologii i ortopedii imeni N.N. Priorova*. 2012;(3):20-24. (In Russ.)
8. Губин А.В., Рябых С.О., Бурцев А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника. *Хирургия позвоночника*. 2015;12(1):8-13. DOI: 10.14531/ss2015.1.8-13. Gubin A.V., Riabikh S.O., Burcev A.V. [Retrospective analysis of screw malposition following instrumented correction of thoracic and lumbar spine deformities].

- Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2015;12(1):8-13. DOI: 10.14531/ss2015.1.8-13. (In Russ.).
9. Larson A.N., Polly D.W. Jr., Guidera K.J., Mielke C.H., Santos E.R., Ledonio C.G., Sembrano J.N. 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):23-29. DOI: 10.1097/BPO.0b013e318263a39e.
 10. Lu S., Xu Y.Q., Lu W.W., Ni G.X., Li Y.B., Shi J.H., Li D.P., Chen G.P., Chen Y.B., Zhang Y.Z. A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement. *Spine (Phila Pa 1976).* 2009;34(26):E959-966. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c09985.
 11. Hu Y., Yuan Z.S., Spiker W.R., Dong W.X., Sun X.Y., Yuan J.B., Zhang J., Zhu B. 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. DOI:10.1007/s00586-016-4540-2.
 12. Lu S., Xu Y.Q., Zhang Y.Z., Li Y.B., Xie L., Shi J.H., Guo H., Chen G.P., Chen Y.B. 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. DOI: 10.1002/rcs.249.
 13. Putzier M., Strube P., Cecchinato R., Lamartina C., Hoff E.K. 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. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000220.
 14. Gertzbein S.D., Robbins S.E. Accuracy of pedicular screw placement in vivo. *Spine (Phila Pa 1976).* 1990;15(1):11-14.
 15. Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Хусаинов Н.О. Сравнительный анализ корректности установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом *Хирургия позвоночника.* 2017;14(4):8-17. DOI: 10.14531/ss2017.4.8-17. Kokushin D.N., Belyanchikov S.M., Murashko V.V., Kartavenko K.A., Khushainov N.O. [Comparative analysis of the accuracy of pedicle screws insertion in surgical treatment of children with idiopathic scoliosis]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2017;14(4):8-17. DOI: 10.14531/ss2017.4.8-17. (In Russ.)
 16. Виссарионов С.В. Анатомо-антропометрическое обоснование транспедикулярной фиксации у детей 1,5-5 лет. *Хирургия позвоночника.* 2006;(3):19-23. Vissarionov S.V. [Anatomic-anthropometric basis of transpedicular fixation in children of 1.5-5 years old]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2006;(3):19-23. (In Russ.)
 17. Lu S., Xu Y.Q., Chen G.P., Zhang Y.Z., Lu D., Chen Y.B., Shi J.H., Xu X.M. Efficacy and accuracy of a novel rapid prototyping drill template for cervical pedicle screw placement. *Comput Aided Surg.* 2011;16(5):240-248. DOI: 10.3109/10929088.2011.605173.
 18. Berry E., Cuppone M., Porada S., Millner P.A., Rao A., Chiverton N., Seedhom B.B. 2005. Personalised image-based templates for intra-operative guidance. *Proc Inst Mech Eng H.* 2005;219(2):111-118. DOI: 10.1243/095441105X9273.
 19. Ryken T.C., Owen B.D., Christensen G.E., Reinhardt J.M. Image-based drill templates for cervical pedicle screw placement. *J Neurosurg Spine.* 2009;10(1):21-26. DOI: 10.3171/2008.9.SPI08229.
 20. Bundoc R.C., Delgado G.G., Grozman S.A. A novel patient-specific drill guide template for pedicle screw insertion into the subaxial cervical spine utilizing stereolithographic modelling: an in vitro study. *Asian Spine J.* 2017;11(1):4-14. DOI: 10.4184/asj.2017.11.1.4.
 21. Ma T., Xu Y.Q., Cheng Y.B., Jiang M.Y., Xu X.M., Xie L., Lu S. A novel computer-assisted drill guide template for thoracic pedicle screw placement: a cadaveric study. *Arch Orthop Trauma Surg.* 2012;132(1):65-72. DOI: 10.1007/s00402-011-1383-5.
 22. Chen H., Guo K., Yang H., Wu D., Yuan F. Thoracic pedicle screw placement guide plate produced by three-dimensional (3-D) laser printing. *Med Sci Monit.* 2016;22:1682-1686. DOI: 10.12659/MSM.896148.
 23. Radermacher K., Portheine F., Anton M., Zimolong A., Kaspers G., Rau G., Staudte H.W. Computer assisted orthopaedic surgery with image based individual templates. *Clin Orthop Relat Res.* 1998;(354):28-38.
 24. Birnbaum K., Schkommodau E., Decker N., Prescher A., Klapper U., Radermacher K. Computer-assisted orthopaedic surgery with individual templates and comparison to conventional operation method. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(4):365-370.
 25. Shao Z.X., Wang J.S., Lin Z.K., Ni W.F., Wang X.Y., Wu A.M.. Improving the trajectory of transpedicular transdiscal lumbar screw fixation with a computer-assisted 3D-printed custom drill guide. *PeerJ.* 2017;5:e3564. DOI: 10.7717/peerj.3564.
 26. Wang X., Shi J., Zhang S., Zhang Z., Li X., Li Z. Pediatric lumbar pedicle screw placement using navigation templates: a cadaveric study. *Indian J Orthop.* 2017;51(4):468-473. DOI: 10.4103/0019-5413.209955.
 27. Lamartina C., Cecchinato R., Fekete Z., Lipari A., Fiechter M., Berjano P. Pedicle screw placement accuracy in thoracic and lumbar spinal surgery with a patient-matched targeting guide: a cadaveric study. *Eur Spine J.* 2015; 24(Suppl 7):937-941. DOI: 10.1007/s00586-015-4261-y.
 28. Farshad M., Betz M., Farshad-Amacker N.A., Moser M. Accuracy of patient-specific template-guided vs. free-hand fluoroscopically controlled pedicle screw placement in the thoracic and lumbar spine: a randomized cadaveric study. *Eur Spine J.* 2017;26(3):738-749. DOI: 10.1007/s00586-016-4728-5.
 29. Kawaguchi Y., Nakano M., Yasuda T., Seki S., Hori T., Kimura T. Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide. *Spine (Phila Pa 1976).* 2012;37(23):1983-1988. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825ab547.
 30. Бурцев А.В., Павлова О.М., Рябык С.О., Губин А.В. Компьютерное 3D-моделирование с изготовлением индивидуальных лекал для навигирования введения винтов в шейном отделе позвоночника. *Хирургия позвоночника.* 2018;15(2):33-38. DOI: 10.14531/ss2018.2.33-38 Burtsev A.V., Pavlova O.M., Ryabykh S.O., Gubin A.V. [Computer 3d-modeling of patient-specific navigational template for cervical screw insertion]. *Hirurgia pozvonochnika* [Journal of Spine Surgery]. 2018;15(2):33-38. DOI: 10.14531/ss2018.2.33-38. (In Russ.)
 31. Goffin J., Van Brussel K., Martens K., Vander Sloten J., Van Audekercke R., Smet M.H. Three-dimensional computed tomography-based, personalized drill guide for posterior cervical stabilization at C1-C2. *Spine (Phila Pa 1976).* 2001;26(12):1343-1347. DOI: 10.1097/00007632-200106150-00017.
 32. Lu S., Xu Y.Q., Zhang Y.Z., Xie L., Guo H., Li D.P. A novel computer-assisted drill guide template for placement of C2 laminar screws. *Eur Spine J.* 2009;18(9):1379-1385. DOI: 10.1007/s00586-009-1051-4.
 33. 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

- C-2 fixation: clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2014;21(2):231-238. DOI: 10.3171/2014.3.SPINE13730.
34. Jiang L., Dong L., Tan M., Qi Y., Yang F., Yi P., Tang X. A modified personalized image-based drill guide template for atlantoaxial pedicle screw placement: a clinical study. *Med Sci Monit*. 2017;16(23):1325-1333.
 35. 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. DOI: 10.1097/BRS.0000000000001807.
 36. 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):341-348. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000772.
 37. Lu S., Zhang Y.Z., Wang Z., Shi J.H., Chen Y.B., Xu X.M., Xu Y.Q. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. *Med Biol Eng Comput*. 2012;50(7):751-758. DOI: 10.1007/s11517-012-0900-1.
 38. 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(2):185-190. DOI: 10.3171/2013.4.SPINE121059.
 39. 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(6):1698-1705. DOI: 10.1007/s00586-015-3908-z.
 40. Pan Y., Lü G.H., 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. DOI: 10.1007/s00586-017-5410-2.
 41. Merc M., Drstvensek I., Vogrin M., Brajliah T., Recnik G. A multi-level rapid prototyping drill guide template reduces the perforation risk of pedicle screw placement in the lumbar and sacral spine. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2013;133(7):893-899. DOI: 10.1007/s00402-013-1755-0.
 42. Azimifar F., Hassani K., Saveh A.H., Tabatabai Ghomshe F. A low invasiveness patient's specific template for spine surgery. *Proc Inst Mech Eng H*. 2017;231(2):143-148. DOI: 10.1177/0954411916682770.
 43. 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(6):1684-1689. DOI: 10.1007/s00586-016-4926-1.

ВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ:

Кокушин Дмитрий Николаевич — канд. мед. наук, старший научный сотрудник отделения патологии позвоночника и нейрохирургии, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Виссарионов Сергей Валентинович — д-р мед. наук, профессор, заместитель директора по научной и учебной работе, руководитель отделения патологии позвоночника и нейрохирургии, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Баиндурашвили Алексей Георгиевич — д-р мед. наук, профессор, академик РАН, директор ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Овечкина Алла Владимировна — канд. мед. наук, доцент, ученый секретарь, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

Познович Махмуд Станиславович — научный сотрудник Генетической лаборатории Центра редких и наследственных заболеваний у детей, ФГБУ «Научно-исследовательский детский ортопедический институт им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург

INFORMATION ABOUT AUTHORS:

Dmitriy N. Kokushin — Cand. Sci. (Med.), senior research associate, Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Sergei V. Vissarionov — Dr. Sci. (Med.), professor, deputy director, Research and Academic Affairs, head of the Department of Spinal Pathology and Neurosurgery, Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Alexei G. Baindurashvili — Dr. Sci. (Med.), professor, member of RAS, director of Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Alla V. Ovechkina — Cand. Sci. (Med.), associate professor, Scientific Secretary, Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation

Makhmud S. Poznovich — research associate, Genetic Laboratory of the Center for Rare and Hereditary Diseases in Children, Turner Scientific and Research Institute for Children's Orthopedics, St. Petersburg, Russian Federation