

УДК 616.711-007.29-053.1-089

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

Оригинальное исследование



Оценка эффективности применения нового типа индивидуального шаблона-направителя с функцией визуального контроля у детей с врожденной деформацией позвоночника

В.Г. Тория, С.В. Виссарионов, П.А. Першина

Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера, Санкт-Петербург, Россия

АННОТАЦИЯ

Обоснование. Использование индивидуальных хирургических шаблонов для установки транспедикулярных винтов улучшает точность и безопасность операций при врожденных деформациях позвоночника у детей.

Цель — разработать и провести сравнительный анализ эффективности нового хирургического шаблона-направителя с вырезами для визуального контроля при установке транспедикулярных винтов у пациентов детского возраста с врожденными деформациями позвоночника, сопровождающимися искривлениями грудной клетки.

Материалы и методы. В исследование включены 30 пациентов с врожденной деформацией позвоночника и грудной клетки, которые проходили хирургическое лечение с июня 2022 по июнь 2023 г. Пациенты были разделены на две группы: с использованием нового навигационного шаблона и с применением метода «свободной руки». Точность установки винтов оценивали по шкале S.D. Gertzbein на основе данных послеоперационных компьютерных томографий. Результаты сравнивали с помощью *t*-теста Стьюдента для независимых выборок, так как данные имели нормальное распределение, что проверяли с помощью теста Шапиро – Уилка. Значение $p < 0,05$ считали статистически значимым.

Результаты. Новый шаблон продемонстрировал высокую точность — 97,7 % винтов были установлены без отклонений (Grade 0). Только для 2,3 % винтов отклонение составило до 2 мм (Grade I), что не повлияло на развитие осложнений. При применении метода «свободной руки» отмечены более низкие показатели точности: около 89,7 % винтов были установлены корректно (Grade 0), для 7,5 % отклонение составило до 2 мм (Grade I) и для 2,8 % — более 2 мм (Grade II и выше).

Заключение. Новый индивидуальный навигационный шаблон с вырезами для визуального контроля обеспечивает высокую точность, надежность и удобство использования, что делает его перспективным инструментом для клинической практики при лечении врожденных деформаций позвоночника.

Ключевые слова: аномалии развития позвоночника; врожденная деформация позвоночника; шаблоны-направители; транспедикулярные винты; хирургическое лечение; точность имплантации.

Как цитировать

Тория В.Г., Виссарионов С.В., Першина П.А. Оценка эффективности применения нового типа индивидуального шаблона-направителя с функцией визуального контроля у детей с врожденной деформацией позвоночника // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2024. Т. 12. № 4. С. 473–480. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

Original Study Article

Evaluation of the efficacy of a novel customized guide with visual control function in children with congenital spinal deformity

Vakhtang G. Toriya, Segrei V. Vissarionov, Polina A. Pershina

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

ABSTRACT

BACKGROUND: The use of customized surgical guides for transpedicular screw placement improves the accuracy and safety of the procedure in children with congenital spinal deformities.

AIM: The aim of the study was to develop and perform a comparative analysis of the effectiveness of a new surgical guide with cutouts for visual control during transpedicular screw placement in pediatric patients with congenital spinal deformities associated with thoracic curvatures.

MATERIALS AND METHODS: The study included 30 patients with congenital deformities of the spine and thorax who underwent surgery between June 2022 and June 2023. The patients were divided into the group that used the new guide and the group that used the freehand technique. Screw placement accuracy was assessed using the Gertzbein scale based on postoperative computed tomography data. Results were compared using Student's *t*-test for independent samples because the data were normally distributed, as verified by the Shapiro–Wilk test. Statistical significance was defined as a $p < 0.05$.

RESULTS: The new guide demonstrated high accuracy, with 97.7% of screws placed without deviation (Grade 0). Only 2.3% of the screws deviated up to 2 mm (Grade I), which did not affect the complication rates. The freehand technique had lower accuracy rates; approximately 89.7% of the screws were placed correctly (Grade 0), 7.5% had a deviation of up to 2 mm (Grade I), and 2.8% had a deviation of more than 2 mm (Grade II and above).

CONCLUSIONS: A new customized guide with visual control cutouts provides high accuracy, reliability and ease of use, making it a promising clinical tool for treating congenital spinal deformities.

Keywords: spinal developmental abnormalities; congenital spinal deformities; surgical guides; transpedicular screws; surgical procedures; implantation accuracy.

To cite this article

Toriya VG, Vissarionov SV, Pershina PA. Evaluation of the efficacy of a novel customized guide with visual control function in children with congenital spinal deformity. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2024;12(4):473–480. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

Received: 10.11.2024

Accepted: 06.12.2024

Published online: 16.12.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

原创研究

使用具备可视化控制功能的新型个性化导向模板评估在儿童先天性脊柱畸形中的应用效果

Vakhtang G. Toriya, Segrei V. Vissarionov, Polina A. Pershina

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

摘要

背景。在治疗儿童先天性脊柱畸形时,使用个性化的外科导向模板安装椎弓根螺钉能够显著提高手术的精准性和安全性。

研究目的。开发并对比分析一种新型外科导向模板的应用效果,该模板在安装椎弓根螺钉时具备可视化控制功能,适用于伴有胸廓畸形的儿童先天性脊柱畸形患者。

材料与方法。本研究纳入了2022年6月至2023年6月接受外科治疗的30名伴有先天性脊柱和胸廓畸形的患者。分组方法:实验组(15名)–使用新型导航模板;对照组(15名)–采用传统“自由手”技术。评估方法:术后通过计算机断层扫描(CT)数据,使用S.D. Gertzbein评分量表评估螺钉植入的准确性;数据分布正态性通过Shapiro-Wilk检验验证;两组结果通过独立样本t检验进行比较,统计显著性设为 $p < 0.05$ 。

结果。实验组(新型导航模板):97.7%的螺钉无偏差(Grade 0);2.3%的螺钉偏差不超过2毫米(Grade I);无出现超过2毫米偏差的螺钉(Grade II及以上);无并发症报告。对照组(“自由手”技术):89.7%的螺钉无偏差(Grade 0);7.5%的螺钉偏差在2毫米以内(Grade I);2.8%的螺钉偏差超过2毫米(Grade II及以上)。

结论。新型个性化导航模板具备可视化控制功能,可显著提高椎弓根螺钉植入的精准性,减少偏差,且未导致并发症。这一工具在治疗先天性脊柱畸形的临床实践中表现出良好的可靠性和便捷性,具有广阔的应用前景。

关键词: 脊柱发育异常;先天性脊柱畸形;导向模板;椎弓根螺钉;手术治疗;植入精度。

引用本文

Toriya VG, Vissarionov SV, Pershina PA. 使用具备可视化控制功能的新型个性化导向模板评估在儿童先天性脊柱畸形中的应用效果. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2024;12(4):473–480. DOI: <https://doi.org/10.17816/PTORS641742>

收到: 10.11.2024

接受: 06.12.2024

发布日期: 16.12.2024

ОБОСНОВАНИЕ

Хирургическое лечение пациентов детского возраста с врожденными деформациями позвоночника — актуальный и сложный вопрос современной вертебрологии. Частота встречаемости врожденной патологии позвоночника составляет 2–3 % среди всех пациентов со сколиотическими деформациями [1]. Согласно литературным источникам, в которых представлен анализ естественного течения врожденных деформаций позвоночника, вероятность прогрессирования кифотической и сколиотической деформации достигает 40° за 10 лет [2]. Неуклонное прогрессирование деформации позвоночника негативно влияет на функцию дыхательной, сердечно-сосудистой и нервной систем, приводя к формированию синдрома кардиопульмональной недостаточности [3]. С течением времени формируются выраженные функциональные нарушения со стороны позвоночного столба и косметический дефект, что приводит к снижению двигательной активности, а также значительно ухудшает качество жизни пациентов детского возраста [4]. Нередко такое течение заболевания приводит к развитию инвалидности в молодом возрасте.

Современные методики хирургического лечения прогрессирующих форм врожденного сколиоза направлены на коррекцию искривления позвоночника и сохранение достигнутого эффекта в процессе роста ребенка. В последние годы технология коррекции врожденной деформации позвоночника предусматривает использование позвоночных металлоконструкций с транспедикулярной фиксацией опорных элементов [5]. Данный тип металлоконструкции позволяет достичь максимально эффективной коррекции врожденного искривления, наиболее обоснован с точки зрения биомеханики позвоночника и способен обеспечить сохранение достигнутого результата в отдаленном послеоперационном периоде. Ключевой момент хирургического вмешательства, определяющий эффективность и безопасность транспедикулярной фиксации, — корректное проведение и установка опорных элементов металлоконструкции. Безопасность и точность позиционирования транспедикулярных винтов критически важны при оценке качества хирургического лечения и для минимизации возможных осложнений. В связи с этим на сегодняшний день в клинической практике широко применяют различные методы навигации, такие как визуализация анатомических ориентиров (метод «свободной руки»), специальные навигационные системы и комплексы, а также различные типы шаблонов-направителей [6, 7]. Широко распространенные методы установки транспедикулярных опорных элементов, включая метод «свободной руки», характеризуются недостаточной точностью и высоким риском мальпозиции винта, что может стать причиной возникновения опасных осложнений, в том числе повреждения сосудисто-нервных структур [8–10]. Использование навигационных систем, таких как мультиспиральная компьютерная

томография (КТ) или рентгенологический этапный контроль, также ограничено ввиду в первую очередь высокой лучевой нагрузки на пациента детского возраста и операционную бригаду, значительной стоимости оборудования, длительности процедуры и риска развития инфекционных осложнений [11].

В связи с этим в последнее время большую популярность приобретают аддитивные технологии, позволяющие персонифицировать хирургическое вмешательство, повысить эффективность и безопасность операции для пациентов детского возраста с патологией позвоночника [12].

Цель — разработать и провести сравнительный анализ эффективности нового хирургического шаблона-направителя с вырезами для визуального контроля при установке транспедикулярных винтов у пациентов детского возраста с врожденными деформациями позвоночника, сопровождающимися искривлениями грудной клетки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

Дизайн и проектирование нового типа навигационного шаблона

Навигационный шаблон-направитель с вырезами для визуального контроля (рисунок) изготавливают методом 3D-печати в виде монолитной конструкции из биосовместимого пластика. Каркас шаблона обладает опорной площадкой, идеально повторяющей контуры задних структур позвонка — дуги, остистого отростка и фасеточных суставов, и оснащен двумя контралатеральными тубусами-направителями. В каркасе шаблона предусмотрены вырезы для визуального контроля: один на уровне вершины остистого отростка и два в проекции фасеточных суставов. Эти вырезы позволяют контролировать корректность позиционирования шаблона к задним костным структурам позвонка и его прилегание к ним.

Шаблон обеспечивает надежную фиксацию на дорсальных структурах позвонка, исключая возможность смещения в аксиальной и сагиттальной плоскостях.

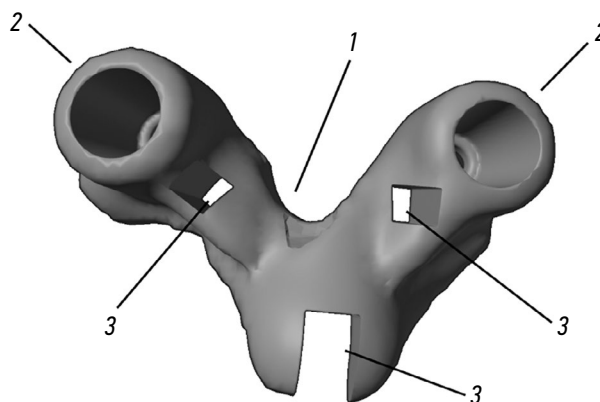


Рисунок. Общий вид шаблона (вид сверху): 1 — корпус шаблона; 2 — тубусы-направители; 3 — вырезы для визуального контроля

Дополнительно он позволяет визуально оценить точность позиционирования и четкость прилегания перед этапом формирования костных каналов для транспедикулярных винтов.

Интраоперационное применение

Во время операции, после скелетирования задних структур позвонка, индивидуальный шаблон-направитель устанавливают на задние костные структуры позвонка так, чтобы его опорная площадка точно соответствовала рельефу анатомических структур. Затем через вырезы для визуального контроля оценивают правильность позиционирования и четкость прилегания шаблона-направителя. Убедившись в плотном прилегании направителя к задним костным структурам, через тубусы-направители, встроенные в каркас шаблона, высокооборотной дрелью формируют костные каналы для установки транспедикулярных винтов в тело позвонка.

После этого устройство извлекают из операционного поля и по сформированным костным каналам устанавливают транспедикулярные винты.

Пациенты и клиническая часть

В исследование включено 30 пациентов с врожденной деформацией грудного отдела позвоночника и деформацией грудной клетки, которым были выполнены хирургическая коррекция врожденной деформации и стабилизация достигнутого результата в период с июня 2022 по июнь 2023 г. в отделении патологии позвоночника и нейрохирургии НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера. Пациенты были разделены на две группы. В первой группе ($n = 15$) при хирургическом лечении использовали новый навигационный шаблон-направитель с вырезами для визуального контроля, во второй группе ($n = 15$) опорные элементы конструкции устанавливали методом «свободной руки».

Критерии включения в исследование: врожденная деформация грудного отдела позвоночника в сочетании с деформацией грудной клетки и возраст пациентов от 5 до 9 лет. Критерии исключения из исследования: ранее проведенное хирургическое вмешательство в области врожденной деформации и аномалии развития позвоночного канала и спинного мозга.

В ходе исследования оценивали:

- возраст и пол ребенка;
- величину сколиотической деформации (по методу Cobb);
- данные КТ позвоночника до и после хирургического лечения;
- количество сформированных каналов и установленных винтов;
- время формирования костного канала;
- развитие осложнений в послеоперационном периоде, включая инфекционные, неврологические и дестабилизацию металлоконструкции, в течение 1,5 года.

Оценка результатов хирургического лечения

Корректность положения транспедикулярных винтов оценивали визуально по их расположению на послеоперационных рентгенограммах и КТ по шкале, предложенной S.D. Gertzbein [13]. Сравнивали время формирования костного канала в обеих группах исследования, что позволило определить эффективность навигационного шаблона в сравнении с методом «свободной руки».

Для сопоставления результатов использовали t -тест Стьюдента для независимых выборок, так как данные были нормально распределены, что проверяли с помощью теста Шапиро – Уилка. Значение $p < 0,05$ считали статистически значимым.

РЕЗУЛЬТАТЫ

Клинические данные пациентов

Характеристики включенных в анализ пациентов представлены в табл. 1.

Пациенты первой группы ($n = 15$) были прооперированы с использованием нового шаблона-направителя с вырезами для визуального контроля. Средний возраст пациентов составил $6,93 \pm 1,28$ года, из них — 6 мальчиков и 9 девочек. Средняя величина сколиотической дуги до операции составила $32,47 \pm 6,12^\circ$, средняя величина локального кифоза — $17,27 \pm 2,37^\circ$. Установлено 88 транспедикулярных винтов, число опор варьировало от 4 до 8.

Во второй группе ($n = 15$) хирургическое лечение выполнено с применением метода «свободной руки» для установки транспедикулярных винтов. Средний возраст пациентов составил $7,4 \pm 1,45$ года, из них — 4 мальчика и 11 девочек. Средняя величина сколиотической дуги до операции составила $32,6 \pm 5,67^\circ$, средняя величина локального кифоза — $16,47 \pm 3,29^\circ$. Установлено 78 транспедикулярных винтов, число опор варьировало от 4 до 6.

Обе группы исследования были сопоставимы по основным клиническим характеристикам, что обеспечивает возможность сравнения результатов исследования и оценки эффективности и точности нового навигационного шаблона-направителя с вырезами для визуального контроля по сравнению с традиционным методом «свободной руки».

Анализ времени формирования костных каналов

После подсчета времени, затраченного на формирование костного канала перед установкой транспедикулярных опорных элементов металлоконструкции в обеих группах исследования, был осуществлен количественный статистический анализ. Среднее время формирования одного канала составило $52,6 \pm 2,6$ с в группе с использованием нового навигационного шаблона и $134,7 \pm 5,3$ с в группе

Таблица 1. Клинические данные пациентов

Группа 1					
пациент	пол	возраст	количество винтов	величина сколиотической дуги, град. по Cobb	величина локальной кифотической деформации, град.
1	М	5	4	34	19
2	М	7	4	30	20
3	Ж	7	5	37	19
4	Ж	7	6	26	21
5	Ж	9	8	34	19
6	Ж	6	4	29	17
7	М	9	5	39	14
8	М	9	7	39	14
9	Ж	6	7	23	19
10	М	6	4	33	17
11	Ж	6	8	22	14
12	Ж	8	8	42	15
13	Ж	7	8	27	15
14	М	6	5	34	19
15	Ж	6	5	38	17

Группа 2					
1	М	8	4	36	17
2	М	8	6	35	19
3	Ж	8	6	25	12
4	Ж	9	5	31	18
5	Ж	7	4	41	12
6	Ж	5	5	29	20
7	Ж	8	6	28	12
8	Ж	8	6	38	21
9	Ж	9	5	40	13
10	Ж	8	4	33	14
11	М	5	6	39	18
12	Ж	9	6	27	15
13	Ж	5	5	23	21
14	М	6	5	29	19
15	Ж	8	5	35	16

Таблица 2. Корректность положения винтов по шкале S.D. Gertzbein

Показатель корректности (grade)	Количество винтов в группе 1	Доля (группа 1), %	Количество винтов в группе 2	Доля (группа 2), %
0	86	97,7	66	84,6
1	2	2,3	9	11,5
2	0	0	3	3,8
3	0	0	0	0
Всего	88	100	78	100

с применением метода «свободной руки» ($p < 0,005$). Таким образом, в случае навигационного шаблона-направителя с вырезами для визуального контроля потребовалось достоверно меньше времени для формирования канала по сравнению с традиционным методом.

Следует отметить, что время формирования одного костного канала может сильно различаться из-за индивидуальных анатомических особенностей костных структур пациентов.

Анализ корректности положения транспедикулярных винтов металлоконструкции

Результаты оценки корректности положения транспедикулярных винтов после операции, выполненной по шкале S.D. Gertzbein, представлены в табл. 2.

На основании полученных результатов можно заключить, что новый навигационный шаблон продемонстриро-

вал более высокую точность установки транспедикулярных опорных элементов по сравнению с методом «свободной руки». Согласно полученным в ходе исследования результатам 97,7 % транспедикулярных винтов были установлены корректно (что соответствовало показателю Grade 0). В группе, в которой применяли метод «свободной руки», доля корректно установленных винтов составила 84,6 %. Смещение винтов в пределах до 2 мм (Grade I) произошло в 2,3 % случаев при использовании шаблона-направителя и в 11,5 % случаев при применении метода «свободной руки». В группе пациентов без шаблона смещение винтов более 2 мм (Grade II) отмечено в 3,8 % случаев.

В ходе наблюдения за пациентами обеих групп исследования в послеоперационном периоде не было зафиксировано осложнений.

ОБСУЖДЕНИЕ

Проанализированные в исследовании данные подтверждают высокую эффективность, точность и удобство нового навигационного шаблона с вырезами при хирургическом лечении детей с врожденной деформацией позвоночника. Из 88 транспедикулярных винтов 97,7 % (86 винтов) были установлены корректно (Grade 0), что свидетельствует о высокой точности методики. Только для двух винтов (2,3 %) зарегистрировано смещение до 2 мм (Grade I), что также можно считать удовлетворительным результатом, не влияющим на развитие осложнений мальпозиции опорных элементов.

Вырезы не снижают плотности прилегания шаблона к костным структурам, обеспечивая при этом визуальный контроль стабильного прилегания последнего к задним костным структурам и высокую точность установки винтов. Этот результат согласуется с литературными данными, подтверждающими преимущество индивидуальных шаблонов-направителей [14–18]. Так, например, P.A.J. Pijker и соавт. отмечают высокую точность и корректность установки винтов. Согласно их анализу 3D-отклонений, среднее отклонение точки входа составило $1,40 \pm 0,81$ мм, а среднее угловое отклонение — $6,70 \pm 3,77^\circ$. Угловое отклонение оказалось значительно больше в сагиттальной плоскости по сравнению с аксиальной ($p = 0,02$). Все винты были классифицированы как безопасные (100 %), без повреждений нервно-сосудистых структур, нарушения целостности стенок ножек дуги позвонка, что также свидетельствует о надежности данной методики [19].

Важно отметить, что во многих исследованиях приведены более низкие показатели точности, скорости и корректности положения транспедикулярных винтов и большая частота осложнений при использовании традиционных методов в сравнении с применением шаблонов-направителей. Например, при методе «свободной руки» общая точность установки винтов достигает 73 % [20], при этом около 11,9 % случаев сопровождаются сме-

щением винтов более чем на 2 мм, что повышает риск осложнений [21].

Разработанный индивидуальный шаблон-направитель характеризуется высокой точностью прилегания к задним костным структурам позвонка, что создает оптимальные условия его стабильности при формировании костных каналов для опорных элементов конструкции, обеспечивая оптимальные условия для точной установки транспедикулярных винтов. В нашем исследовании не было зарегистрировано случаев смещения шаблона-направителя в процессе формирования каналов для опорных элементов спинальной системы, что подтверждает его высокую стабильность и надежность.

Новый шаблон-направитель с вырезами для визуального контроля отличается высокой точностью установки транспедикулярных винтов, надежностью и удобством при выполнении хирургических вмешательств, направленных на коррекцию врожденной деформации позвоночника, что может значительно улучшить результаты хирургического лечения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В рамках данного исследования были изучены результаты применения индивидуального навигационного шаблона-направителя с отверстиями для визуального контроля. Новый шаблон продемонстрировал высокую точность позиционирования на задних костных структурах позвонка и установки опорных элементов металлоконструкции, а также значительное сокращение времени формирования костных каналов в ходе хирургического вмешательства. Полученные данные позволяют утверждать, что разработанный шаблон обладает значительным потенциалом для улучшения качества хирургического лечения детей с врожденными деформациями позвоночника. Внедрение навигационного шаблона-направителя в клиническую практику открывает новые перспективы в области использования аддитивных технологий с целью повышения безопасности и эффективности хирургических вмешательств у детей, особенно в сложных клинических ситуациях.

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

Источник финансирования. Исследование выполнено в рамках темы НИР «Комплексное лечение детей с врожденной деформацией грудной клетки, позвоночника и нестабильностью грудино-реберного комплекса» (регистрационный номер 1023021600029-8-3.2.10).

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

Этический комитет. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБУ «НМИЦ детской травматологии и ортопедии имени Г.И. Турнера» Минздрава России (протокол № 24-3-1 от 17.05.2024).

Информированное согласие на публикацию. Авторы получили письменное согласие законных представителей пациентов на публикацию медицинских данных.

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

Наибольший вклад распределен следующим образом: *В.Г. Тория* — написание разделов статьи, сбор данных, анализ литературы, создание иллюстраций; *С.В. Виссарионов* — этапное редактирование текста статьи; *П.А. Першина* — написание разделов статьи, статистический анализ данных, анализ литературы.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Cho W., Shepard N., Arlet V. The etiology of congenital scoliosis: genetic vs. environmental — a report of three monozygotic twin cases // *Eur Spine J.* 2018. Vol. 27, Suppl. 3. P. 533–537. doi: 10.1007/s00586-018-5604-2
2. Blevins K., Battenberg A., Beck A., Management of scoliosis // *Adv Pediatr.* 2018. Vol. 65, N 1. P. 249–266. doi: 10.1016/j.yapd.2018.04.013
3. Lin Y., Shen J., Chen L., et al. Cardiopulmonary function in patients with congenital scoliosis: an observational study // *J Bone Joint Surg Am.* 2019. Vol. 101, N 12. P. 1109–1118. doi: 10.2106/jbjs.18.00935
4. Mackel C.E., Jada A., Samdani A.F., et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis // *Childs Nerv Syst.* 2018. Vol. 34, N 11. P. 2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6
5. Farley F.A., Li Y., Jong N., et al. Congenital scoliosis SRS-22 outcomes in children treated with observation, surgery, and VEPTR // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014. Vol. 39, N 22. P. 1868–1874. doi: 10.1097/BRS.0000000000000546
6. Rawicki N., Dowdell J.E., Sandhu H.S. Current state of navigation in spine surgery // *Ann Transl Med.* 2021. Vol. 9, N 1. P. 85. doi: 10.21037/atm-20-1335
7. Fichtner J., Hofmann N., Rienmüller A., et al. Revision rate of misplaced pedicle screws of the thoracolumbar spine — comparison of three-dimensional fluoroscopy navigation with freehand placement: a systematic analysis and review of the literature // *World Neurosurg.* 2018. Vol. 109. P. e24–e32. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.091
8. Devezza L.R., Chhabra B.N., Heydemann J., et al. Comparison of baseline characteristics and postoperative complications in neuromuscular, syndromic and congenital scoliosis // *J Pediatr Orthop Part B.* 2023. Vol. 32, N 4. P. 350–356. doi: 10.1097/bpb.0000000000000996
9. Karapinar L., Erel N., Ozturk H., et al. Pedicle screw placement with a free hand technique in thoracolumbar spine: is it safe? // *J Spinal Disord Tech.* 2008. Vol. 21, N 1. P. 63–67. doi: 10.1097/bsd.0b013e3181453dc6
10. Parker S.L., McGirt M.J., Farber S.H., et al. Accuracy of free-hand pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: analysis of 6816 consecutive screws // *Neurosurgery.* 2011. Vol. 68, N 1. P. 170–178. doi: 10.1227/neu.0b013e3181fdaf4
11. Guo X., Gong J., Zhou X., et al. Comparison and evaluation of the accuracy for thoracic and lumbar pedicle screw fixation in early-onset congenital scoliosis children // *Discov Med.* 2024. Vol. 36, N 181. P. 256–265. doi: 10.24976/discov.med.202436181.24
12. Wallace N., Schaffer N., Aleem I., et al. 3D-printed patient-specific spine implants: a systematic review // *Clin Spine Surg.* 2020. Vol. 33, N 10. P. 400–407. doi: 10.1097/bsd.0000000000001026
13. Adamski S., Stogowski P., Ročławski M., et al. Review of currently used classifications for pedicle screw position grading in cervical, thoracic and lumbar spine // *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol.* 2023. Vol. 88, N 4. P. 165–171. doi: 10.31139/chnriop.2023.88.4.2
14. Marengo N., Matsukawa K., Monticelli M., et al. Cortical bone trajectory screw placement accuracy with a patient-matched 3-dimensional printed guide in lumbar spinal surgery: a clinical study // *World Neurosurg.* 2019. Vol. 130. N. e98–e104. doi: 10.1016/j.wneu.2019.05.241
15. Katiyar P., Boddapati V., Coury J. et al. Three-dimensional printing applications in pediatric spinal surgery: a systematic review // *Global Spine J.* 2024. Vol. 14, N 2. P. 718–730. doi: 10.1177/21925682231182341
16. Cao J., Zhang X., Liu H., et al. 3D printed templates improve the accuracy and safety of pedicle screw placement in the treatment of pediatric congenital scoliosis // *BMC Musculoskelet Disord.* 2021. Vol. 22, N 1. P. 1014. doi: 10.1186/s12891-021-04892-4
17. Тория В.Г., Виссарионов С.В. Оценка эффективности использования нового типа индивидуального навигационного шаблона для установки транспедикулярных винтов при одностороннем доступе у детей с врожденной деформацией позвоночника и аномалией развития грудной клетки // *Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста.* 2024. Т. 12, № 3. С. 349–359. doi: 10.17816/ptors634877
18. Тория В.Г., Виссарионов С.В., Мануковский В.А., и др. 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. EDN: CPUTOA doi: 10.17816/ptors632132
19. Pijpker P.A.J., Kraeima J., Witjes M.J.H., et al. Accuracy of patient-specific 3D-printed drill guides for pedicle and lateral mass screw insertion // *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021. Vol. 46, N 3. P. 160–168. doi: 10.1097/brs.00000000000003747
20. Modi H.N., Suh S.W., Fernandez H., et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique // *European Spine Journal.* 2008. Vol. 17, N 12. P. 1686–1696. doi: 10.1007/s00586-008-0795-6
21. Ansorge A., Sarwahi V., Bazin L., et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement for treating adolescent idiopathic scoliosis: a narrative review comparing available techniques // *Diagnostics (Basel)*. 2023. Vol. 13, N 14. ID 2402. doi: 10.3390/diagnostics13142402

REFERENCES

1. Cho W, Shepard N, Arlet V. The etiology of congenital scoliosis: genetic vs. environmental — a report of three monozygotic twin cases. *Eur Spine J.* 2018;27(Suppl 3):533–537. doi: 10.1007/s00586-018-5604-2
2. Blevins K, Battenberg A, Beck A. Management of scoliosis. *Adv Pediatr.* 2018;65(1):249–266. doi: 10.1016/j.yapd.2018.04.013
3. Lin Y, Shen J, Chen L, et al. Cardiopulmonary function in patients with congenital scoliosis: an observational study. *J Bone Joint Surg Am.* 2019;101(12):1109–1118. doi: 10.2106/jbjs.18.00935
4. Mackel CE, Jada A, Samdani AF, et al. A comprehensive review of the diagnosis and management of congenital scoliosis. *Childs Nerv Syst.* 2018;34(11):2155–2171. doi: 10.1007/s00381-018-3915-6

5. Farley FA, Li Y, Jong N, et al. Congenital scoliosis SRS-22 outcomes in children treated with observation, surgery, and VEPTR. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2014;39(22):1868–1874. doi: 10.1097/BRS.0000000000000546
6. Rawicki N, Dowdell JE, Sandhu HS. Current state of navigation in spine surgery. *Ann Transl Med*. 2021;9(1):85. doi: 10.21037/atm-20-1335
7. Fichtner J, Hofmann N, Rienmüller A, et al. Revision rate of misplaced pedicle screws of the thoracolumbar spine – comparison of three-dimensional fluoroscopy navigation with freehand placement: a systematic analysis and review of the literature. *World Neurosurg*. 2018;109:e24–e32. doi: 10.1016/j.wneu.2017.09.091
8. Devezá LR, Chhabra BN, Heydemann J, et al. Comparison of baseline characteristics and postoperative complications in neuromuscular, syndromic and congenital scoliosis. *J Pediatr Orthop Part B*. 2023;32(4): 350–356. doi: 10.1097/bpb.0000000000000996
9. Karapinar L, Erel N, Ozturk H, et al. Pedicle screw placement with a free hand technique in thoracolumbar spine: is it safe? *J Spinal Disord Tech*. 2008;21(1):63–67. doi: 10.1097/bsd.0b013e3181453dc6
10. Parker SL, McGirt MJ, Farber SH, et al. Accuracy of free-hand pedicle screws in the thoracic and lumbar spine: analysis of 6816 consecutive screws. *Neurosurgery*. 2011;68(1):170–178. doi: 10.1227/neu.0b013e3181fdaf4
11. Guo X, Gong J, Zhou X, et al. Comparison and evaluation of the accuracy for thoracic and lumbar pedicle screw fixation in early-onset congenital scoliosis children. *Discov Med*. 2024;36(181): 256–265. doi: 10.24976/discov.med.202436181.24
12. Wallace N, Schaffer N, Aleem I, et al. 3D-printed patient-specific spine implants: a systematic review. *Clin Spine Surg*. 2020;33(10):400–407. doi: 10.1097/bsd.0000000000001026
13. Adamski S, Stogowski P, Ročławski M, et al. Review of currently used classifications for pedicle screw position grading in cervical, thoracic and lumbar spine. *Chir Narzadow Ruchu Ortop Pol*. 2023;88(4):165–171. doi: 10.31139/chnriop.2023.88.4.2
14. Marengo N, Matsukawa K, Monticelli M, et al. 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
15. Katiyar P, Boddapati V, Coury J, et al. Three-dimensional printing applications in pediatric spinal surgery: a systematic review. *Global Spine J*. 2024;14(2):718–730. doi: 10.1177/21925682231182341
16. Cao J, Zhang X, Liu H, et al. 3D printed templates improve the accuracy and safety of pedicle screw placement in the treatment of pediatric congenital scoliosis. *BMC Musculoskelet Disord*. 2021;22(1):1014. doi: 10.1186/s12891-021-04892-4
17. Toriya VG, Vissarionov SV. Efficacy of a new customized navigation template for placement of transpedicular screws for unilateral access in children with congenital spinal deformity and thoracic malformation. *Pediatric Traumatology, Orthopaedics and Reconstructive Surgery*. 2024;12(3):349–359. doi: 10.17816/ptors634877
18. Toriya VG, Vissarionov SV, Menukovskiy VA, et al. 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. EDN: CPUOA doi: 10.17816/ptors632132
19. Pijpker PAJ, Kraeima J, Witjes MJH, et al. Accuracy of patient-specific 3D-printed drill guides for pedicle and lateral mass screw insertion. *Spine (Phila Pa 1976)*. 2021;46(3):160–168. doi: 10.1097/brs.00000000000003747
20. Modi HN, Suh SW, Fernandez H, et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement in neuromuscular scoliosis with free-hand technique. *European Spine Journal*. 2008;17(12):1686–1696. doi: 10.1007/s00586-008-0795-6
21. Ansoorge A, Sarwahi V, Bazin L, et al. Accuracy and safety of pedicle screw placement for treating adolescent idiopathic scoliosis: a narrative review comparing available techniques. *Diagnostics (Basel)*. 2023;13(14):2402. doi: 10.3390/diagnostics13142402

ОБ АВТОРАХ

* Вахтанг Гамлетович Тория;

адрес: Россия, 196603, Санкт-Петербург,
Пушкин, ул. Парковая, д. 64–68;
ORCID: 0000-0002-2056-9726;
eLibrary SPIN: 1797-5031;
e-mail: vakdiss@yandex.ru

Сергей Валентинович Виссарионов, д-р мед. наук,

профессор, чл.-корр. РАН;
ORCID: 0000-0003-4235-5048;
eLibrary SPIN: 7125-4930;
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Полина Андреевна Першина, аспирант;

ORCID: 0000-0001-5665-3009;
eLibrary SPIN: 2484-9463;
e-mail: polinaiva2772@gmail.com

AUTHOR INFORMATION

* Vakhtang G. Toriya, MD;

address: 64–68 Parkovaya str., Pushkin,
Saint Petersburg, 196603, Russia;
ORCID: 0000-0002-2056-9726;
eLibrary SPIN: 1797-5031;
e-mail: vakdiss@yandex.ru

Sergei V. Vissarionov, MD, PhD, Dr. Sci. (Medicine),

Professor, Corresponding Member of RAS;
ORCID: 0000-0003-4235-5048;
eLibrary SPIN: 7125-4930;
e-mail: vissarionovs@gmail.com

Polina A. Pershina, MD, PhD student;

ORCID: 0000-0001-5665-3009;
eLibrary SPIN: 2484-9463;
e-mail: polinaiva2772@gmail.com

* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author