



ТРАНСПЕДИКУЛЯРНАЯ ФИКСАЦИЯ ПОЗВОНОЧНИКА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХУРОВНЕВЫХ НАВИГАЦИОННЫХ ШАБЛОНОВ ПРИ МАЛЫХ РАЗМЕРАХ КОРНЯ ДУГИ

А.В. Косулин, Д.В. Елякин, Д.О. Корчагина, Н.А. Лукина, Ю.И. Шибутова, Е.С. Колесникова

Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Оценка корректности имплантации транспедикулярных винтов с использованием двухуровневых навигационных шаблонов в позвонки грудного и поясничного отделов позвоночника при малых размерах корня дуги.

Материал и методы. Двухуровневые навигационные шаблоны использовали при хирургическом лечении четырех пациентов 14–17 лет со сколиотической деформацией и множественными корнями дуги малой ширины (менее 4,35 мм). У каждого пациента для имплантации с помощью навигационных шаблонов были выбраны наименее благоприятные зоны. Остальные запланированные винты устанавливали по методике free-hand. После операции всем пациентам выполняли КТ. При ширине ножки менее 4,35 мм к корректно стоящим относили винты, не выходящие за пределы медиального кортикального слоя корня дуги более чем на 2 мм.

Результаты. Из 68 запланированных к установке транспедикулярных винтов корней дуг шириной менее 4,35 мм обладали 42. В трудные для имплантации зоны 29 винтов были проведены с помощью навигационных шаблонов, 13 — по методике free-hand. При использовании навигационных шаблонов корректно установленными были признаны 28 из 29 винтов, при имплантации по методике free-hand — 9 из 13. Различия результатов установки винтов в трудные для имплантации зоны при использовании навигационного шаблона и методики free-hand статистически значимы (точный тест Фишера, $p < 0,05$).

Заключение. При малых размерах корня дуги имплантация транспедикулярных винтов с использованием двухуровневых навигационных шаблонов более корректна по сравнению с методикой free-hand.

Ключевые слова: 3D-печать, навигационный шаблон, сколиоз, трудная имплантация.

Для цитирования: Косулин А.В., Елякин Д.В., Корчагина Д.О., Лукина Н.А., Шибутова Ю.И., Колесникова Е.С. Транспедикулярная фиксация позвоночника с использованием двухуровневых навигационных шаблонов при малых размерах корня дуги // Хирургия позвоночника. 2021. Т. 18. № 2. С. 26–33. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.2.26-33>.

TRANSPEDICULAR FIXATION OF THE SPINE WITH TWO-LEVEL NAVIGATION TEMPLATES FOR NARROW PEDICLES

A.V. Kosulin, D.V. Elyakin, D.O. Korchagina, N.A. Lukina, Yu.I. Shibutova, E.S. Kolesnikova

Saint-Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

Objective. To assess the correctness of transpedicular screw insertion in thoracic and lumbar vertebrae using two-level navigation templates for narrow pedicles.

Material and Methods. Two-level navigation templates were used in surgical treatment of four patients aged 14–17 years with scoliotic deformity and multiple pedicles of small width (less than 4.35 mm). In each patient, the least favorable zones were selected for implantation using navigation templates. The rest of planned pedicle screws were inserted using free-hand technique. All patients underwent CT scanning postoperatively. Screws inserted to pedicles less than 4.35 mm in width were classified as correctly placed if they did not extend beyond the medial cortical layer by more than 2 mm.

Results. Out of 68 pedicles planned for screw placement, 42 were narrower than 4.35 mm. In the pedicles difficult for implantation, 29 screws were inserted using navigation templates and 13 by free-hand technique. Screws classified as correctly placed were 28 from those inserted with navigation templates and 9 from those implanted by free-hand technique. Difference in results of screw placement in narrow pedicles with navigation templates and by free-hand technique was statistically significant (exact Fisher test, $p < 0.05$).

Conclusion. Transpedicular screw placement with two-level navigation templates in narrow pedicles is more correct than insertion by free hand technique.

Key Words: 3D-printing, navigation template, scoliosis, difficult implantation.

Please cite this paper as: Kosulin AV, Elyakin DV, Korchagina DO, Lukina NA, Shibutova YuI, Kolesnikova ES. Transpedicular fixation of the spine with two-level navigation templates for narrow pedicles. *Hir. Pozvonoc.* 2021;18(2):26–33. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2021.2.26-33>.

Транспедикулярная фиксация является наиболее распространенным способом установки опорных элементов металлоконструкций при хирургическом лечении деформаций позвоночника. Одним из факторов, ограничивающих применение данного метода, являются малые размеры корня дуги [1, 2]. Морфометрические исследования демонстрируют широкую распространенность трудных для имплантации зон при деформациях позвоночника, в частности при подростковом идиопатическом сколиозе [3–5]. Для преодоления данного ограничения предложено запланированное юкстапедикулярное проведение винта (in-out-in) [1], выполнение которого по методике free-hand считается технически трудным и требует высокой квалификации оператора. Использование компьютерной навигации, по данным Akaawa et al. [2], при некоторых морфометрических характеристиках корня дуги имеет ограниченное применение. Альтернативным средством прецизионного позиционирования опорных элементов в хирургии позвоночника является использование индивидуальных навигационных шаблонов, создаваемых с помощью 3D-печати.

Цель исследования – оценка корректности имплантации транспедикулярных винтов с использованием двухуровневых навигацион-

Таблица 1

Общая половозрастная и клиничко-рентгенологическая характеристика включенных в исследование пациентов

Пациент	Пол	Возраст, лет	Диагноз	Величина ведущей дуги по Cobb, град.
1-й	Ж	17	Подростковый идиопатический сколиоз (Lenke 5BN)	43
2-й	Ж	14	Нейрофиброматоз I типа	55
3-й	Ж	14	Синдром Смита – Лемли – Опица	48
4-й	Ж	14	Атипичный идиопатический сколиоз	38

ных шаблонов в позвонки грудного и поясничного отделов позвоночника при малых размерах корня дуги.

Материал и методы

Двухуровневые навигационные шаблоны использовали при хирургическом лечении четырех пациентов 14–17 лет со сколиотическими деформациями, предоперационное обследование которых выявило множественные трудные для имплантации зоны (не менее 50 % корней дуг имели ширину меньше 4,35 мм, соответствующую минимальному диаметру транспедикулярного винта стандартного набора). Демографические и клиничко-рентгенологические данные о пациентах приведены в табл. 1.

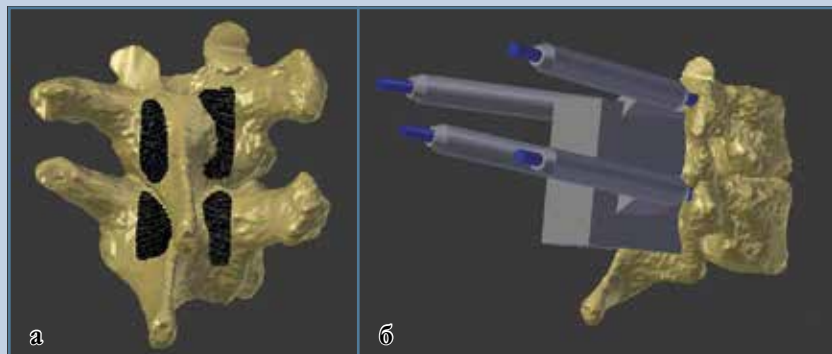
На этапе предоперационного планирования производили измерения ширины корней дуги позвонков, запланированных к имплантации, по данным КТ. При ширине корня дуги менее 4,35 мм имплантацию расценивали как технически трудную (рис. 1). В каждом случае определяли две пары смежных позвонков, обладающих наименее благоприятными анатомическими характеристиками. Для установки транспедикулярных винтов в данные позвонки применяли навигационные шаблоны.

Обработку DICOM-данных, создание виртуальных моделей смежных пар позвонков, определение оптимальных траекторий и создание навигационных шаблонов производили с помощью программного обеспечения со свободным доступом (Slicer, Autodesk MeshMixer, Blender). Двухуровневый шаблон формировали в виде опорной площадки, несущей отпечаток пластинок соответствующих позвонков (остистый, поперечные и суставные отростки в качестве зоны контакта не использовали), и четырех тубусов-направителей длиной 60 мм (рис. 2). Тубусы-направители размещали таким образом, чтобы между тубусом и поверхностью позвонка оставался зазор не менее 2 мм. Модели смежных пар позвонков и навигационные шаблоны распечатывали на 3D-принтере методом послойного наплавления (fused deposition modeling, FDM) из полилактидного филамента (PLA).

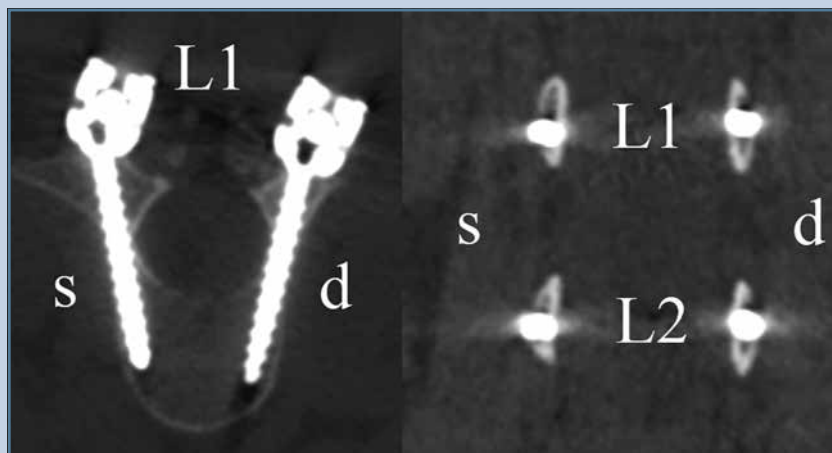


Рис. 1

Предоперационные КТ позвонков с малой шириной корня дуги

**Рис. 2**

Дизайн навигационного шаблона: **а** – зона контакта; **б** – готовая виртуальная модель

**Рис. 3**

Результат имплантации с использованием навигационного шаблона

Навигационные шаблоны и 3D-модели соответствующих пар позвонков подвергали низкотемпературной стерилизации и использовали в ходе операции. После тщательного скелетирования задних структур по костным ориентирам определяли запланированные к навигируемой имплантации пары позвонков. Опорную площадку навигационного шаблона помещали на задние структуры соответствующих позвонков, контролировали стабильность, через тубусы-направители сверлом длиной 100 мм формировали транспедикулярные трассы. Целостность костных стенок контролировали зондом. По сформированным

трассам устанавливали транспедикулярные винты диаметром 4,35 мм. Остальные запланированные винты устанавливали по методике free-hand.

После операции всем пациентам выполняли КТ. Стояние винтов оценивали по системе 2-миллиметровых инкрементов [6]: класс 0 – внутрикостное расположение винта; класс 1 – винт выходит за пределы кортикального слоя не более чем на 2 мм; класс 2 – винт выходит за пределы кортикального слоя на 2–4 мм; класс 3 – винт выходит за пределы кортикального слоя более чем на 4 мм. При ширине ножки более 4,35 мм критерием корректности считали соот-

ветствие классам 0 и 1. При ширине ножки менее 4,35 мм к корректно стоящим относили винты, не выходящие за пределы медиального кортикального слоя корня дуги более чем на 2 мм (рис. 3).

Статистический анализ производили в программе Statistica 12 (StatSoft, Inc). Статистическую значимость различий корректности имплантации с использованием навигационного шаблона и по методике free-hand при ширине корня дуги менее 4,35 мм определяли с помощью точного теста Фишера. О статистически значимых различиях свидетельствовало значение точного критерия Фишера менее 0,05.

Результаты

Данные о полученных в ходе предоперационного планирования размерных характеристиках корней дуг запланированных к имплантации позвонков, а также о парах позвонков, выбранных для использования навигационных шаблонов, приведены в табл. 2. Также запланирована установка двух супраламинарных крючков (пациент 2: позвонки Th₄ и Th₅ справа).

Из 68 запланированных к установке транспедикулярных винтов корней дуг шириной менее 4,35 мм обладали 42. Для имплантации с использованием навигационных шаблонов у каждого пациента были выбраны две пары смежных позвонков (всего 32 винта), причем ширина корня дуги составила более 4,35 мм в трех случаях. Для имплантации по методике free-hand были запланированы 36 винтов. В данной группе опорных элементов ширина корня дуги менее 4,35 мм имела место в 13 случаях. Таким образом, к прогностически трудным для имплантации были отнесены 29 винтов, имплантируемых с помощью навигационного шаблона, и 13 винтов, устанавливаемых по методике free-hand.

В ходе оперативных вмешательств были установлены все запланированные транспедикулярные винты (рис. 4). Неврологических и иных связанных с имплантацией осложнений не отмечено.

Таблица 2

Ширина корней дуги запланированных к имплантации позвонков

Позвонок	Ширина корня дуги, мм							
	пациент 1		пациент 2		пациент 3		пациент 4	
	слева	справа	слева	справа	слева	справа	слева	справа
Th ₄	—	—	4,0	*	—	—	—	—
Th ₅	—	—	3,5	*	—	—	—	—
Th ₆	—	—	2,4	2,5	—	—	—	—
Th ₇	3,1	2,9	1,4	1,6	—	—	—	—
Th ₈	3,3	3,3	1,6	2,1	—	—	—	—
Th ₉	3,5	2,6	3,1	3,4	1,4	3,2	2,6	2,7
Th ₁₀	4,6	3,9	4,2	4,2	2,9	4,4	3,4	3,0
Th ₁₁	3,5	6,8	6,3	7,0	4,5	6,5	5,4	4,3
Th ₁₂	2,0	6,2	7,8	6,2	4,0	3,8	4,4	4,7
L ₁	2,1	3,1	3,8	5,1	4,4	2,5	2,9	2,3
L ₂	3,3	3,7	4,5	6,1	4,3	4,9	2,8	2,3
L ₃	4,7	5,7	—	—	7,1	7,8	5,8	5,1
L ₄	—	—	—	—	—	—	5,5	6,6
Запланированные для имплантации зоны, n	18		20		14		16	
Трудные для имплантации зоны, n	13		13		7		9	

Полужирным шрифтом выделены корни дуги, имеющие ширину менее 4,35 мм, фоном — ячейки, соответствующие позвонкам, запланированным для имплантации с использованием навигационного шаблона, знаком * отмечены зоны, запланированные к установке супраламинарных крючков.

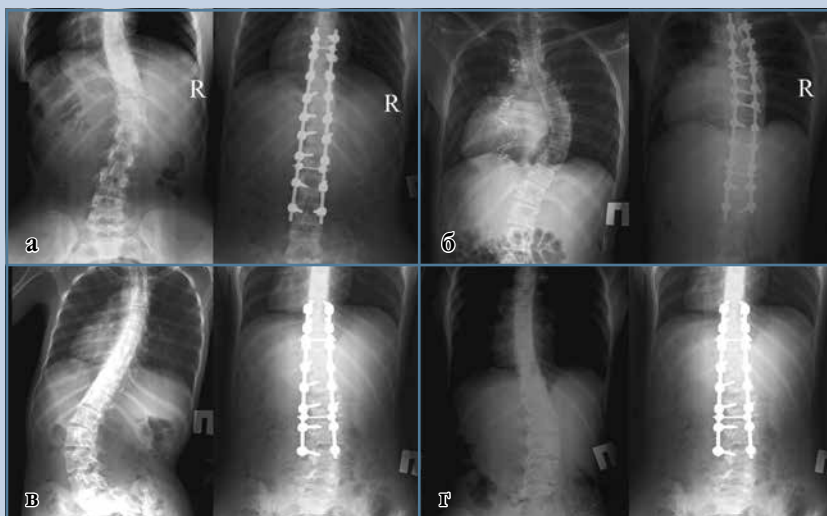


Рис. 4

Пред- и послеоперационные спондилограммы включенных в исследование пациентов: а – пациент 1; б – пациент 2; в – пациент 3; г – пациент 4

По системе 2-миллиметровых инкрементов 68 установленных винтов распределились следующим обра-

зом: класс 0 – 11; класс 1 – 44; класс 2 – 8; класс 3 – 5. При оценке корректности установки с учетом шири-

ны корня дуги менее 4,35 мм корректным было признано стояние 61 винта, некорректным – 7.

Распределение по классам системы 2-миллиметровых инкрементов и оценка корректности стояния транспедикулярных винтов, установленных в трудные для имплантации зоны, приведены в табл. 3.

Статистическая обработка результатов установки винтов в трудные для имплантации зоны показала значимость различий при использовании навигационного шаблона и методики free-hand (точный тест Фишера, $p < 0,05$).

Обсуждение

В настоящее время накоплен обширный опыт применения навигационных шаблонов в хирургии позвоночника, причем большая часть исследований посвящена инструментальной фиксации шейного отдела. Данные об использовании 3D-печати при операциях на грудном и пояс-

Таблица 3

Оценка положения транспедикулярных винтов, имплантированных в позвонки с шириной корня дуги менее 4,35 мм

Методика установки винтов	Положение винта согласно системе 2-миллиметровых инкрементов				Корректность положения винта		Всего
	класс 0	класс 1	класс 2	класс 3	корректное	некорректное	
Навигационный шаблон	—	25	4	—	28	1	29
Free-hand	—	6	4	3	9	4	13
Всего	0	31	8	3	37	5	42

ничном отделах позвоночника представлены менее широко [7–9], однако в ряде работ сообщается об успешном применении данного подхода в лечении подросткового идиопатического сколиоза [10–17], деформаций на фоне пороков развития [12–15, 18, 19], нейромышечных заболеваний [13, 20], посттуберкулезного кифоза [12], анкилозирующего спондилита [21], окостенения задней продольной связки [22], а также при онкологических [22, 23] и дегенеративных [24] поражениях и переломах позвонков [23, 25].

Сравнительные исследования подтверждают преимущества имплантации с использованием навигационных шаблонов перед методикой free-hand [12, 14, 16, 23, 26, 27].

Дизайн навигационных шаблонов представлен значительным количеством вариантов. Предложенная Kim et al. [25] классификация выделяет односторонние и двусторонние шаблоны, учитывает вариант контакта с пластиной (плоскостной и в виде крючка), степень контакта с остистым отростком (нет контакта, ограниченный контакт, полный контакт), а также использование в ходе имплантации каждого винта одного или нескольких шаблонов. Следует отметить, что нам удалось обнаружить лишь две работы, описывающие применение односторонних навигационных шаблонов в грудном и поясничном отделах [14, 25]. Данные исследования опубликованы в 2016–2017 гг., в дальнейшем упоминаются только двусторонние варианты; по-видимому, односторонние навигационные шаблоны в настоящее время не используют.

На наш взгляд, наиболее уместно систематизировать дизайн навигационных шаблонов в зависимости от устройства опорной площадки и направляющего элемента. Опорная площадка должна обеспечивать стабильное и однозначное позиционирование шаблона на задних структурах позвонка. Стабильность в большей степени определяется протяженностью шаблона по двум осям: поперечной и краниокаудальной. Так, Кокушин с соавт. [18] достигли стабильного положения шаблона с ограниченной площадью контакта лишь в 5 из 10 случаев. С другой стороны, избыточная площадь контакта требует обширной диссекции мягких тканей и затрудняет визуализацию [18]. Включение в зону контакта границ остистого отростка при определенной его конфигурации может привести к невозможности совместить шаблон с задними структурами [13]. Многие авторы в качестве опорной точки с успехом использовали верхушку остистого отростка [12, 13, 15, 27–29]. Почти все исследователи применяли одноуровневые шаблоны [12, 13, 15–18, 22–24, 26, 27, 29], так как при этом минимизируется риск неточности позиционирования за счет смещения соседних позвонков. Вместе с тем имеются сведения об успешном использовании шаблонов, охватывающих два [10, 14], а при определенных условиях – три [19] и более уровней [11]. Мы считаем, что оптимальным способом обеспечить достаточную протяженность опорной площадки по краниокаудальной оси является использование двухуровневого шаблона, контактирующего с пластинками двух смежных позвонков.

Конструкция направляющего элемента зависит от инструмента, который предпочитает использовать для формирования транспедикулярной трассы оператор. Большая часть авторов отдает предпочтение дрели, оснащенной сверлом [12, 13, 15, 18, 19, 23–25, 28] или спицей Киршнера [17, 27]. О применении шила сообщается меньшее число публикаций [10, 14, 16, 26, 29]. Как правило, направлятель представляет собой полый цилиндр, диаметр которого соответствует рабочей части применяемого инструмента. Мы используем цилиндр такой длины и располагаем его на шаблоне таким образом, чтобы пройти сверлом на глубину, превышающую запланированную, было невозможно. Если по тем или иным причинам предпочтительнее использование шила, направляющий элемент такого типа неизбежно нарушает осязательные ощущения оператора [10]. В связи с этим представляет интерес предложенная Chen et al. [30] конструкция для атлантаксиальной фиксации, состоящая из кольца, окружающего точку входа, и узкого цилиндра, расположенного параллельно заданной траектории. В работах 2013 и 2017 гг. сообщается о последовательном применении двух и более шаблонов для различных этапов операции [11, 22], однако в более поздних публикациях подобная практика не упоминается, уступая место модифицируемым направляющим элементам: цилиндру с широким каналом (для установки винта) и извлекаемым переходником для шила [26] или незамкнутому цилиндру с отламываемой наружной частью [29]. Большинство авторов применяет шаблон

только для формирования костного канала, в который транспедикулярный винт устанавливается без дополнительного оборудования [10, 12–19, 23–25, 27, 28].

Для изготовления навигационных шаблонов используют различные технологии 3D-печати: метод наплавления [12, 17, 23, 28], селективное лазерное спекание [20], стереолитографию [11, 14, 15, 18], напыление полимеров [13, 22, 25]. Мы считаем применение технологии наплавления наиболее экономически оправданным. Несмотря на особое положение занимает изготовление навигационных шаблонов из титана [21, 31]. С учетом отличий физических свойств металлического шаблона к экстраполяции его дизайна и результатов применения на пла-

стиковые изделия следует подходить с осторожностью.

В ходе создания виртуальной модели навигационного шаблона ряд авторов использует различные неспециализированные (универсальные) 3D-редакторы [14, 16, 17, 19, 23, 26, 28, 29]. По-видимому, выбор конкретного программного обеспечения не имеет существенного значения. Большинство публикаций не сообщает о степени участия хирурга в создании навигационного шаблона. Имеются указания на взаимодействие между медицинской и инженерной командами [21]. Мы считаем, что освоение в необходимом объеме оперирующим хирургом навыков 3D-моделирования делает процесс подготовки к оператив-

ному вмешательству более быстрым и эффективным.

Заключение

При малых размерах корня дуги имплантация транспедикулярных винтов с использованием двухуровневых навигационных шаблонов более корректна по сравнению с методикой free-hand.

Ограничения исследования: небольшое число случаев и ретроспективный дизайн.

Всеми авторами внесен равный вклад в подготовку данной статьи. Исследование не имело спонсорской поддержки. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Литература/References

- Rosinski A, Odeh K, Ungurean VJr, Leasure J, Kondrashov D. Non-pedicular fixation techniques for the treatment of spinal deformity: a systematic review. JBJS Rev. 2020;8:e0150. DOI: 10.2106/JBJS.RVW.19.00150.
- Akazawa T, Kotani T, Sakuma T, Minami S, Tsukamoto S, Ishige M. Evaluation of pedicle screw placement by pedicle channel grade in adolescent idiopathic scoliosis: should we challenge narrow pedicles? J Orthop Sci. 2015;20:818–822. DOI: 10.1007/s00776-015-0746-0.
- Liljenqvist UR, Link TM, Halm HF. Morphometric analysis of thoracic and lumbar vertebrae in idiopathic scoliosis. Spine. 2000;25:1247–1253. DOI: 10.1097/00007632-200005150-00008.
- Gao B, Gao W, Chen C, Wang Q, Lin S, Xu C, Huang D, Su P. What is the difference in morphologic features of the thoracic pedicle between patients with adolescent idiopathic scoliosis and healthy subjects? A CT-based case-control study. Clin Orthop Relat Res. 2017;475:2765–2774. DOI: 10.1007/s11999-017-5448-9.
- Senaran H, Shah SA, Gabos PG, Littleton AG, Neiss G, Guille JT. Difficult thoracic pedicle screw placement in adolescent idiopathic scoliosis. J Spinal Disord Tech. 2008;21:187–191. DOI: 10.1097/BSD.0b013e318073cc1d.
- Aoude AA, Fortin M, Figueiredo R, Jarzem P, Ouellet J, Weber MH. Methods to determine pedicle screw placement accuracy in spine surgery: a systematic review. Eur Spine J. 2015;24:990–1004. DOI: 10.1007/s00586-015-3853-x.
- Sheha ED, Gandhi SD, Colman MW. 3D printing in spine surgery. Ann Transl Med. 2019;7(Suppl 5):S164. DOI: 10.21037/atm.2019.08.88.
- Senkoylu A, Daldal I, Cetinkaya M. 3D printing and spine surgery. J Orthop Surg (Hong Kong). 2020;28:2309499020927081. DOI: 10.1177/2309499020927081.
- Tong Y, Kaplan DJ, Spivak JM, Bendo JA. Three-dimensional printing in spine surgery: a review of current applications. Spine J. 2020;20:833–846. DOI: 10.1016/j.spinee.2019.11.004.
- Косулин А.В., Елякин Д.В., Лебедева К.Д., Сухомлинова А.Е., Козлова Е.А., Орехова А.Е. Применение навигационного шаблона для прохождения ножки позвонка при транспедикулярной фиксации // Педиатр. 2019. Т. 10. № 3. С. 45–50. [Kosulin AV, Elyakin DV, Lebedeva KD, Sukhomlinova AE, Kozlova EA, Orekhova AE. Navigation template for vertebral pedicle passage in transpedicular screw fixation. Pediatrician (St. Petersburg). 2019;3(10):45–50. In Russian]. DOI: 10.17816/PED10345-50.
- Alpizar-Aguirre A, Cabrera-Aldana EE, Rosales-Olivares LM, Zarate-Kalfopulos B, Gomez-Crespo S, Reyes-Sanchez AA. A new technique of pedicle screw placement with the use of sequential multilevel navigation templates based on patient-specific 3D CT reconstruction model: applicability in spine deformity. Acta Ortop Mex. 2017;31:312–318.
- Garg B, Gupta M, Singh M, Kalyanasundaram D. Outcome and safety analysis of 3D-printed patient-specific pedicle screw jigs for complex spinal deformities: a comparative study. Spine J. 2019;19:56–64. DOI: 10.1016/j.spinee.2018.05.001.
- Chen PC, Chang CC, Chen HT, Lin CY, Ho TY, Chen YJ, Tsai CH, Tsou HK, Lin CS, Chen YW, Hsu HC. The accuracy of 3D printing assistance in the spinal deformity surgery. Biomed Res Int. 2019;2019:7196528. DOI: 10.1155/2019/7196528.
- Liu K, Zhang Q, Li X, Zhao C, Quan X, Zhao R, Chen Z, Li Y. Preliminary application of a multi-level 3D printing drill guide template for pedicle screw placement in severe and rigid scoliosis. Eur Spine J. 2017;26:1684–1689. DOI: 10.1007/s00586-016-4926-1.
- Lu S, Zhang YZ, Wang Z, Shi JH, Chen YB, Xu XM, Xu YQ. Accuracy and efficacy of thoracic pedicle screws in scoliosis with patient-specific drill template. Med Biol Eng Comput. 2012;50:751–758. DOI: 10.1007/s11517-012-0900-1.
- 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;27:319–326. DOI: 10.1007/s00586-017-5410-2.
- Senkoylu A, Cetinkaya M, Daldal I, Necefov E, Eren A, Samartzis D. Personalized three-dimensional printing pedicle screw guide innovation for the surgical management of patients with adolescent idiopathic scoliosis. World Neurosurg. 2020;144:e513–e522. DOI: 10.1016/j.wneu.2020.08.212.
- Кокушин Д.Н., Виссарионов С.В., Баиндурашвили А.Г., Овечкина А.В., Хусанов Н.О., Познович М.С., Залетина А.В. Применение шаблонов-напра-

- вителей при хирургическом лечении детей дошкольного возраста с врожденным сколиозом грудной и поясничной локализации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2020. Т. 8. № 3. С. 305–316. [Kokushin DN, Vissarionov SV, Baindurashvili AG, Ovechikina AV, Khusainov NO, Poznovich MS, Zaletina AV. 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;3(8):305–316. In Russian]. DOI: 10.17816/PTORS42000.
19. **Косулин А.В., Елякин Д.В., Корниевский Л.А., Дарковская А.М., Булатова И.А., Пашко А.А.** 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, Darkovskaya AM, Bulatova IA, Pashko AA. Application of three-level navigation template in surgery for hemivertebrae in adolescents. *Hir. Pozvonoc*. 2020;17(1):54–60. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2020.1.54-60.
 20. **Putzier M, Strube P, Cecchinato R, Lamartina C, Hoff EK.** 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:E430–E439. DOI: 10.1097/BSD.0000000000000220.
 21. **Tu Q, Ding HW, Chen H, Miao QJ, Yang X, Li K, Zhang K, Wu ZH, Tang Y, Xia H, Xu JZ.** Three-dimensional-printed individualized guiding templates for surgical correction of severe kyphoscoliosis secondary to ankylosing spondylitis: outcomes of 9 cases. *World Neurosurg*. 2019;130:e961–e970. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.07.047.
 22. **Sugawara T, Higashiyama N, Kaneyama S, Takabatake M, Watanabe N, Uchida F, Sumi M, Mizoi K.** Multistep pedicle screw insertion procedure with patient-specific lamina fit-and-lock templates for the thoracic spine: clinical article. *J Neurosurg Spine*. 2013;19:185–190. DOI: 10.3171/2013.4.SPINE121059.
 23. **Коваленко Р.А., Пташников Д.А., Чербылло В.Ю., Кашин В.А.** Сравнительный анализ результатов имплантации транспедикулярных винтов в грудном отделе позвоночника с использованием индивидуальных навигационных матриц и методики free hand // Травматология и ортопедия России. 2020. Т. 26. № 3. С. 49–60. [Kovalenko RA, Ptashnikov DA, Cherebillo VYu, Kashin VA. Comparison of the accuracy and safety of pedicle screw placement in thoracic spine between 3D printed navigation templates and free-hand technique. *Traumatology and Orthopedics of Russia*. 2020;26(3):49–60. In Russian]. DOI: 10.21823/2311-2905-2020-26-3-49-60.
 24. **Matsukawa K, Kaito T, Abe Y.** Accuracy of cortical bone trajectory screw placement using patient-specific template guide system. *Neurosurg Rev*. 2020;43:1135–1142. DOI: 10.1007/s10143-019-01140-1.
 25. **Kim SB, Won Y, Yoo HJ, Sin IJ, Rhee JM, Lee SW, Lee GS.** Unilateral spinous process noncovering hook type patient-specific drill template for thoracic pedicle screw fixation: a pilot clinical trial and template classification. *Spine*. 2017;42:E1050–E1057. DOI: 10.1097/BRS.0000000000002067.
 26. **Cecchinato R, Berjano P, Zerbi A, Damilano M, Redaelli A, Lamartina C.** Pedicle screw insertion with patient-specific 3D-printed guides based on low-dose CT scan is more accurate than free-hand technique in spine deformity patients: a prospective, randomized clinical trial. *Eur Spine J*. 2019;28:1712–1723. DOI: 10.1007/s00586-019-05978-3.
 27. **Luo M, Wang W, Yang N, Xia L.** Does three-dimensional printing plus pedicle guider technology in severe congenital scoliosis facilitate accurate and efficient pedicle screw placement? *Clin Orthop Relat Res*. 2019;477:1904–1912. DOI: 10.1097/CORR.0000000000000739.
 28. **Azimifar F, Hassani K, Saveh AH, Ghomsheh FT.** A medium invasiveness multi-level patient's specific template for pedicle screw placement in the scoliosis surgery. *Biomed Eng Online*. 2017;16:130. DOI: 10.1186/s12938-017-0421-0.
 29. **Naddeo F, Fontana C, Naddeo A, Cataldo E, Cappetti N, Narciso N.** Novel design for a customized, 3D-printed surgical template for thoracic spinal arthrodesis. *Int J Med Robot*. 2019;15:e2005. DOI: 10.1002/rcs.2005.
 30. **Chen XL, Xie YF, Li JX, Wu W, Li GN, Hu HJ, Wang XY, Meng ZJ, Wen YF, Huang WH.** Design and basic research on accuracy of a novel individualized three-dimensional printed navigation template in atlantoaxial pedicle screw placement. *PLoS One*. 2019;14:e0214460. DOI: 10.1371/journal.pone.0214460.
 31. **Takemoto M, Fujibayashi S, Ota E, Otsuki B, Kimura H, Sakamoto T, Kawai T, Futami T, Sasaki K, Matsushita T, Nakamura T, Neo M, Matsuda S.** Additive-manufactured patient-specific titanium templates for thoracic pedicle screw placement: novel design with reduced contact area. *Eur Spine J*. 2016;25:1698–1705. DOI: 10.1007/s00586-015-3908-z.

Адрес для переписки:

Косулин Артем Владимирович
194100, Россия, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2,
Санкт-Петербургский государственный педиатрический
медицинский университет,
hackenlad@mail.ru

Address correspondence to:

Kosulin Artem Vladimirovich
St. Petersburg State Pediatric Medical University,
2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia,
hackenlad@mail.ru

Статья поступила в редакцию 29.12.2020

Рецензирование пройдено 21.01.2021

Подписано в печать 27.01.2021

Received 29.12.2020

Review completed 21.01.2021

Passed for printing 27.01.2021

Артем Владимирович Косулин, ассистент кафедры оперативной хирургии и топографической анатомии им. проф. Ф.И. Валькера, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0002-9505-222X, hackenlad@mail.ru;

Дмитрий Викторович Елякин, детский хирург хирургического отделения № 2, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0002-6575-7464, dimaelkins@mail.ru;

Дарья Олеговна Корчагина, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0001-6035-6541, d_korchagina@bk.ru;

Наталья Александровна Лукина, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0002-8695-1645, lukinanatalyaa@yandex.ru;
Юлия Ивановна Шибутова, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0003-4707-1757, sbibutovayulia@gmail.com;
Елена Сергеевна Колесникова, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0000-0003-0791-2662, als.kolesnikova@gmail.com.

Artem Vladimirovich Kosulin, assistant professor, Department of Operative Surgery and Topographic Anatomy n.a. F.I. Walker, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0002-9505-222X, backenlad@mail.ru;
Dmitry Viktorovich Elyakin, pediatric surgeon, Surgical Department No. 2, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0002-6575-7464, dimaelkins@mail.ru;
Darya Olegovna Korchagina, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0001-6035-6541, d_korchagina@bk.ru;
Natalya Aleksandrovna Lukina, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0002-8695-1645, lukinanatalyaa@yandex.ru;
Yuliya Ivanovna Shibutova, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0003-4707-1757, sbibutovayulia@gmail.com;
Elena Sergeyevna Kolesnikova, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0000-0003-0791-2662, als.kolesnikova@gmail.com.

Федеральное государственное бюджетное учреждение
«Новосибирский научно-исследовательский институт
травматологии и ортопедии им. Я.А. Цивьяна»
Министерства здравоохранения Российской Федерации

Объявляет конкурсный прием

в ординатуру по специальностям «травматология и ортопедия», «нейрохирургия», «анестезиология-реаниматология» и в аспирантуру по направлению «Клиническая медицина» по специальностям «травматология и ортопедия», «нейрохирургия», «анестезиология-реаниматология»

Контактная информация: niito@niito.ru
Тел.: 8 (383) 363-39-81