



# ПРИМЕНЕНИЕ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ 3D-НАВИГАЦИОННЫХ МАТРИЦ ДЛЯ ТРАНСПЕДИКУЛЯРНОЙ ФИКСАЦИИ СУБАКСИАЛЬНЫХ ШЕЙНЫХ И ВЕРХНЕГРУДНЫХ ПОЗВОНКОВ

**Р.А. Коваленко<sup>1</sup>, В.В. Руденко<sup>2</sup>, В.А. Кашин<sup>1</sup>, В.Ю. Черebilло<sup>1</sup>, Д.А. Пташников<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup>Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии  
им. Р.Р. Вредена, Санкт-Петербург, Россия

**Цель исследования.** Анализ безопасности и точности установки транспедикулярных винтов на субаксиальных шейных и верхнегрудных уровнях с применением индивидуальных 3D-навигационных матриц.

**Материал и методы.** В исследование включены 16 пациентов, которым проводили транспедикулярную имплантацию винтов в субаксиальные шейные и верхнегрудные позвонки с использованием индивидуальных 3D-навигационных матриц. Всего установлено 88 винтов. Всем пациентам выполняли предоперационную КТ-ангиографию для оценки визуализации позвоночной артерии. С помощью технологии 3D-печати создавали индивидуальные модели позвонков и навигационные матрицы. Модели и матрицы стерилизовали и использовали во время операции. Результаты имплантации, а также безопасность и точность установки оценивали по результатам послеоперационной КТ.

**Результаты.** Средняя девиация от планируемой траектории составила  $1,8 \pm 0,9$  мм. Девиацию степени 1 (<2 мм) зафиксировали для 57 (64,77 %) винтов, степени 2 (2–4 мм) — для 29 (32,95 %), степени 3 — для 2 (2,27 %). Безопасность имплантации степени 0 (винт полностью находится внутри костной структуры) определена в 79 (89,77 %) случаях, степени 1 (<50 % диаметра винта перфорируют кость) — в 5 (5,68 %), степени 3 — в 2 (2,27 %).

**Заключение.** Использование 3D-навигационных матриц является доступным и безопасным методом установки транспедикулярных винтов на шейных и верхнегрудных уровнях. Метод может быть использован как альтернатива интраоперационной КТ-навигации.

**Ключевые слова:** 3D-печать, навигация, транспедикулярная фиксация, матрица.

**Для цитирования:** Коваленко Р.А., Руденко В.В., Кашин В.А., Черebilло В.Ю., Пташников Д.А. Применение индивидуальных 3D-навигационных матриц для транспедикулярной фиксации субаксиальных шейных и верхнегрудных позвонков // Хирургия позвоночника. 2019. Т. 16. № 2. С. 35–41.

DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.2.35-41>.

## APPLICATION OF PATIENT-SPECIFIC 3D NAVIGATION TEMPLATES FOR PEDICLE SCREW FIXATION OF SUBAXIAL AND UPPER THORACIC VERTEBRAE

R.A. Kovalenko<sup>1</sup>, V.V. Rudenko<sup>2</sup>, V.A. Kashin<sup>1</sup>, V.Yu. Cherebillo<sup>1</sup>, D.A. Ptashnikov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Almazov National Medical Research Centre, St. Petersburg, Russia

<sup>2</sup>Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. R.R. Vreden, St. Petersburg, Russia

**Objective.** To analyze the safety and accuracy of pedicle screw placement in the subaxial cervical and upper thoracic spine using patient-specific 3D navigation templates.

**Material and Methods.** The study included 16 patients who underwent transpedicular implantation of screws in the subaxial cervical and upper thoracic vertebrae using patient-specific 3D navigation templates. A total of 88 screws were installed. All patients underwent preoperative CT angiography to assess visualization of the vertebral artery. Customized vertebral models and navigation templates were created using 3D printing technology. Models and templates were sterilized and used during surgery. The results of screw implantation, as well as the safety and accuracy of the placement, were assessed by postoperative CT.

**Results.** The average deviation from the planned trajectory was  $1.8 \pm 0.9$  mm. Deviation was estimated as class 1 (<2 mm) for 57 (64.77 %) screws, class 2 (2–4 mm) for 29 (32.95 %), and class 3 for two (2.27 %). The safety of screw implantation of grade 0 (the screw is completely inside the bone structure) was in 79 (89.77 %) cases, of grade 1 (<50 % of the screw diameter perforates the bone) — in 5 (5.68 %), and of grade 3 — in 2 (2.27 %).

**Conclusion.** Using 3D navigation templates is an affordable and safe method of installing pedicle screws in the cervical and upper thoracic spine. The method can be used as an alternative to intraoperative CT navigation.

**Key Words:** 3D printing, navigation, transpedicular fixation, template.

Please cite this paper as: Kovalenko RA, Rudenko VV, Kashin VA, Cherebillo VYu, Ptashnikov DA. Application of patient-specific 3D navigation templates for pedicle screw fixation of subaxial and upper thoracic vertebrae. *Hir. Pozvonoc.* 2019;16(2):35–41. In Russian. DOI: <http://dx.doi.org/10.14531/ss2019.2.35-41>.

Транспедикулярная фиксация в шейном отделе позвоночника не является распространенной манипуляцией. Несмотря на то что такая методика обладает наилучшими биомеханическими показателями прочности, сложность выполнения корректной имплантации и риски повреждения нейроваскулярных образований лимитируют ее клиническое применение [1–5].

Имплантация винтов в грудном отделе на верхних уровнях сопряжена с меньшими рисками, однако затруднена малым диаметром ножек и сложностью интраоперационной рентгеновизуализации из-за проекции плечевых суставов.

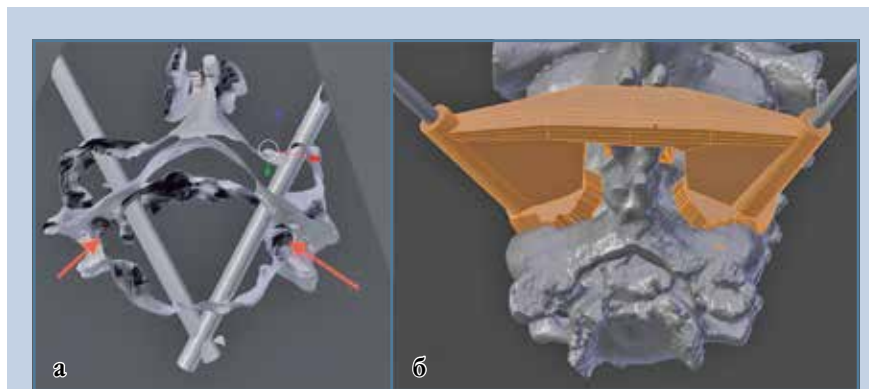
Развитие различных методов спинальной навигации позволяет снизить риски, связанные с установкой винтов. Одним из них является применение индивидуальных навигационных матриц-направителей, создаваемых на 3D-принтере на основании предоперационного компьютерного моделирования.

Цель исследования – анализ безопасности и точности установки транспедикулярных винтов на субаксиальных шейных и верхнегрудных уровнях с применением индивидуальных 3D-навигационных матриц.

## Материал и методы

В исследование включены 16 пациентов с онкологическими поражениями, дегенеративными заболеваниями и травмами шейного и грудного отделов позвоночника, которым в 2017–2018 гг. выполняли транспедикулярную имплантацию винтовых конструкций с помощью навигационных матриц. Оценивали винты, которые имплантировали в субаксиальные шейные и верхнегрудные позвонки (табл. 1). Все пациенты подписали информированное согласие, исследование одобрено этическим комитетом.

**Проектирование и изготовление навигационных матриц.** На основе данных МСКТ/КТ-ангиографии в программе «Инобитек DICOM Просмотрщик» (v. 1.9.0) производили постро-



**Рис. 1**

Этапы проектирования навигационных матриц: **а** – определение траекторий введения винта в 3D-формате обработанного файла STL, красными стрелками показаны *ff. vertebrales*; **б** – создание окончательного дизайна навигационных матриц

ение рельефа поверхностных структур позвонков. С помощью программы Blender 2.78 выполняли окончательную обработку модели (удаление вторичных структур, артефактов, исправление ошибок по типу пространственных парадоксов). Далее в этой же программе на основе готовой модели выбирали оптимальные точки входа и траектории винтов, зоны соприкосновения навигационной матрицы с позвонком и создавали окончательный дизайн матрицы (рис. 1).

При полисегментарной фиксации матрицы проектировали для каждого позвонка отдельно, чтобы избежать смещения ориентиров и нарушения конгруэнтности при возможном движении позвонков относительно друг друга во время укладки на операционном столе, при редукционных маневрах и других механических воздействиях.

В программе Cura 3.5.1 модель и матрицу подвергали слайсингу, формировали файл печати в формате Gcode. Печать осуществляли по технологии Fused deposition modeling (принтер Infitary M508), в качестве материала использовали биodeградируемый PLA-пластик (биополимер молочной кислоты).

Объемный остистый отросток на некоторых позвонках позволил моделировать матрицы с дополни-

тельной опорой на него, что увеличивало ее устойчивость и, как следствие, точность и безопасность имплантации. С помощью модели проводили предоперационное планирование, детальное изучение 3D-анатомии, определение хирургической тактики. Также выполняли симуляцию имплантации и оценку планируемого стояния винтов (рис. 2).

Стерилизацию моделей и матриц осуществляли воздействием низкотемпературной плазмы перекиси водорода.

**Интраоперационное применение.** Выполняли стандартный задний срединный доступ. Важным нюансом при этом является тщательное скелетирование зон соприкосновения матрицы и позвонка. Уста-

**Таблица 1**

Распределение установленных винтов (n = 88) по уровням имплантации

Уровень	Винты, n
C <sub>4</sub>	4
C <sub>5</sub>	12
C <sub>6</sub>	12
C <sub>7</sub>	16
Th <sub>1</sub>	20
Th <sub>2</sub>	20
Th <sub>3</sub>	4

новка матрицы должна сопровождаться определенным тактильным ощущением плотного сопоставления. В любой момент хирург может извлечь матрицу из раны и приложить ее к 3D-модели для визуального и тактильного подтверждения корректности позиционирования. Через тубусы-направители сверлом или спицей Киршнера формируются канал, в который имплантируется винт (рис. 3).

Степень безопасности имплантации определяли по данным послеоперационной КТ на уровне ножки в коронарной и аксиальной проекциях по следующим критериям [6]: степень 0 – винт находится полностью внутри костных структур; сте-

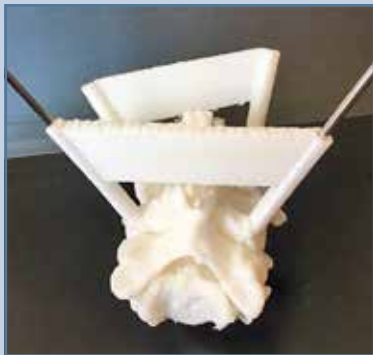


Рис. 2

Предоперационное моделирование введения винтов на 3D-модели



Рис. 3

Применение матрицы во время операции

пень 1 – винт частично перфорирует костную структуру, но более 50 % диаметра винта находятся внутри кости; степень 2 – винт перфорирует костную структуру, при этом более 50 % диаметра винта находятся за пределами кости, степень 3 (пене-трация) – винт находится полностью за пределами кости (рис. 4).

Определение класса точности имплантации производили в двух плоскостях (аксиальной и сагиттальной) в наиболее дистальных точках пересечения планируемой траектории и продолжения оси винта с телом позвонка при наложении двух изображений КТ (планируемой предоперационной траектории и фактической оси винта) в формате DICOM в программе Mimics 3D (рис. 5).

Точность имплантации оценивали в соответствии со следующими критериями [6]: класс 1 – ось винта девирует менее чем на 2 мм от планируемой траектории; класс 2 – ось винта девирует более чем на 2 мм, но менее чем на 4 мм; класс 3 – девиация более 4 мм.

### Результаты и их обсуждение

Средняя степень девиации имплантируемых винтов составила  $1,8 \pm 0,9$  мм.

Оценка точности показала, что 97 % винтов были имплантированы в соответствии с классами 1 и 2. Девиация класса 2 наблюдалась в 29 (32,95 %) случаях, класса 3 – в 2 (2,27 %; табл. 2).

В 84 (95,5 %) случаях степень безопасности расценили как удовлетворительную (степень 0 и 1). Степень 2 определили для 3 (3,41 %) винтов, степень 3 – для 1 (1,14 %). Нейроваскулярных осложнений, связанных с имплантацией винтов, не было. Результаты оценки безопасности представлены в табл. 3.

Проведенные исследования показывают, что транспедикулярная фиксация в шейном отделе позвоночника надежна, позволяет выполнять редуцирующие маневры при различных видах деформаций. В то же время малый диаметр ножек, близость позвоночной артерии, спинного мозга, корешков и другие факторы делают данную методику сложновыполнимой и рискованной [1–5]. По этим причинам продолжается поиск технических решений, способных повысить точность и безопасность имплантации.

Различные модификации метода free-hand (ламинотомия с прямой визуализацией ножки, определение оптимальных координат точки введения и углов траектории, канюлиро-

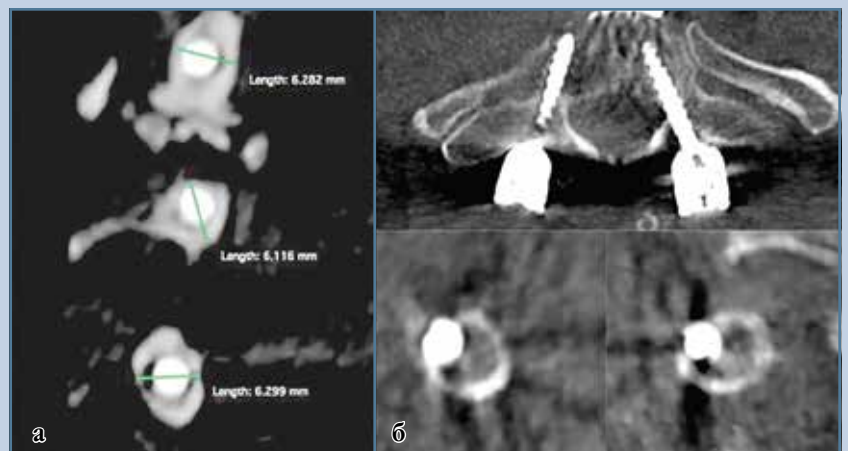


Рис. 4

Оценка степени безопасности имплантации по данным послеоперационной КТ: а – транспедикулярные винты в  $C_4$ – $C_5$ – $C_6$  (степень 0); б – винты в  $Th_1$  (степень 1)

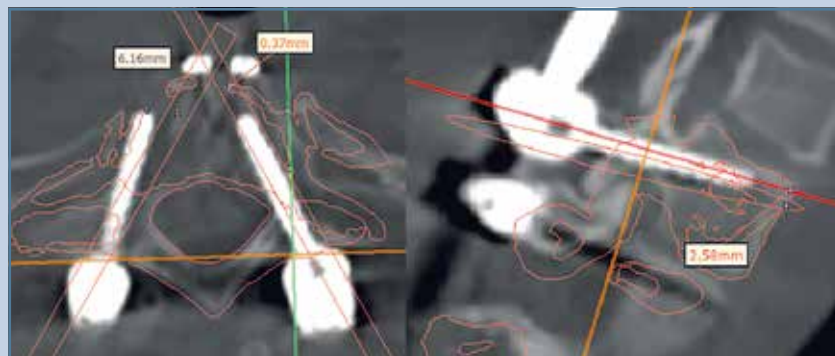


Рис. 5

Оценка девиации установленных винтов от планируемой траектории на основании сопоставления данных послеоперационной КТ и предоперационного моделирования

КТ-навигации. Из 3413 винтов 6,9 % были установлены с перфорацией степени 2 или 3 (5,0 % – для C<sub>2</sub>, 11,4 % – для C<sub>3</sub>–C<sub>5</sub>, 7,0 % – для C<sub>6</sub>–C<sub>7</sub>, 10,4 % – для Th<sub>1</sub>–Th<sub>4</sub>).

Shimokawa et al. [6] привели результаты сравнения методов навигации с использованием предоперационных (первая группа) и интраоперационных (вторая группа) КТ-данных. Установлены 762 винта на уровне C<sub>2</sub>–Th<sub>3</sub>. Безопасность степени 0 внутри кости составила 93,6 % в первой группе и 97,1 % – во второй. Перфорация более половины диаметра винта наблюдалась в 3,3 % случаев в первой группе и 0,6 % – во второй. Всего перфорация составила 5,0 %.

Одним из направлений реализации технологий 3D-печати в спинальной хирургии является использование моделируемых навигационных направителей. Активно методика стала развиваться в последние 10 лет. В 2007 г. Owen et al. [12] продемонстрировали возможность использования кастомизированных направителей для транспедикулярной имплантации в шейном отделе на примере формирования хода под винт в C<sub>5</sub> позвонке в кадавер-исследовании.

В 2009 г. были опубликованы результаты Lu et al. [13], которые 25 пациентам установили 88 винтов транспедикулярно в C<sub>2</sub>–C<sub>7</sub> с применением навигационных матриц, из них 71 установлен со степенью безопасности 0, 14 – со степенью 1, 3 – со степенью 2. Осложнений не было, рентгенографию применяли для контроля винтов после установки, а среднее время имплантации одного винта составило 80 с.

В 2012 г. Kawaguchi et al. [14] представили результаты исследования транспедикулярной имплантации в шейном отделе с применением навигационных матриц. Первая часть исследования заключалась в изучении точности введения винтов на 3D-макетах позвоночника (в одном случае возникла пенетрация латеральной части ножки C<sub>3</sub>, обусловленная малым диаметром). Вторая часть исследования – клиническая. Пред-

Таблица 2

Распределение винтов по степени девиации по системе SGT, n (%)

Уровень имплантации	Класс 1 (<2 мм)	Класс 2 (2–4 мм)	Класс 3 (>4 мм)
C <sub>4</sub>	3 (75,0)	1 (25,0)	–
C <sub>5</sub>	3 (25,0)	9 (75,0)	–
C <sub>6</sub>	6 (50,0)	5 (41,7)	1 (8,3)
C <sub>7</sub>	12 (75,0)	3 (18,8)	1 (6,3)
Th <sub>1</sub>	13 (65,0)	7 (35,0)	–
Th <sub>2</sub>	17 (85,0)	3 (15,0)	–
Th <sub>3</sub>	3 (75,0)	1 (25,0)	–

Таблица 3

Распределение винтов по степени безопасности установки, n (%)

Уровень имплантации	Степень 0	Степень 1	Степень 2	Степень 3 (пенетрация)
C <sub>4</sub>	4 (100,0)	–	–	–
C <sub>5</sub>	9 (75,0)	2 (16,7)	1 (8,3)	–
C <sub>6</sub>	10 (83,3)	1 (8,3)	1 (8,3)	–
C <sub>7</sub>	14 (87,5)	1 (6,3)	–	1 (6,3)
Th <sub>1</sub>	19 (95,0)	1 (5,0)	–	–
Th <sub>2</sub>	19 (95,0)	–	1 (5,0)	–
Th <sub>3</sub>	20 (100,0)	–	–	–

вание ножек и др.) не обеспечивают достаточной безопасности и существенно зависят от опыта и индивидуального мастерства хирурга [7–10].

Считается, что интраоперационная КТ-навигация дает наибольшую безопасность, тем не менее мно-

гие исследования демонстрируют различную степень мальпозиции при использовании данного метода. Uehara et al. [11] проанализировали корректность имплантации винтов в C<sub>2</sub>–L<sub>5</sub> позвонки с применением интраоперационной

ставлен анализ использования методики у 11 пациентов, которым имплантировали 44 винта, из них 16 – в С<sub>2</sub>, 10 – в С<sub>3</sub>, 2 – в С<sub>4</sub>, 5 – в С<sub>5</sub>, 3 – в С<sub>6</sub>, 8 – в С<sub>7</sub>. По результатам 42 винта полностью находились внутри костных структур, 2 винта перфорировали костную стенку до 2 мм без повреждения сосудистых или нервных образований. Осложнений зафиксировано не было.

Похожее исследование выполнили Kaneuama et al. [15], когда 20 пациентам установили 80 транспедикулярных винтов на субаксиальных шейных уровнях с применением индивидуальных 3D-навигационных матриц. Средняя девиация составила  $0,29 \pm 0,31$  мм (0,0–1,6 мм), 78 винтов полностью находились внутри кости, два выходили за пределы костного образования менее чем на половину диаметра. Авторы предложили использовать три вида матриц для введения каждого винта – для определения точки ввода, формирования хода под винт и имплантации самого винта.

В 2017 г. группа ученых из Филиппин [16] представила результаты оценки точности имплантации винтов в шейном отделе в эксперименте *in vitro*. В отличие от предыдущих исследований, авторы не проектировали навигационные матрицы на компьютере, а формировали их вручную на напечатанной 3D-модели позвонков трупного материала из полиметилметакрилатного стоматологического цемента. Имплантировали 50 винтов в С<sub>3</sub>–С<sub>7</sub> позвонки. Установку 47 винтов выполнили со степенью девиации 0, 2 винтов – со степенью 1, 1 винта – со степенью 2. По мнению авторов, девиация была обусловлена неполным скелетированием позвонков и, как следствие, отсутствием необходимого контакта между матрицей и позвонком, что привело к смещению планируемой точки введения. Стоит отметить, что такой подход осуществляется без виртуального планирова-

ния траектории имплантации: спица или сверло вводится в модель позвонка под визуальным контролем, после чего изготавливается слепок. С другой стороны, процесс упрощается из-за отсутствия необходимости компьютерного моделирования матриц, что требует навыков 3D-дизайна и специального компьютерного софта. Функция создания STL-модели позвоночника на основании DICOM-данных МСКТ заложена во многих базовых программах.

В России сообщалось [17] об опыте применения 3D-навигационных матриц при имплантации винтов в шейном отделе позвоночника у трех пациентов. По контрольным КТ девиация винтов от запланированной траектории была не более 2 мм без прободения костных структур.

Предыдущие публикации и наше исследование демонстрируют достаточно высокую безопасность транспедикулярной фиксации в шейном отделе с применением навигационных матриц. Технология упрощает и стандартизирует сложные виды имплантации, делая их менее зависимыми от опыта и персонального навыка хирурга, по сравнению с методикой *free-hand*. Степени безопасности 0 и 1 достигнуты в 95,5 % случаев, что в целом соответствует результатам интраоперационной КТ-навигации.

Проектирование и производство навигационных направителей может быть выполнено в течение суток. По сравнению с КТ-навигацией, стоимость необходимого оборудования существенно меньше, а сами направители могут применяться в любой операционной, дистанционно от места производства, что представляет дополнительную логистическую ценность. Следует также отметить снижение лучевой нагрузки на персонал и пациента, поскольку навигация не основывается на данных интраоперационных лучевых исследований. Тем не менее для корректного применения методи-

ки должен быть соблюден ряд важных условий. Матрицу нужно проектировать таким образом, чтобы минимизировать вероятность ее интраоперационной деформации, поломки и смещения. Мы предпочитаем создавать опору как на дуги и суставы, так и на остистый отросток, а тубусы скреплять ребрами жесткости. Чтобы избежать смещения ориентиров при движениях позвонков относительно друг друга, следует проектировать отдельные матрицы для каждого позвонка с точками опоры только на позвонок, в который будет введен винт. При формировании хода ассистенту необходимо плотно прижимать матрицу к позвонку, чтобы избежать эффекта соскальзывания при прохождении кортикального слоя спицей. Большое внимание следует уделять удалению мягких тканей в месте контакта матрицы и структур позвонка, делать это надо более тщательно, чем при классическом доступе, что занимает больше времени.

## Заключение

Использование 3D-навигационных матриц является доступным и безопасным методом установки транспедикулярных винтов на шейном и верхнегрудном уровнях. Метод может быть использован как альтернатива интраоперационной КТ-навигации, поскольку показатели безопасности имплантации, согласно ранее опубликованным исследованиям, являются схожими и превышают таковые по сравнению с методикой *free-hand*. Для повышения уточнения показателей эффективности и безопасности метода требуется проведение сравнительных рандомизированных исследований на большей когорте пациентов.

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

## Литература/References

1. **Abumi K, Itoh H, Taneichi H, Kaneda K.** Transpedicular screw fixation for traumatic lesions of the middle and lower cervical spine: description of the techniques and preliminary report. *J Spinal Disord.* 1994;7:19–28.
2. **Abumi K, Shono Y, Taneichi H, Ito M, Kaneda K.** Correction of cervical kyphosis using pedicle screw fixation systems. *Spine.* 1999;24:2389–2396. DOI: 10.1097/00007632-199911150-00017.
3. **Kotani Y, Cunningham BW, Abumi K, McAfee PC.** Biomechanical analysis of cervical stabilization systems. An assessment of transpedicular screw fixation in the cervical spine. *Spine.* 1994;19:2529–2539. DOI: 10.1097/00007632-199411001-00007.
4. **Johnston TL, Karakovic EE, Lautenschlager EP, Marcu D.** Cervical pedicle screws vs. lateral mass screws: uniplanar fatigue analysis and residual pullout strengths. *Spine J.* 2006;6:667–672. DOI: 10.1016/j.spinee.2006.03.019.
5. **Jones EL, Heller JG, Silcox DH, Hutton WC.** Cervical pedicle screws versus lateral mass screws. Anatomic feasibility and biomechanical comparison. *Spine.* 1997;22:977–982. DOI: 10.1097/00007632-199705010-00009.
6. **Shimokawa N, Takami T.** Surgical safety of cervical pedicle screw placement with computer navigation system. *Neurosurg Rev.* 2017;40:251–258. DOI: 10.1007/s10143-016-0757-0.
7. **Jo DJ, Seo EM, Kim KT, Kim SM, Lee SH.** Cervical pedicle screw insertion using the technique with direct exposure of the pedicle by laminoforaminotomy. *J Korean Neurosurg Soc.* 2012;52:459–465. DOI: 10.3340/jkns.2012.52.5.459.
8. **Ebraheim NA, Xu R, Knight T, Yeasting RA.** Morphometric evaluation of lower pedicle and its projection. *Spine.* 1997;22:1–6. DOI: 10.1097/00007632-199701010-00001.
9. **Richter M, Cakir B, Schmidt R.** Cervical pedicle screws: conventional versus computer-assisted placement of cannulated screws. *Spine.* 2005;30:2280–2287. DOI: 10.1097/01.brs.0000182275.31425.cd.
10. **Yukawa Y, Kato F, Ito K, Horie Y, Hida T, Nakashima H, Machino M.** Placement and complications of cervical pedicle screws in 144 cervical trauma patients using pedicle axis view techniques by fluoroscope. *Eur Spine J.* 2009;18:1293–1299. DOI: 10.1007/s00586-009-1032-7.
11. **Uehara M, Takahashi J, Ikegami S, Kuraishi S, Futatsugi T, Kato H.** Screw perforation rates in 359 consecutive patients receiving computer-guided pedicle screw insertion along the cervical to lumbar spine. *Eur Spine J.* 2017;26:2858–2864. DOI: 10.1007/s00586-016-4843-3.11.
12. **Owen BD, Christensen GE, Reinhardt JM, Ryken TC.** Rapid prototype patient-specific drill template for cervical pedicle screw placement. *Comput Aided Surg.* 2007;12:303–308. DOI: 10.3109/10929080701662826.
13. **Lu S, Xu YQ, Lu WW, Ni GX, Li YB, Shi JH, Li DP, Chen GP, Chen YB, Zhang YZ.** A novel patient-specific navigational template for cervical pedicle screw placement. *Spine.* 2009;34:E959–E966. DOI: 10.1097/BRS.0b013e3181c09985.
14. **Kawaguchi Y, Nakano M, Yasuda T, Seki S, Hori T, Kimura T.** Development of a new technique for pedicle screw and Magerl screw insertion using a 3-dimensional image guide. *Spine.* 2012;37:1983–1988. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31825ab547.
15. **Kaneyama S, Sugawara T, Sumi M.** Safe and accurate midcervical pedicle screw insertion procedure with the patient-specific screw guide template system. *Spine.* 2015;40:E341–E348. DOI: 10.1097/BRS.0000000000000772.
16. **Bundoc RC, Delgado GG, Grozman SA.** A novel patient-specific drill guide template for pedicle screw insertion into the subaxial cervical spine utilizing stereolithographic modelling: an in vitro study. *Asian Spine J.* 2017;11:4–14. DOI: 10.4184/asj.2017.11.1.4.
17. **Бурцев А.В., Павлова О.М., Рябых С.О., Губин А.В.** Компьютерное 3D-моделирование с изготовлением индивидуальных лекал для навигирования введения винтов в шейном отделе позвоночника // Хирургия позвоночника. 2018. Т. 15. № 2. С. 33–38. [Burtsev AV, Pavlova OM, Ryabikh SO, Gubin AV. Computer 3D-modeling of patient-specific navigational template for cervical screw insertion. *Hir. Pozvonoc.* 2018;15(2):33–38. In Russian]. DOI: 10.14531/ss2018.2.33-38.

## Адрес для переписки:

Коваленко Роман Александрович  
197341, Россия, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2,  
Национальный медицинский исследовательский центр  
им. В.А. Алмазова,  
roman.kovalenko@my.com

## Address correspondence to:

Kovalenko Roman Aleksandrovich  
2 Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russia,  
Almazov National Medical Research Centre,  
roman.kovalenko@my.com

Статья поступила в редакцию 04.04.2019

Рецензирование пройдено 20.05.2019

Подписано в печать 27.05.2019

Received 04.04.2019

Review completed 20.05.2019

Passed for printing 27.05.2019

Роман Александрович Коваленко, канд. мед. наук, врач-нейрохирург отделения нейрохирургии № 6, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Россия, 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2, ORCID: 0000-0002-7940-7086, roman.kovalenko@my.com;  
Виктор Вадимович Руденко, канд. мед. наук, заведующий отделением нейрохирургии № 3, Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени П.П. Вредена, Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8, VictorRudenko@mail.ru;  
Василий Андреевич Кашин, клинический ординатор кафедры нейрохирургии, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Россия, 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2, ORCID: 0000-0002-0626-1565, spin3d@yandex.ru;  
Владислав Юрьевич Черebilло, д-р мед. наук, проф., научный руководитель отделения нейрохирургии № 6, Национальный медицинский исследовательский центр им. В.А. Алмазова, Россия, 197341, Санкт-Петербург, ул. Аккуратова, 2, ORCID: 0000-0001-6803-9954, cberebillo@mail.ru;  
Дмитрий Александрович Пташников, д-р мед. наук, проф., заведующий отделением патологии позвоночника и костной онкологии и травматологии, Российский научно-исследовательский институт травматологии и ортопедии имени П.П. Вредена, Россия, 195427, Санкт-Петербург, ул. Академика Байкова, 8, ORCID: 0000-0001-5765-3158, drptashnikov@yandex.ru.

*Roman Aleksandrovich Kovalenko, MD, PhD, neurosurgeon, Neurosurgery Department 6, Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russia, ORCID: 0000-0002-7940-7086, roman.kovalenko@my.com;*

*Viktor Vadimovich Rudenko, MD, PhD, head of the Neurosurgery Department 3, Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. R.R. Vreden, 8 Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia, VictorRudenko@mail.ru;*

*Vasily Andreyevich Kasbin, resident, Chair of Neurosurgery, Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russia, ORCID: 0000-0002-0626-1565, spin3d@yandex.ru;*

*Vladislav Yuryevich Cherebillo, DMSc, Prof., scientific director of the Neurosurgery Department 6, Almazov National Medical Research Centre, 2 Akkuratova str., St. Petersburg, 197341, Russia, ORCID: 0000-0001-6803-9954, cherebillo@mail.ru;*

*Dmitry Aleksandrovich Ptashnikov, DMSc, Prof., Head of the Department of Spinal Pathology, head of the Department of Neuroorthopaedics and Bone Oncology, Russian Scientific Research Institute of Traumatology and Orthopedics n.a. R.R. Vreden, 8 Akademika Baykova str., St. Petersburg, 195427, Russia, ORCID: 0000-0001-5765-3158, drptashnikov@yandex.ru.*