

НЕЙРОМОНИТОРИНГ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ДЕТЕЙ С ИДИОПАТИЧЕСКИМ СКОЛИОЗОМ: ВЛИЯНИЕ НА КОРРЕКТНОСТЬ ПОЛОЖЕНИЯ ТРАСПЕДИКУЛЯРНЫХ ВИНТОВ

Кокушин Д.Н.^{1,2}, Виссарионов С.В.^{1,2}, Сяндюков А.Р.³, Хусаинов Н.О.¹, Корняков П.Н.³, Соколова В.В.⁴

¹ФГБУ «Национальный медицинский исследовательский центр детской травматологии и ортопедии им. Г.И. Турнера» Минздрава России, Санкт-Петербург, Пушкин, e-mail: partgerm@yandex.ru;

²ФГБОУ ВО «Северо-Западный государственный медицинский университет им. И.И. Мечникова» Минздрава России, Санкт-Петербург;

³ФГБУ «ФЦТОЭ» Минздрава России, Чебоксары;

⁴ФГБОУ ВО «СПбГПМУ» Минздрава России, Санкт-Петербург

В данное исследование вошли материалы результатов обследования и хирургического лечения 23 пациентов (8 мальчиков и 15 девочек) в возрасте от 11 до 17 лет с тяжелой идиопатической деформацией позвоночника с расположением сколиотических дуг в грудном, груднопоясничном и поясничном отделах позвоночника. Проводили оценку положения имплантированных транспедикулярных винтов дорсальной спинальной системы относительно костных структур деформированных позвонков, установленных в ходе хирургического вмешательства, для определения влияния нейромониторинга на точность их позиционирования. По данным КТ позвоночника, выполненного перед операцией, определяли размеры корней дуг позвонков и длину «винтового» пути. По данным КТ позвоночника, выполненного после операции, оценивали и позицию имплантированных транспедикулярных винтов дорсальной спинальной системы. Корректность положения установленных транспедикулярных опорных элементов оценивали на основании шкалы, предложенной S.D. Gertzbein с соавторами, определяя при этом пространственную ориентацию мальпозиции винта. Рационально проводить предоперационную оценку размеров корней дуг позвонков и определять длину «винтового» пути на основании КТ позвоночника при установке транспедикулярных винтов под контролем нейромониторинга. Применение технологии нейромониторинга позволило снизить лучевую нагрузку на ребенка и персонал операционной, достичь высокой корректности и точности положения имплантированных транспедикулярных опорных элементов относительно костных структур деформированных позвонков (93%), повысить эффективность коррекции деформации позвоночника и значительно уменьшить количество мальпозиций винтов большой степени (Grade II-III).

Ключевые слова: идиопатический сколиоз, хирургическое лечение, нейромониторинг, транспедикулярный винт, мальпозиция, дети.

NEUROMONITORING IN SURGICAL TREATMENT OF CHILDREN WITH IDIOPATHIC SCOLIOSIS: INFLUENCE ON THE CORRECT POSITION OF TRANSPEDICULAR SCREWS

Kokushin D.N.^{1,2}, Vissarionov S.V.^{1,2}, Syundyukov A.R.³, Husainov N.O.¹, Korniyakov P.N.³, Sokolova V.V.⁴

¹FSBI «H. Turner National Medical Research Center for Children's Orthopedics and Trauma Surgery» of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg, Pushkin, e-mail: partgerm@yandex.ru;

²«North-Western State Medical University named after I.I. Mechnikov» of Ministry of Health of the Russian Federation, Saint-Petersburg;

³Federal Center for Traumatology, Orthopedics and Endoprosthesis, Cheboksary;

⁴Saint Petersburg State Pediatric Medical University, Saint Petersburg

This study included materials from the results of examination and surgical treatment of 23 patients (8 boys and 15 girls) aged 11 to 17 years with severe idiopathic spinal deformity with the location of scoliotic arches in the thoracic, thoracolumbar and lumbar spine. The position of the implanted transpedicular screws of the dorsal spinal system relative to the bone structures of deformed vertebrae installed during surgery was evaluated to determine the effect of neuromonitoring on the accuracy of their positioning. According to the CT scan of the spine performed before the operation, the size of the roots of the vertebral arches and the length of the "screw" path were determined. According to the CT scan of the spine performed after surgery, the position of the implanted transpedicular screws of the dorsal spinal system was also evaluated. The correctness of the position of the installed transpedicular support elements was evaluated on the basis of a scale proposed by S.D. Gertzbein and co-authors,

while determining the spatial orientation of the screw position. It is rational to carry out a preoperative assessment of the size of the roots of the vertebral arches and determine the length of the "screw" path based on CT of the spine when installing transpedicular screws under the control of neuromonitoring. The use of neuromonitoring technology made it possible to reduce the radiation load on the child and the operating room staff, to achieve high correctness and accuracy of the position of the implanted transpedicular support elements relative to the bone structures of deformed vertebrae (93%), to increase the effectiveness of spinal deformity correction and significantly reduce the number of large degree screw positions (Grade II-III).

Keywords: idiopathic scoliosis, surgical treatment, neuromonitoring, transpedicular screw, malposition, children.

Хирургическая коррекция тяжелых сколиотических и кифосколиотических деформаций осевого скелета у детей и подростков является актуальной проблемой современной вертебологии. В настоящее время в основе подхода к технологии хирургического лечения данной патологии лежит использование тотальной транспедикулярной фиксации, позволяющей достичь эффективной коррекции деформации, стабилизации деформированного отдела позвоночника транспедикулярными опорными элементами, с трехмерным восстановлением физиологических профилей позвоночного столба и сохранением полученных результатов в последующем. Транспедикулярные опорные элементы обладают воздействием на все три колонны позвоночника, чем и объясняется их преимущество перед использованием крюковых систем фиксации с позиций биомеханики [1-3]. В то же время применение транспедикулярной фиксации при оперативной коррекции деформаций позвоночника сопряжено с риском возникновения неврологических и сосудистых осложнений. Наиболее доступный и распространенный способ установки винтов в позвонки методом «свободной руки» требует от хирурга соответствующего уровня опыта и мастерства и, по данным исследователей, связан со смещением траектории и мальпозицией имплантированных транспедикулярных опорных элементов, достигающих 40% от их общего количества [4; 5]. Для контроля корректности и повышения точности и безопасности установки транспедикулярных опорных элементов в фиксируемые позвонки рядом специалистов достаточно широко используются такие методики, как флюороскопия, С-дуга, O-arm, интраоперационная КТ-навигация, роботоассистенция. Однако данные подходы связаны с необходимостью использования специализированного оборудования, временными затратами на проведение интраоперационного сканирования позвоночника, повышением уровня радиационной нагрузки для пациента и персонала операционной [6; 7]. Применение навигационных систем, основанных на принципе обратной оптической связи и данных предоперационной компьютерной томографии позвоночника, при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом с использованием тотальной транспедикулярной фиксации позволяет уменьшить радиационную нагрузку в ходе операции, но требует проведения предоперационного планирования в самой навигационной станции и специальной подготовки оперирующих хирургов [8].

Цель исследования – провести анализ корректности и положения транспедикулярных винтов, установленных детям с идиопатическим сколиозом под контролем нейромониторинга.

Материалы и методы исследования

В данное исследование вошли материалы результатов обследования и хирургического лечения 23 пациентов (8 мальчиков и 15 девочек) в возрасте от 11 до 17 лет с тяжелой идиопатической деформацией позвоночника с расположением сколиотических дуг в грудном, груднопоясничном и поясничном отделах позвоночника. Проводили оценку положения имплантированных транспедикулярных винтов дорсальной спинальной системы относительно костных структур деформированных позвонков, установленных в ходе хирургического вмешательства, для определения влияния нейромониторинга на точность их позиционирования. Все пациенты оперированы в ФГБУ «ФЦТОЭ» г. Чебоксары и в НИДОИ им. Г.И. Турнера в период с 2014 по 2020 год одной хирургической бригадой. Родители всех пациентов подписали согласие на проведение обследования, лечения и публикацию обезличенных данных. По данным КТ позвоночника, выполненного перед операцией, определяли размеры корней дуг позвонков и длину «винтового» пути. По данным КТ позвоночника, выполненного после операции, оценивали и позицию имплантированных транспедикулярных винтов дорсальной спинальной системы. Корректность положения установленных транспедикулярных опорных элементов оценивали на основании шкалы, предложенной S.D. Gertzbein с соавторами, определяя при этом пространственную ориентацию мальпозиции винта (рис. 1) [9].

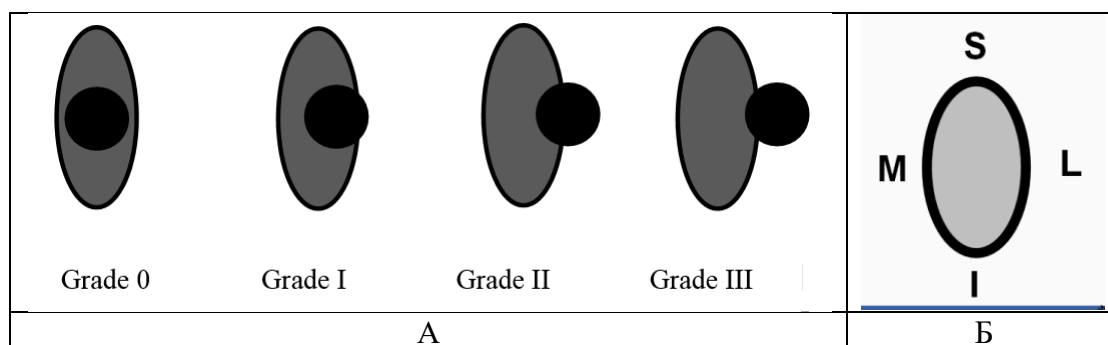


Рис. 1. Определение корректности положения транспедикулярных винтов по данным КТ позвоночника: А – степень мальпозиции (Grade 0 – транспедикулярный винт полностью находится в корне дуги, не контактируя с прилежащим мягкими тканями; Grade I – смещение транспедикулярного опорного элемента относительно кортикального слоя корня дуги до 2 мм; Grade II – смещение винта находится в пределах от 2 до 4 мм; Grade III – более 4 мм); Б - положение транспедикулярного винта по отношению к корню дуги позвонка (S – краниальная стенка корня дуги, L – латеральная стенка корня дуги, I – каудальная стенка корня дуги, M – медиальная стенка корня дуги)

Электронеурофизиологический метод использован для интраоперационного контроля функциональной активности нервных структур у детей с идиопатическим сколиозом. Интраоперационный нейромониторинг позволяет осуществлять непрерывный контроль за состоянием спинного мозга и его корешков. Для контроля корректного формирования костных ходов для транспедикулярных винтов использовали специальный режим контроля близости к нервным структурам (N. Proxu). Винты устанавливали методом «свободной руки», учитывая при этом размеры корней дуг позвонков и длину «винтового пути» при подборе типоразмеров транспедикулярных опорных элементов. К инструменту, с помощью которого проводили создание хода в костных структурах позвонков для опорных элементов многоопорной винтовой системы, фиксировали петлю электрода и проводили стимуляцию электрическим импульсом, имеющим силу тока в диапазоне от 1 до 12 мА. Изолиния, регистрируемая на мониторе аппарата, свидетельствовала о корректном прохождении пробойника через корень дуги в тело позвонка. Отклонение пробойника от корректной траектории и уменьшения дистанции по отношению к невральным структурам позвоночного канала характеризовалось ЭМГ-ответами нарастающей амплитуды при минимальной силе импульса. Для контроля правильности положения установленных транспедикулярных винтов использовали режим проверки корректности (Screw Integrity). Данный режим использовали после установки винта в тело позвонка, устанавливая для этого зонд-электрод на головку винта. Более высокая сила тока, при которой появлялся ответ, отмечалась при большей дистанции между тестируемым транспедикулярным винтом от нервных структур. Силу тока увеличивали от 1 до 30 мА, при этом ответ на стимуляцию при величине импульса более 17 мА свидетельствовал о корректном положении транспедикулярных опорных элементов. Появление ответа при импульсе величиной менее 6 мА свидетельствовал о непосредственной близости положения транспедикулярного винта к твердой мозговой оболочке или корешку спинного мозга [10-13].

Результаты исследования и их обсуждение

Угол сколиотической деформации до операции составил в среднем $103,5^\circ$ по Cobb (min 80 - max 165), после операции – 45° по Cobb (min 24 – max 105). Общее количество имплантированных транспедикулярных винтов составило 597. С правой стороны относительно линии остистых отростков установлено большее количество винтов по отношению к левой стороне, что обусловлено меньшим размером корней дуг позвонков по вогнутой (левой) стороне сколиотической деформации позвоночника (табл. 1).

Таблица 1

Распределение установленных винтов по уровню и стороне позвонка

Позвонок	Винты, установленные с правой стороны	Винты, установленные с левой стороны	Винты, установленные на одном уровне
T1	7	7	14
T2	12	22	34
T3	19	18	37
T4	23	22	45
T5	23	19	42
T6	22	17	39
T7	22	13	35
T8	22	10	32
T9	22	13	35
T10	22	12	34
T11	22	17	39
T12	22	20	42
L1	23	20	43
L2	21	19	40
L3	19	18	37
L4	17	16	33
L5	8	8	16
Всего	326	271	597

Положение транспедикулярного винта, характеризующееся как полностью окруженное костной тканью, отмечено в 71,9% наблюдений. Значимые мальпозиции винтов (величиной более 4 мм) отмечены только в 2,8% наблюдений, при этом не сопровождались какими-либо неврологическими нарушениями и клиническими проявлениями (табл. 2).

Таблица 2

Показатели корректности имплантированных винтов

Степень корректности установленного транспедикулярного винта	%
Grade 0	71,9
Grade I+II+III	28,1
Grade I (<2 мм)	21,1

Grade II (2-4 мм)	4,2
Grade III (>4 мм)	2,8
Grade 0 + Grade I	93

По отношению к стенкам корня дуги в целом преобладали мальпозиции типа М. Отмечено практически полное отсутствие мальпозиций типа S и I. При мальпозиции со степенью смещения винта Grade III тип смещений L, S и I нивелировался (рис. 2).

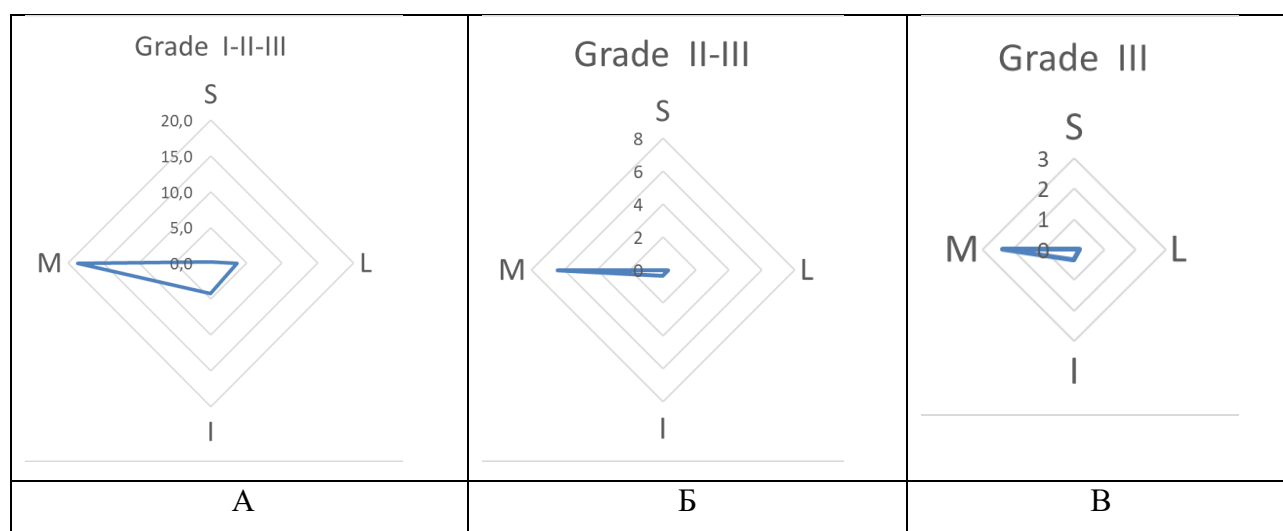


Рис. 2. Пространственная ориентация мальпозиций транспедикулярных винтов:

A – Grade I-II-III; Б – Grade II-III; В – Grade III

Точное размещение транспедикулярных опорных элементов дорсальных спинальных систем, устанавливаемых детям для оперативного исправления деформации при идиопатическом сколиозе, является значимой проблемой [4; 9]. Технологии интраоперационной визуализации в спинальной хирургии предназначены для определения и достижения точного расположения на правильном уровне и обеспечения безопасности в позиционировании имплантатов. Данные подходы, ассоциированные с эксплуатацией технологий робототехники, компьютерной навигации, предназначены для улучшения результатов хирургического лечения. Однако данные методики связаны с увеличением лучевой нагрузки на пациента и/или персонал, что обуславливает необходимость принятия решения об использовании альтернативных методов интраоперационного контроля при операциях на позвоночнике [6-8]. Эффективность использования нейрофизиологического контроля методом триггерной электромиографии, по данным литературы, является дискуссионным вопросом. Так, Raynor B.L. с соавторами, проанализировав корректность

положения 4857 винтов, установленных под контролем нейромониторинга в поясничном отделе позвоночника, сделали вывод, что данная методика является вспомогательной и требует проведения дополнительного пальпаторного и рентгенологического контроля [10]. Samdani A.F. с соавторами, проведя анализ корректности 937 транспедикулярных винтов, установленных в грудном отделе позвоночника под контролем триггерной ЭМГ, пришли к схожим выводам о применении данной методики, указав, что она не является надежным средством для выявления медиальных мальпозиций [11]. Интересные выводы сделаны авторами в экспериментальном исследовании на животных: наблюдаемый электрический импеданс зависел от расстояния винтов от нервных структур, а не от целостности стенки корня дуги позвонка. Т.е. методика ЭМГ не позволила достоверно определить наличие или отсутствие целостности костных структур позвонка [12]. Необходимо отметить, что полученные результаты нашего исследования также показывают преобладание мальпозиций с повреждением медиальной стенки корня дуги позвонка, однако при этом в целом удается достичь высокой степени корректного и безопасного положения транспедикулярных винтов (Grade 0+I – 93%), что свидетельствует о высокой надежности данного метода при условии соблюдения принципов его использования. Проведенный метаанализ Mikula A.L. с соавторами подтверждает особенности использования данной методики, ее чувствительность и специфичность [13]. Корректная установка винтов способствует нормализации баланса туловища за счет исправления фронтального и сагиттального профилей, что способствует нивелированию болевого синдрома у детей после проведенной хирургической коррекции тяжелых деформаций позвоночника идиопатического генеза, позволяет улучшить ортопедический и неврологический статус пациента, что, несомненно, оказывает положительное влияние на качество жизни и социальный статус ребенка [14; 15].

Заключение

Рационально проводить предоперационную оценку размеров корней дуг позвонков и определять длину «винтового» пути на основании КТ позвоночника при установке транспедикулярных винтов под контролем нейромониторинга. Применение технологии нейромониторинга позволило снизить лучевую нагрузку на ребенка и персонал операционной, достичь высокой корректности и точности положения имплантированных транспедикулярных опорных элементов относительно костных структур деформированных позвонков (93%), повысить эффективность коррекции деформации позвоночника и значительно уменьшить количество мальпозиций винтов большой степени (Grade II-III).

Список литературы

1. Васюра А.С., Новиков В.В., Белозеров В.В., Удалова И.Г. Эффективность применения ламинарной и транспедикулярной фиксации при хирургическом лечении идиопатического сколиоза поясничной и грудопоясничной локализации // Хирургия позвоночника. 2012. № 1. С. 48-53.
2. Виссарионов С.В., Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Надиров Н.Н. Хирургическое лечение детей с идиопатическим сколиозом типа LENKE I с применением тотальной транспедикулярной фиксации // Ортопедия, травматология и восстановительная хирургия детского возраста. 2014. Т. 2. № 2. С. 3-8.
3. Кулешов А.А., Лисянский И.Н., Ветрилэ М.С., Гаврюшенко Н.С., Фомин Л.В. Сравнительное экспериментальное исследование крючковой и транспедикулярной систем фиксации, применяемых при хирургическом лечении деформаций позвоночника // Вестник травматологии и ортопедии им. Н.Н. Приорова. 2012. № 3. С. 20-24.
4. Губин А.В., Рябых С.О., Бурцев А.В. Ретроспективный анализ мальпозиции винтов после инструментальной коррекции деформаций грудного и поясничного отделов позвоночника // Хирургия позвоночника. 2015. Т. 12. № 1. С. 8–13.
5. Аганесов А.Г., Алексанян М.М., Абугов С.А., Марданян Г.В. Тактика лечения потенциальных и истинных повреждений грудного отдела аорты транспедикулярными винтами при отсутствии острого кровотечения: анализ малой клинической серии и данных литературы // Хирургия позвоночника. 2022. Т. 19. № 4. С. 46-51.
6. Nelson E.M., Monazzam S.M., Kim K.D., Seibert J.A., Klineberg E.O. Intraoperative fluoroscopy, portable X-ray, and CT: patient and operating room personnel radiation exposure in spinal surgery // Spine J. 2014. Vol. 14, Is. 12. P. 2985-2991. DOI: 10.1016/j.spinee.2014.06.003.
7. Pennington Z., Cottrill E., Westbrook E.M., Goodwin M.L., Lubelski D., Ahmed A.K., Sciubba D.M. Evaluation of surgeon and patient radiation exposure by imaging technology in patients undergoing thoracolumbar fusion: systematic review of the literature // Spine J. 2019. Vol. 19, Is. 8. P. 1397-1411. DOI: 10.1016/j.spinee.2019.04.003.
8. Vissarionov S., Schroeder J.E., Novikov S.N., Kokyshin D., Belanchikov S., Kaplan L. The utility of 3-dimensional-navigation in the surgical treatment of children with idiopathic scoliosis // Spine Deform. 2014. Vol. 2, Is. 4. P. 270-275. DOI: 10.1016/j.jspd.2014.03.004.
9. Кокушин Д.Н., Белянчиков С.М., Мурашко В.В., Картавенко К.А., Хусаинов Н.О. Сравнительный анализ корректности установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении детей с идиопатическим сколиозом // Хирургия позвоночника. 2017. Т. 14. № 4. С. 8-17.

10. Raynor B.L., Lenke L.G., Bridwell K.H., Taylor B.A., Padberg A.M. Correlation between low triggered electromyographic thresholds and lumbar pedicle screw malposition: analysis of 4857 screws // *Spine*. 2007. Vol. 32, Is. 24. P. 2673-2678. DOI: 10.1097/BRS.0b013e31815a524f.
11. Samdani A.F., Tantorski M., Cahill P.J., Ranade A., Koch S., Clements D.H., Betz R.R., Asghar J. Triggered electromyography for placement of thoracic pedicle screws: is it reliable? // *Eur Spine J*. 2011. Vol. 20, Is. 6. P. 869-874. DOI: 10.1007/s00586-010-1653-x.
12. Montes E., De Blas G., Regidor I., Barrios C., Burgos J., Hevia E., Palanca J.M., Correa C. Electromyographic thresholds after thoracic screw stimulation depend on the distance of the screw from the spinal cord and not on pedicle cortex integrity // *Spine J*. 2012. Vol. 12, Is. 2. P. 127-132. DOI: 10.1016/j.spinee.2011.09.006.
13. Mikula A.L., Williams S.K., Anderson P.A. The use of intraoperative triggered electromyography to detect misplaced pedicle screws: a systematic review and meta-analysis // *J. Neurosurg Spine*. 2016. Vol. 24, Is. 4. P. 624-638. DOI: 10.3171/2015.6.SPINE141323.
14. Зайцева М.В., Соколова В.В. Результаты субъективной оценки родителями деятельности детской неврологической службы в условиях муниципального здравоохранения // *Медицина и организация здравоохранения*. 2019. Т. 4. № 2. С. 30-36.
15. Соколова В.В., Зайцева М.В. Оценка заболеваемости болезнями нервной системы детского населения Ростовской области // *Медицина: теория и практика*. 2019. Т. 4. № 2. С. 12-18.