



ТРАНСПЕДИКУЛЯРНАЯ ИМПЛАНТАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДВУХКОМПОНЕНТНОГО НАВИГАЦИОННОГО ШАБЛОНА ПРИ СУБКРИТИЧЕСКИХ РАЗМЕРАХ КОРНЯ ДУГИ

А.В. Косулин, Д.В. Елякин, Д.А. Сабурова, О.А. Гордиевских, А.Д. Герман, И.А. Булатова
Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет,
Санкт-Петербург, Россия

Цель исследования. Анализ результатов транспедикулярной имплантации с использованием двухкомпонентного навигационного шаблона при субкритических размерах корня дуги.

Материал и методы. В исследование включены 11 пациентов с деформациями позвоночника, которым при хирургическом лечении выполняли транспедикулярную имплантацию с использованием двухкомпонентных навигационных шаблонов с металлическим адаптером, управляющих как формированием транспедикулярного канала, так и установкой винта (всего 98 винтов, в том числе 60 — в позвонки с шириной корня дуги менее 3,5 мм). В качестве контрольной группы использовали ретроспективные данные 46 пациентов, которым имплантацию выполняли с применением шаблонов общепринятого дизайна, контролирующих только формирование транспедикулярного канала (всего 294 винта, в том числе 106 — в позвонки с субкритическими размерами корня дуги). Случаи мальпозиции с «пустым» корректным транспедикулярным каналом на КТ и без такового учитывали отдельно.

Результаты. При ширине корня дуги менее 3,5 мм различия в частоте некорректной имплантации без «пустого» транспедикулярного канала, связанной с нарушением позиционирования шаблона, были незначимы (8,3 % в исследуемой группе, 8,5 % — в контрольной), в то время как мальпозиции с «пустым» корректным каналом, связанные с отклонением винта от успешно сформированного отверстия, в исследуемой группе встречались значительно реже (3,6 %), чем в контрольной (17,5 %).

Заключение. При ширине корня дуги менее 3,5 мм применение двухкомпонентного навигационного шаблона, управляющего проведением транспедикулярного винта по ранее сформированному с использованием многогранного металлического адаптера канала, позволяет значительно сократить частоту мальпозиций, связанных с отклонением винта от заданной траектории, не оказывая существенного влияния на частоту некорректной имплантации вследствие нарушения позиционирования шаблона.

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

Для цитирования: Косулин А.В., Елякин Д.В., Сабурова Д.А., Гордиевских О.А., Герман А.Д., Булатова И.А. Транспедикулярная имплантация с использованием двухкомпонентного навигационного шаблона при субкритических размерах корня дуги // Хирургия позвоночника. 2024. Т. 21. № 4. С. 27–33. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2024.4.27-33>.

TRANSPEDICULAR IMPLANTATION USING A TWO-PART NAVIGATION TEMPLATE IN EXTREMELY SMALL PEDICLES

A.V. Kosulin, D.V. Elyakin, D.A. Saburova, O.A. Gordievskikh, A.D. German, I.A. Bulatova
St. Petersburg State Pediatric Medical University, St. Petersburg, Russia

Objective. To explore results of transpedicular screws insertion in extremely small pedicles using two-part navigation template.

Material and Methods. Eleven consecutive patients with spinal deformities were included in the study. During surgery pedicle screws were implanted using two-part navigation templates with metallic adapter that allow to guide screw insertion as well as pedicle drilling (total of 98 screws including 60 screws in pedicle width lesser than 3.5 mm). Retrospective control group consisted of 46 patients treated using common design navigation templates that guide pedicle drilling only (total of 294 screws including 106 screws in pedicle width lesser than 3.5 mm). Malpositions with “empty” correct transpedicular channel and without one were reported separately.

Results. In extremely small pedicles malposition without “empty” transpedicular channel (due to navigation template misplacement) rates were similar in both groups (8.3 % vs. 8.5 %; $p > 0.05$). Meanwhile malposition with “empty” transpedicular channel (because of secondary screw deviation) rate was significantly less in two-part template group than in common design template group (3.6 % vs. 17.5 %; $p < 0.05$).

Conclusion. In pedicle width less than 3.5 mm application of two-part navigation template guiding transpedicular channel drilling and screw insertion allows to reduce the rate of malposition due to secondary screw deviation significantly, while the difference in malposition rate because of template misplacement is insignificant as compared with navigation template of common design.

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

Please cite this paper as: Kosulin AV, Elyakin DV, Saburova DA, Gordievskikh OA, German AD, Bulatova IA. Transpedicular implantation using a two-part navigation template in extremely small pedicles. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2024;21(4):27–33. In Russian.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2024.4.27-33>.

Эффективность и безопасность индивидуальных навигационных шаблонов для формирования костного канала при установке транспедикулярных винтов подтверждена многочисленными исследованиями [1–3]. Вместе с тем в некоторых сериях частота мальпозиций достигает 7–8 % [4–6]. Анализ собственных наблюдений показал, что большая часть мальпозиций произошла при установке винтов в позвонки с субкритическими размерами корней дуг (менее 3,5 мм) [7]. Также были выявлены два типа мальпозиции: с наличием ясно различимого «пустого» корректного транспедикулярного канала вблизи винта (рис. 1) и без такового.

Данное наблюдение привело авторов к следующей рабочей гипотезе: отклонение от запланированной траектории может происходить непосредственно во время установки винта, и модификация навигационного шаблона, которая позволила бы управлять не только формированием канала, но и проведением имплантата, снизит частоту мальпозиций при субкритической ширине корня дуги.

Цель исследования – анализ результатов транспедикулярной имплантации с использованием двухкомпонентного навигационного шаблона при субкритических размерах корня дуги.

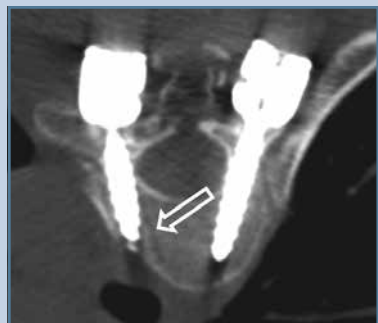


Рис. 1
 Мальпозиция с «пустым» корректным транспедикулярным каналом (отмечен стрелкой)

Материал и методы

В исследование включены 11 пациентов 11–17 лет (все женского пола) с деформациями позвоночника, которым при хирургическом лечении выполняли транспедикулярную имплантацию с использованием двухкомпонентных навигационных шаблонов (всего 98 винтов, в том числе 60 – в позвонки с субкритическими размерами корня дуги). В качестве контрольной группы использовали ретроспективные данные 46 пациентов 9–17 лет (15 мужского пола, 31 – женского), которым имплантацию выполняли с применением шаблонов общепринятого дизайна, контролирующих только формирование транспедикулярного канала (всего 294 винта, в том числе 106 – в позвонки с шириной основания дуги менее 3,5 мм). Ширину основания дуги измеряли на предоперационной КТ. Результаты имплантации оценивали на контрольных послеоперационных томограммах по системе двухмиллиметровых инкрементов [8]. Корректно установленными считали винты, расположенные внутрикостно либо перфорирующие медиальный кортикальный слой корня дуги не более чем на 2 мм. В случае мальпозиции дополнительно отмечали наличие или отсутствие на КТ «пустого» корректного транспедикулярного канала.

Сравнение результатов проводили как в целом для исследуемой и контрольной групп, так и отдельно для четырех интервалов ширины корня дуги (менее 3,5 мм, 3,5–5,9 мм, 6,0–7,4 мм, 7,5 мм и более [7]). С целью раздельного учета разных типов мальпозиции в группах сопоставляли долю некорректно установленных винтов без «пустого» канала от общего числа имплантатов. При сравнении частоты мальпозиции с наличием «пустого» канала данные случаи исключали из выборки. Для определения возможности считать встречаемость некорректной имплантации в определенном интервале ширины корня дуги пренебрежимой выполняли сравнение с виртуальной контрольной груп-

пой, в которой все винты установлены корректно.

Ширину корня дуги сравнивали между группами в целом, а также в пределах двух меньших интервалов. В связи с малой выборкой позвонков с шириной основания дуги 6 мм и более сравнение в этих интервалах не проводили.

Разработка двухкомпонентного навигационного шаблона. За основу взят описанный ранее двухуровневый навигационный шаблон [9] (рис. 2а). Тубусы-направители шаблона были изменены таким образом, что приняли вид цилиндров с осевым каналом, по диаметру соответствующим головке транспедикулярного винта. В опорной площадке создавали выемки, предотвращающие конфликт винта и навигационного шаблона (рис. 2б).

Также был смоделирован и изготовлен из металла (технология SLM) адаптер, позволяющий использовать тот же шаблон для просверливания транспедикулярного канала (рис. 3).

Техника транспедикулярной имплантации. После скелетирования задних структур запланированных для имплантации позвонков на них размещали опорную площадку шаблона. В каждый направитель поочередно устанавливали адаптер, с помощью дрели формировали транспедикулярные каналы (рис. 4а). После удаления адаптера по направлятелям устанавливали винты (рис. 4б).

Статистическая обработка данных. Для сравнения ширины основания дуги в исследуемых группах использовали критерий Манна – Уитни. Сравнение результатов имплантации осуществляли с помощью критерия χ^2 Пирсона и точного теста Фишера.

Результаты

Различия в частоте мальпозиции между группами в целом оказались незначимы, существенные различия подтверждены только для интервала ширины корня дуги менее 3,5 мм (табл. 1). Частота некорректной имплантации в интервале 3,5–5,9 мм

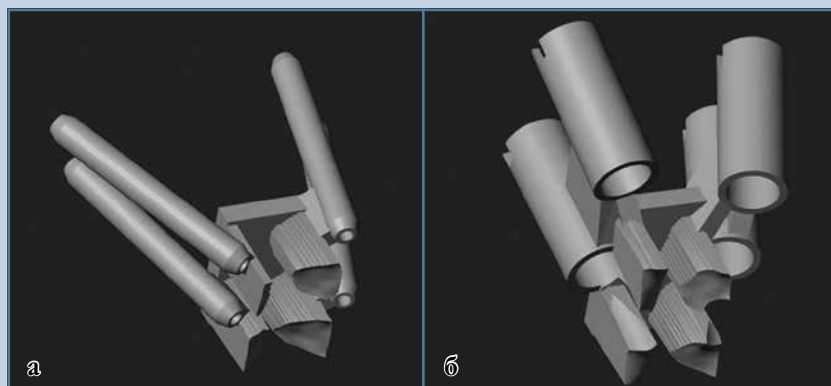


Рис. 2

Модели навигационных шаблонов: **а** – шаблон общепринятого дизайна; **б** – модифицированный навигационный шаблон



Рис. 3

Металлический адаптер для формирования транспедикулярного канала

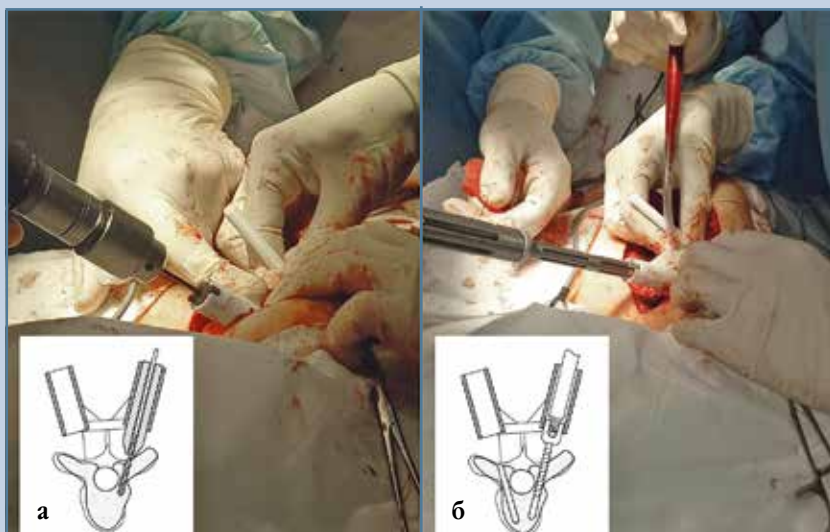


Рис. 4

Использование двухкомпонентного навигационного шаблона: **а** – формирование транспедикулярного канала с использованием адаптера; **б** – имплантация винта

в обеих группах была признана пренебрежимой (при сравнении с виртуальными контрольными группами без мальпозиций; $p > 0,05$).

Сравнение ширины основания дуги позвонков в группах показало, что в группе с использованием навигационного шаблона общепринятого дизайна размер корня дуги был значимо больше, чем в исследуемой группе. При сравнении ширины корня дуги в интервалах менее 3,5 мм и 3,5–5,9 мм подтверждено отсутствие значимых различий (табл. 2).

Сопоставление частоты различных типов мальпозиции при ширине корня дуги менее 3,5 мм продемонстрировало, что в группе с использованием двухкомпонентного навигационного шаблона некорректная имплантация с наличием «пустого» транспедикулярного канала встречалась значимо реже, в то время как встречаемость мальпозиций без указанного феномена была сопоставима (табл. 3).

Обсуждение

Различные типы мальпозиции на послеоперационных КТ позволяют предполагать, что в их основе лежат два разных механизма. При мальпозиции без «пустого» корректного транспедикулярного канала сверло исходно отклоняется от запланированной траектории, что, по-видимому, связано с нарушением позиционирования навигационного шаблона. Частота этого явления при ширине корня дуги менее 3,5 мм практически одинакова в обеих группах (8,3 % и 8,5 %; $p > 0,05$), в то время как при большей ширине ножки позвонка встречается пренебрежимо редко. Это означает, что при достаточной ширине корня дуги возможное смещение шаблона является допустимым и не приводит к мальпозиции. В этом контексте необходимо отметить, что ряд описанных серий 3D-ассистированных имплантаций, в которых 99–100 % винтов располагались корректно, были выполнены у пациентов старшего возраста с дегенеративными заболеваниями, для которых наличие малоразмерных

Таблица 1

Частота мальпозиций в группах с использованием навигационных шаблонов различного дизайна

Интервал ширины корня дуги	Двухкомпонентный навигационный шаблон	Шаблон общепринятого дизайна	Статистическая значимость различий
Менее 3,5 мм	7/60 (11,7 %)	26/106 (24,5 %)	$p < 0,05$
3,5–5,9 мм	2/32 (6,2 %)	4/108 (3,7 %)	$p > 0,05$
6,0–7,4 мм	0/3	0/39	—
7,5 мм и более	0/1	0/20	—
Всего	9/98 (9,2 %)	30/273 (11,0 %)	$p > 0,05$

Таблица 2

Ширина основания дуги инструментируемых позвонков

Интервал ширины корня дуги	Двухкомпонентный навигационный шаблон	Шаблон общепринятого дизайна	Статистическая значимость различий
Менее 3,5 мм	2,60 [2,00–3,10]	2,65 [2,20–3,00]	$p > 0,05$
3,5–5,9 мм	4,30 [4,00–4,95]	4,50 [3,88–5,10]	$p > 0,05$
Все позвонки	3,10 [2,50–4,10]	3,90 [2,90–5,60]	$p < 0,05$

Таблица 3

Частота различных типов мальпозиции при имплантации в корни дуги менее 3,5 мм

Тип мальпозиции	Двухкомпонентный навигационный шаблон	Шаблон общепринятого дизайна	Статистическая значимость различий
Без «пустого» транспедикулярного канала	5/60 (8,3 %)	9/106 (8,5 %)	$p > 0,05$
С наличием «пустого» транспедикулярного канала	2/55 (3,6 %)	17/97 (17,5 %)	$p < 0,05$

корней дуг позвонков не характерно [10–12]. Наличие «пустого» корректного транспедикулярного канала свидетельствует, что положение шаблона и ход сверла были правильными, однако в дальнейшем имплантируемый винт отклонился от заданной траектории. Для более корректного учета частоты данного механизма мальпозиции проводили сравнение доли успешно установленных винтов от успешно сформированных транспедикулярных каналов (мальпозиции первого типа исключались из выборки). Возможное объяснение отклоне-

ния винта от корректной траектории заключается в том, что, хотя использование навигационного шаблона позволяет сформировать транспедикулярный канал при неблагоприятных анатомических условиях более чем в 90 % случаев, при этом происходит перфорация или значительное истончение как медиального, так и латерального кортикального слоев корня дуги позвонка. В результате в наиболее узкой зоне медиально и латерально от корректного транспедикулярного канала появляются отделенные плотными заостренными участками кост-

ной ткани ложные ходы, в которые при последующей имплантации может ускользнуть винт (рис. 5).

Реализация данного механизма особенно характерна для установки винтов при субкритических значениях ширины корня дуги, однако принципиально возможна и при имплантации в ножки позвонков большого размера. Использование двухкомпонентного навигационного шаблона, управляющего как формированием транспедикулярного канала, так и последующим проведением винта, позволило значимо снизить частоту мальпозиций второго типа по сравнению с контрольной группой (3,6 % против 17,5 %; $p < 0,05$).

Ряд классификаций основания дуги позвонка, основанных на предоперационных измерениях их морфологических параметров, отражает снижение вероятности успешной имплантации при уменьшении размеров корня дуги [13–17], что соответствует полученным в ходе исследования данным. Примечательно, что различия результатов имплантации между группами в целом статистически не значимы, однако сравнение ширины корней дуг между группами выявило, что в контрольной группе в целом ширина ножек инструментируемых позвонков существенно больше, чем в исследуемой: 3,90 [2,90–5,60] мм против 3,10 [2,50–4,10] мм ($p < 0,05$). В то же время при ширине основания дуги менее 3,5 мм различия морфометрических параметров между группами значимыми не были, что позволило достоверно судить о различиях в частоте мальпозиций. Данное обстоятельство заставляет с осторожностью подходить к результатам сравнительных исследований, в которых не показано отсутствие значимых различий в морфологии инструментируемых позвонков, так как даже при отсутствии различий в поле, возрасте, патологии и величине деформации сопоставимость ширины корней дуг является допущением, не гарантирующим от смещения выборки.

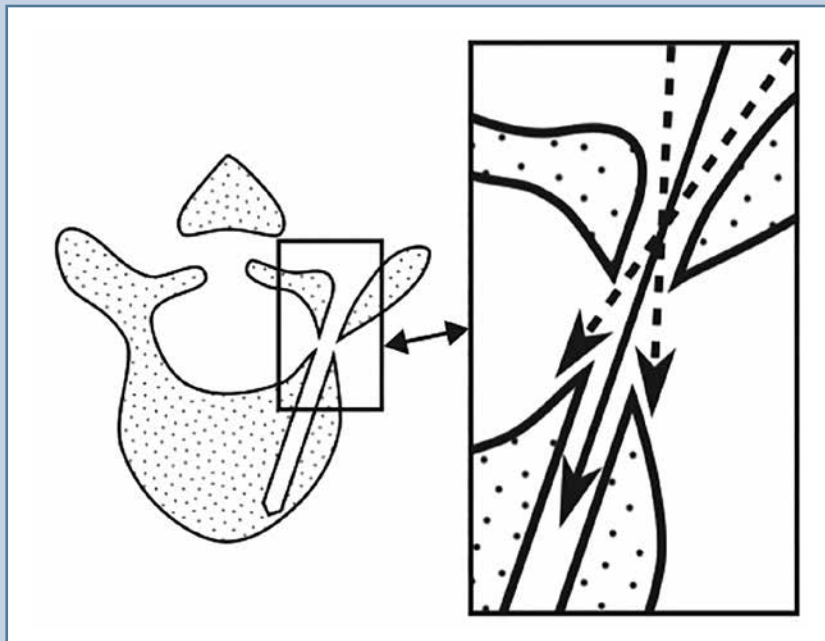


Рис. 5

Схематический рисунок механизма мальпозиции с «пустым» транспедикулярным каналом

Подавляющее большинство авторов рассматривают 3D-ассистенцию применительно только к формированию транспедикулярного канала, однако в раннем периоде распространения 3D-печати в хирургии позвоночника Sugawara et al. [18] предложили дополнительный шаблон для ассистированной установки винтов, который не получил распространения, по-видимому, в связи с необходимостью подготовки двойного количества трехмерных объектов, а также в целом удовлетворительными результатами применения навигационных шаблонов, не управляющих ходом имплантата. Проведенное исследование дает основания утверждать, что при неблагоприятных анатомических условиях 3D-ассистенция проведения винта необходима, а применение адаптера позволяет использовать один шаблон как для формирования транспедикулярного канала, так и непосредственно для имплантации.

Одним из потенциальных недостатков изготовленных из пластмассы навигационных шаблонов является взаимодействие относительно непрочного материала с металлическим сверлом, что может нарушать точность направления, а также приводить к контактной операции ранной пластики стружкой. Несмотря на то что сообщения об осложнениях, причиной которых послужило бы частичное разрушение шаблона сверлом, отсутствуют, некоторые коллективы предпочитают дополнять трехмерные объекты металлическими вставками в области рабочих отверстий [19, 20]. На наш взгляд, подобный подход неоправданно усложняет технологию производства навигационных шаблонов, а использование многоцветного металлического адаптера является более удачным решением.

Модификация навигационного шаблона, предотвращающая конфликт имплантируемых винтов и опорной площадки, предполагает создание в последней цилиндрических выемок,

захватывающих контактную поверхность и, таким образом, уменьшающих площадь поверхности опоры, однако отсутствие значимых различий между группами в частоте мальпозиций, связанных с нарушением позиционирования шаблона, свидетельствует, что данная модификация не влияет на стабильность навигационного приспособления.

Наиболее существенным ограничением двухкомпонентного навигационного шаблона является зависимость возможности его применения от использования конкретной модели транспедикулярных винтов с определенным диаметром головки. Многоцветный металлический адаптер может быть заменен требуемым количеством одноразовых пластиковых, что, однако, потребует дополнительных затрат времени и материала при подготовке к операции. Примечательно, что металлический адаптер был изготовлен с использованием аддитивной технологии SLM, а для его разработки использованы те же средства, что и для моделирования индивидуальных шаблонов. Таким образом, аддитивное производство не только обеспечивает возможность изготовления персонализированных навигационных устройств, пластиковых материалов [21] и имплантатов [22] с уникальными свойствами, но и открывает широкое поле для разработки инструментария, отвечающего специальным задачам хирургической вертебрологии.

Ограничения достоверности исследования: небольшая выборка, ретроспективные данные контрольной группы.

Заключение

При ширине корня дуги менее 3,5 мм применение двухкомпонентного навигационного шаблона, управляющего проведением транспедикулярного винта по ранее сформированному с использованием многоцветного металлического адаптера каналу, позволяет значительно сократить частоту мальпозиций, связанных

с отклонением винта от заданной траектории, не оказывая существенного влияния на частоту некорректной имплантации вследствие нарушения позиционирования шаблона.

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

Проведение исследования одобрено локальным этическим комитетом учреждения.

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

Литература/References

- Sharma S, Pahuja S, Gupta V, Singh G, Singh J. 3D printing for spine pathologies: a state-of-the-art review. Biomed Eng Lett. 2023;13:579–589. DOI: 10.1007/s13534-023-00302-x.
- Iqbal J, Zafar Z, Skandalakis G, Kuruba V, Madan S, Kazim SF, Bowers CA. Recent advances of 3D-printing in spine surgery. Surg Neurol Int. 2024;15:297. DOI: 10.25259/SNI_460_2024.
- Katiyar P, Boddapati V, Coury J, Roye B, Vitale M, Lenke L. Three-dimensional printing applications in pediatric spinal surgery: a systematic review. Global Spine J. 2024;14:718–730. DOI: 10.1177/21925682231182341
- Senkoylu A, Cetinkaya M, Daldal I, Nəcəfov 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.
- 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.
- 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.
- Косулин А.В., Елякин Д.В., Корниевский Л.А., Малеков Д.А., Васильева А.Г., Багатурия Г.О., Терехина Е.В. Ширина корня дуги позвонка как предиктор успешной транспедикулярной имплантации у детей // Детская хирургия. 2022. Т. 26. № 5. С. 261–266. [Kosulin AV, Elyakin DV, Kornievskiy LA, Malekov DA, Vasil'eva AG, Bagaturiya GO, Terekhina EV. The pedicle width predicts an accurate screw insertion. Detskaya khirurgiya (Russian Journal of Pediatric Surgery). 2022;26(5):261–266]. DOI: 10.5308/1560-9510-2022-26-5-261-266.
- 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.
- 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. [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. Russian Journal of Spine Surgery (Khirurgiya Pozvonochnika). 2021;18(2):26–33]. DOI: 10.14531/ss2021.2.26-33.
- 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.
- Marengo N, Matsukawa K, Monticelli M, Ajello M, Pacca P, Cofano F, Penner F, Zenga F, Ducati A, Garbossa D. Cortical bone trajectory screw placement accuracy with a patient-matched 3-dimensional printed guide in lumbar spinal surgery: a clinical study. World Neurosurg. 2019;130:e98–e104. DOI: 10.1016/j.wneu.2019.05.241.
- Chen H, Wu D, Yang H, Guo K. Clinical use of 3D printing guide plate in posterior lumbar pedicle screw fixation. Med Sci Monit. 2015;21:3948–3954. DOI: 10.12659/msm.895597.
- 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.
- 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.
- Jeswani S, Drazin D, Hsieh JC, Shweikeh F, Friedman E, Pashman R, Johnson JP, Kim TT. Instrumenting the small thoracic pedicle: the role of intraoperative computed tomography image-guided surgery. Neurosurg Focus. 2014;36:E6. DOI: 10.3171/2014.1.FOCUS13527.
- Sarwahi V, Sugarman EP, Wollowick AL, Amaral TD, Lo Y, Thornhill B. Prevalence, distribution, and surgical relevance of abnormal pedicles in spines with adolescent idiopathic scoliosis vs. no deformity: a CT-based study. J Bone Joint Surg Am. 2014;96:e92. DOI: 10.2106/JBJS.M.01058.
- Zhang Y, Xie J, Wang Y, Bi N, Zhao Z, Li T. Thoracic pedicle classification determined by inner cortical width of pedicles on computed tomography images: its clinical significance for posterior vertebral column resection to treat rigid and severe spinal deformities - a retrospective review of cases. BMC Musculoskelet Disord. 2014;15:278. DOI: 10.1186/1471-2474-15-278.
- 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.
- 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.
- Тория В.Г., Виссарионов С.В., Мануковский В.А., Першина П.А. Преимущества применения шаблонов-направителей у детей при коррекции врожденной деформации позвоночника и аномалии развития грудной клетки // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2024. Т. 12. № 2. С. 217–223. [Toriya VG, Vissarionov SV, Manukovskiy VA, Pershina PA. Advantages of using template guides in children for the correction of congenital spinal deformities and thoracic anomalies. Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery. 2024;12(2):217–223]. DOI: 10.17816/PTORS632132.
- Филатова О.О., Климов А.Г., Селезнев Б.В. Использование смеси трикальцийфосфата и полимолочной кислоты в качестве материалов для трехмерной печати аллопластических блоков // Педиатр. 2017. Т. 8. № 3. С. 47–50. [Filatova OO, Klimov AG, Seleznev BV. The usage of combination of tricalcium phosphate

and polylactic acid as materials for 3D printing of alloplastic blocks. *Pediatrician* (St Petersburg), 2017;8:47–50]. DOI: 10.17816/PED8347-50.

Адрес для переписки:

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

Статья поступила в редакцию 21.11.2024

Рецензирование пройдено 29.11.2024

Подписано в печать 04.12.2024

22. Li P, Jiang W, Yan J, Hu K, Han Z, Wang B, Zhao Y, Cui G, Wang Z, Mao K, Wang Y, Cui F. A novel 3D printed cage with microporous structure and in vivo fusion function. *J Biomed Mater Res A*. 2019;107:1386–1392. DOI: 10.1002/jbm.a.36652.

Address correspondence to:

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

Received 21.11.2024

Review completed 29.11.2024

Passed for printing 04.12.2024

Артем Владимирович Косулин, канд. мед. наук, доцент 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, врач-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 Алексеевна Сабурова, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0009-0009-5175-9504, saburova.d@yandex.ru;

Ольга Андреевна Гордиевских, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0009-0007-6561-8812, olgagordievskib@yandex.ru;

Арина Денисовна Герман, студентка педиатрического факультета, Санкт-Петербургский государственный педиатрический медицинский университет, Россия, 194100, Санкт-Петербург, ул. Литовская, 2, ORCID: 0009-0005-3628-9437, arin.german@yandex.ru;

Ирина Анатольевна Булатова, канд. мед. наук, доцент 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: 0000-0002-1112-6966, irbulat@mail.ru.

Artem Vladimirovich Kosulin, MD, PhD, associate 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, hackenlad@mail.ru;

Dmitriy 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 Alekseyevna Saburova, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0009-0009-5175-9504, saburova.d@yandex.ru;

Olga Andreyevna Gordievskikh, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0009-0007-6561-8812, olgagordievskib@yandex.ru;

Arina Denisovna German, student, Pediatric Faculty, St. Petersburg State Pediatric Medical University, 2 Litovskaya str., St. Petersburg, 194100, Russia, ORCID: 0009-0005-3628-9437, arin.german@yandex.ru;

Irina Anatolyevna Bulatova, MD, PhD, associate 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: 0000-0002-1112-6966, irbulat@mail.ru.