

EDN: ZKFQTP

УДК 617-089/844

DOI: 10.56618/2071-2693_2024_16_4_161



ИНТРАОПЕРАЦИОННЫЙ НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ УСТАНОВКИ ТРАСПЕДИКУЛЯРНЫХ ВИНТОВ ПРИ ХИРУРГИЧЕСКОМ ЛЕЧЕНИИ ПЕРЕЛОМА ГРУДОПОЯСНИЧНОГО ОТДЕЛА ПОЗВОНОЧНИКА: КЛИНИЧЕСКОЕ НАБЛЮДЕНИЕ

Александр Владимирович Красильников¹

✉dr.krasilnikoff@mail.ru, orcid.org/0000-0002-4207-0088

Иван Александрович Кожевников¹

MedikIvan@mail.ru, orcid.org/0009-0003-3001-3080

Сергей Николаевич Трифонов¹

trif62@mail.ru, orcid.org/0000-0003-4697-2350

¹ Государственное бюджетное учреждение Республики Марий Эл «Республиканская клиническая больница» (ул. Осипенко, д. 33, г. Йошкар-Ола, Российская Федерация, 424000)

Резюме

При патологии грудного отдела позвоночника широко используются хирургические вмешательства, сопровождающиеся установкой стабилизирующих транспедикулярных систем.

Ввиду морфологии позвонков и близости сосудисто-нервных структур, установка винтов ведет к достаточно высокому риску послеоперационных неврологических осложнений. Для более точной и безопасной установки в хирургии позвоночника применяется интраоперационный нейрофизиологический мониторинг.

В настоящее время в клинической нейрофизиологии нет единого мнения, какую методику интраоперационного нейрофизиологического мониторинга следует считать наиболее оптимальной, ввиду разных взглядов на выбор тестируемых мышц и технику установки регистрирующих электродов.

Представлено клиническое наблюдение хирургического лечения перелома грудного отдела позвоночника с использованием оптимизированной модальности интраоперационного нейрофизиологического мониторинга установки транспедикулярных винтов.

Ключевые слова: интраоперационный нейрофизиологический мониторинг, вызванная электромиография, параспинальные мышцы, транспедикулярная фиксация

Для цитирования: Красильников А. В., Кожевников И. А., Трифонов С. Н. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении перелома грудного отдела позвоночника: клиническое наблюдение // Российский нейрохирургический журнал им. проф. А. Л. Поленова. 2024. Т. XVI, № 4. С. 161–168. DOI: 10.56618/2071-2693_2024_16_4_161.

INTRAOPERATIVE NEUROPHYSIOLOGICAL MONITORING OF TRANSPEDICULAR SCREW PLACEMENT DURING SURGICAL TREATMENT OF FRACTURE OF THE THORACOLUMBAR SPINE: CLINICAL CASE

Aleksandr V. Krasilnikov¹

✉dr.krasilnikoff@mail.ru, orcid.org/0000-0002-4207-0088

Ivan A. Kozhevnikov¹

MedikIvan@mail.ru, orcid.org/0009-0003-3001-3080

Sergey N. Trifonov¹

trif62@mail.ru, orcid.org/0000-0003-4697-2350

¹ Republican Clinical Hospital (33 Osipenko street, Yoshkar-Ola, Russian Federation, 424000)

Abstract

Surgical interventions accompanied by placement of stabilizing transpedicular systems are widely used for thoracolumbar spine pathology.

Due to the morphology of the vertebrae and proximity of vascular and nerve structures, installation of screws leads to a rather high risk of postoperative neurological complications. Intraoperative neurophysiological monitoring is used in spine surgery for a more accurate and safe insertion.

Currently, there is no consensus in clinical neurophysiology as to which technique of IONM should be considered the most optimal due to different views on the choice of muscles to be tested and the technique of placing recording electrodes.

This article presents a clinical case of surgical treatment of a thoracolumbar spine fracture using an optimized modality of intraoperative neurophysiological monitoring of transpedicular screw placement.

Keywords: intraoperative neurophysiological monitoring, triggered electromyography, paraspinal muscles, transpedicular fixation

For citation: Krasilnikov A. V., Kozhevnikov I. A., Trifonov S. N. Intraoperative neurophysiological monitoring of transpedicular screw placement during surgical treatment of fracture of the thoracolumbar spine: clinical case. Russian neurosurgical journal named after professor A. L. Polenov. 2024;XVI(4):161–168. (In Russ.). DOI: 10.56618/2071–2693_2024_16_4_161.

Введение

Среди всех травм позвоночного столба до 70 % занимают повреждения переходного грудно-поясничного отдела позвоночника, который включает в себя Th11-L2-позвонки, ввиду наличия на этом уровне ригидных грудных и подвижных поясничных сегментов [1, 2].

Наиболее распространенным методом хирургического лечения нестабильных переломов является транспедикулярная фиксация позвоночника [3].

Точное проведение транспедикулярных винтов через ножки в тела грудных позвонков может вызвать трудности при оперативном лечении [4].

Установка винтов по методу «свободной руки» остается технически непростой задачей, так как зависит от анатомических ориентиров, которые могут иметь свои особенности для каждого пациента и зависеть от уровня вмешательства. Проведение винтов через ножки в тела грудных позвонков вызывает трудности ввиду особенностей их морфологии и значительной близости к сосудисто-нервным пучкам и внутренним органам [5].

По данным разных авторов [6, 7], частота некорректной установки на этом уровне составляет от 5 до 20,3 %, что может привести к повреждению нервных или сосудистых структур. Частота повреждения медиальной стенки ножки позвонка в грудном отделе по данным послеоперационной компьютерной томографии (КТ) может достигать 58 % [8].

При неправильном расположении винтов частота повреждения медиальной стенки ножки позвонка составляет 51,1 %. И самое боль-

шое количество ошибок возникает при проведении винтов в Th11- и Th12-позвонки [9].

В настоящее время для улучшения качества хирургической помощи, наряду с механическим исследованием стенок сформированного канала для винта, интраоперационной рентгеноскопией, компьютерной томографией, компьютерной навигацией, используется интраоперационный нейрофизиологический мониторинг (ИОНМ). При хирургических вмешательствах, в ходе которых возможно повреждение нервных структур, на сегодняшний день мировым стандартом контроля неврологических функций становится именно ИОНМ [10].

Интраоперационная нейрофизиология является неотъемлемой частью хирургического вмешательства на позвоночнике [11].

Это важная методика, которая позволяет выявить некорректно установленный винт и изменить его положение интраоперационно и тем самым избежать ревизионного хирургического вмешательства [12].

Основной модальностью ИОНМ для контроля установки винтов при транспедикулярной фиксации позвоночника является вызванная электромиография (вЭМГ), предложенная в 1992 г. канадским нейрофизиологом Blair Calancie. Методика заключается в постоянной электрической стимуляции головки винта специальным зондом с шарообразным наконечником с постепенным изменением силы тока и оценке возникающего М-ответа с регистрируемых мышц [13].

В настоящее время в клинической нейрофизиологии нет единого мнения, какую методику вЭМГ следует считать наиболее оптимальной

для точной и безопасной установки транспедикулярных винтов и предотвращения неврологического дефицита при операциях на грудном отделе позвоночника [14].

Существуют разные взгляды на подбор тестируемых мышц и технику установки регистрирующих электродов. При операциях на средне- и нижнегрудном отделах позвоночника (Th6-Th12-сегменты) отведение производится с прямой мышцы живота. Это объясняется перекрестной иннервацией этих мышц нижними грудными нервными корешками. Электроды устанавливаются по линии соска на среднем расстоянии между нижним краем X ребра и гребнем подвздошной кости [15].

Эффективной модальностью ИОНМ при установке винтов в грудном отделе позвоночника может быть вЭМГ со стимуляцией пачками из четырех последовательных стимулов с регистрацией М-ответов с мышц нижних конечностей [16].

Также предложен способ одиночной электрической стимуляции с использованием параспинальных мышц, при которой парный игольчатый электрод устанавливается в операционной ране на том уровне, на котором производится прямая стимуляция винта [17].

Мы приводим описание клинического наблюдения использования параспинальных мышц с нетипичным вариантом установки регистрирующих электродов вне операционного поля во время ИОНМ-установки транспедикулярных винтов при хирургическом лечении перелома груднопоясничного отдела позвоночника.

Клиническое наблюдение

Пациентка Р., 51 года, поступила в Нейрохирургическое отделение Республиканской клинической больницы г. Йошкар-Олы для хирургического лечения.

При поступлении предъявляла жалобы на боли в нижнегрудном отделе позвоночника, 5–6 баллов по визуально-аналоговой шкале боли, и возникающую при ходьбе слабость в ногах.

Травму получила около 1 месяца назад. При падении с высоты собственного роста ударилась о бетонное ограждение. После этого по-

степенно стала отмечать вышеуказанные жалобы, а также появилась деформация грудного отдела позвоночника. На амбулаторном этапе выполнены КТ и магнитно-резонансная томография (МРТ) позвоночника.

В неврологическом статусе: черепно-мозговые нервы без особенностей, четких чувствительных расстройств не выявлено, сухожильные и периостальные рефлексы с нижних конечностей сохранены, d=s, обычной живости, патологических стопных рефлексов нет, менингеальных знаков нет, мышечная сила нижних конечностей 5 баллов, мышечный тонус не изменен, функции тазовых органов контролирует, отмечается деформация грудного отдела позвоночника, болезненность при пальпации остистых отростков и межостистых связок нижнегрудного и верхнепоясничного отделов позвоночника.

При нейровизуализации (на КТ и МРТ) выявлен компрессионный перелом тела L1-позвонка (рис. 1).

Пациентке выполнена транспедикулярная фиксация Th11-Th12-L2-L3 в положении на животе под эндотрахеальным наркозом с применением ингаляционного анестетика Десфлюрана (МАК 0,6–0,7). Миорелаксанты короткого действия были введены только перед этапом интубации трахеи. В течение всего времени оперативного вмешательства уровень нервно-мышечной передачи оценивался методом ТОФ, показатели которого были не ниже 70 %.

Хирургическое лечение выполнено с использованием системы Siemens ARCADIS Orbic (Siemens, Германия) для интраоперационной флюороскопии и 32-канальной системы для интраоперационного нейрофизиологического мониторинга «Нейро-ИОМ» («Нейрософт», Россия) (рис. 2).

Во время оперативного вмешательства на всех этапах проводился мультимодальный интраоперационный нейрофизиологический мониторинг: спонтанная электромиография, транскраниальные моторные вызванные потенциалы (ТкМВП) и вызванная электромиография (вЭМГ).

Для записи ТкМВП стимулирующие игольчатые спиралевидные электроды были уста-



Рис. 1. Данные нейровизуализации (КТ, МРТ). Компрессионный перелом тела L1-позвонка

Fig. 1. Neuroimaging data (computed tomography, magnetic resonance imaging). Compression fracture of L1 vertebral body



Рис. 2. Многоканальная система для интраоперационного нейрофизиологического мониторинга «Нейро-ИОМ» («Нейрософт», Россия)

Fig. 2. Multichannel system for intraoperative neurophysiological monitoring "Neuro-IOM" ("Neurosoft", Russia)

новлены в точках C1-C2 по международной системе размещения электродов 10–20, регистрирующие электроды размещены в мышцах передней брюшной стенки (прямая мышца живота) и мышцах нижних конечностей (мышца, отводящая большой палец стопы, передняя большеберцовая мышца, латеральная головка квадратной мышцы бедра). Стимуляция проводилась трейнами по 4–5 стимулов при 150–250 В с межстимульным интервалом 2–3 мс, длительностью 100–200 мкс. Значимых изменений амплитуды и латентности в течение операции не было (рис. 3).

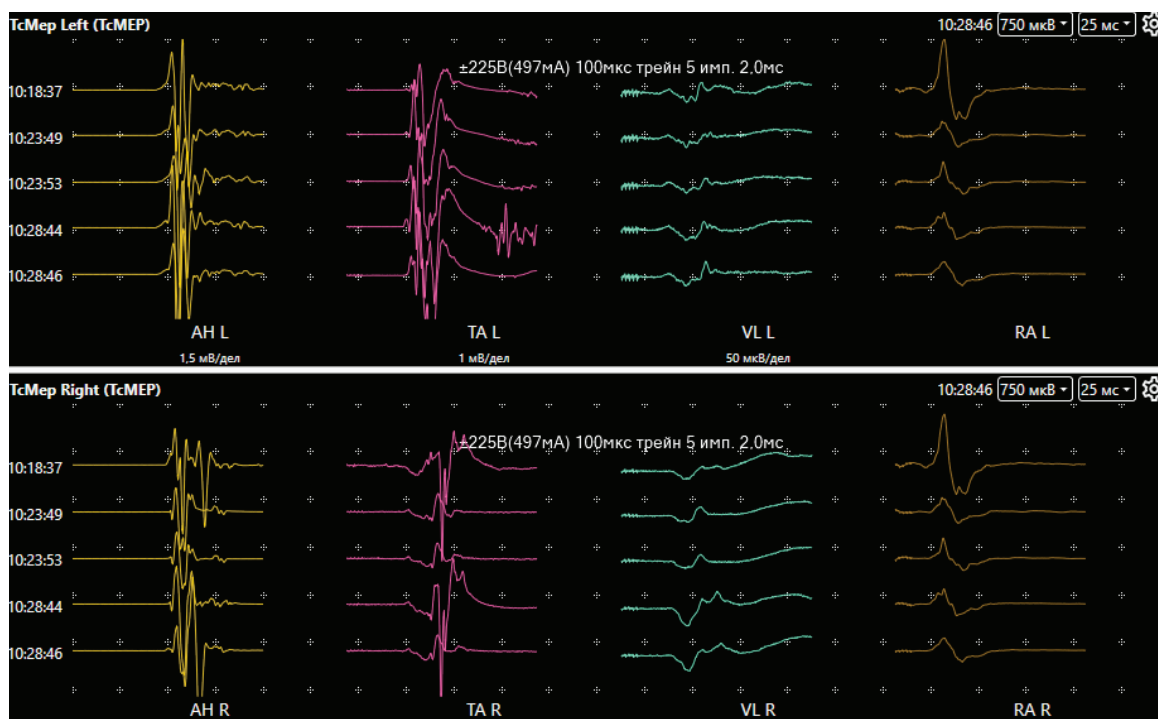


Рис. 3. Транскраниальные моторные вызванные потенциалы
Fig. 3. Transcranial motor evoked potentials

Для регистрации спонтанной и вызванной мышечной активности использовали мышцы передней брюшной стенки, нижних конечностей, параспинальные мышцы. Парные игольчатые электроды были установлены паравerteбрально с каждой стороны на 2–3 см латеральнее линии остистых отростков в начале и в конце предполагаемого разреза (рис. 4).

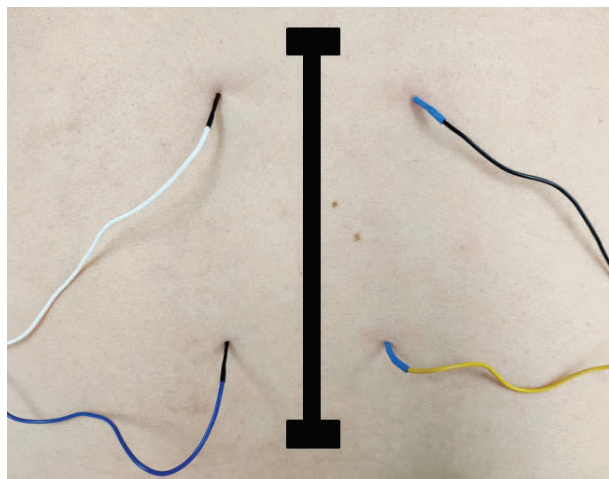


Рис. 4. Расположение регистрирующих электродов в параспинальных мышцах вне операционного поля
Fig. 4. Location of recording electrodes in paraspinal muscles outside the operative field

Вызванная электромиография проводилась монополярным электродом «ball-tip» с шарообразным наконечником диаметром 3 мм (катод). Монополярный игольчатый электрод (анод) был помещен в мышцы края раны. Заземляющий монополярный игольчатый электрод установлен в мышцы, в край операционной раны. Для сравнения также последовательно устанавливали регистрирующие электроды в параспинальные мышцы в операционном поле рядом с каждым тестируемым винтом (рис. 5).

Стимуляция каждого винта проводилась одиночными стимулами с постепенным увеличением силы тока от 1 до 20 мА при частоте 1 Гц и длительности стимула 200 мкс. При стимуляции винта в Th12-позвонке слева при 9 мА получены стабильные М-ответы с прямой мышцы живота, латеральной головки квадратной мышцы бедра и параспинальных мышц при расположении электродов как вне, так и в операционном поле (рис. 6).

При прямой стимуляции остальных винтов с постепенным увеличением силы тока до 20 мА М-ответы не получены. На основании данных ИОНМ, интраоперационной рент-

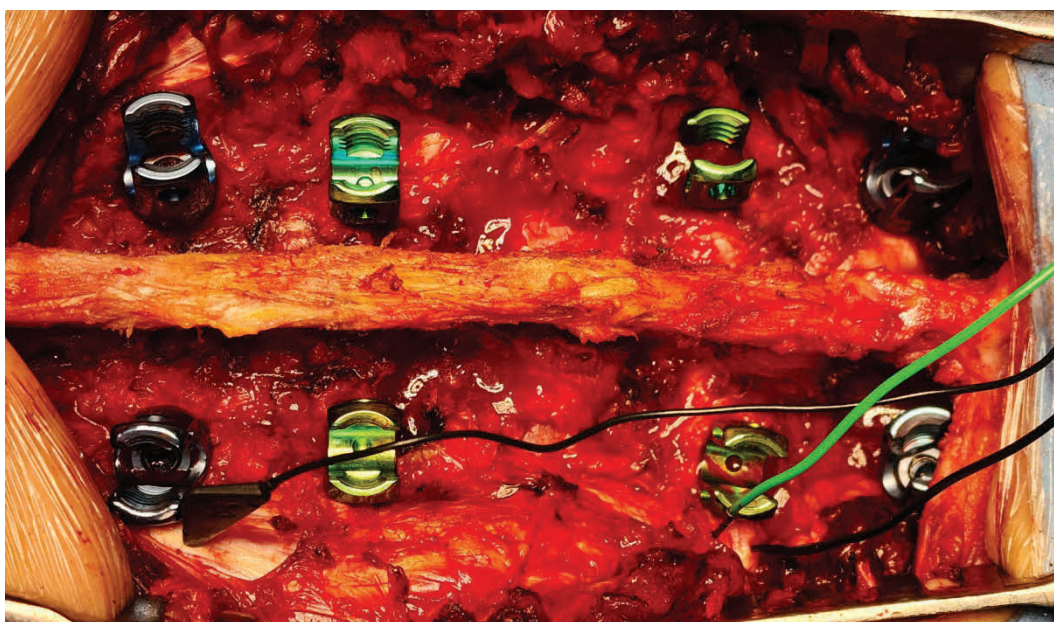


Рис. 5. Расположение регистрирующих электродов в параспинальных мышцах в операционном поле
Fig. 5. Location of recording electrodes in paraspinal muscles in the operative field

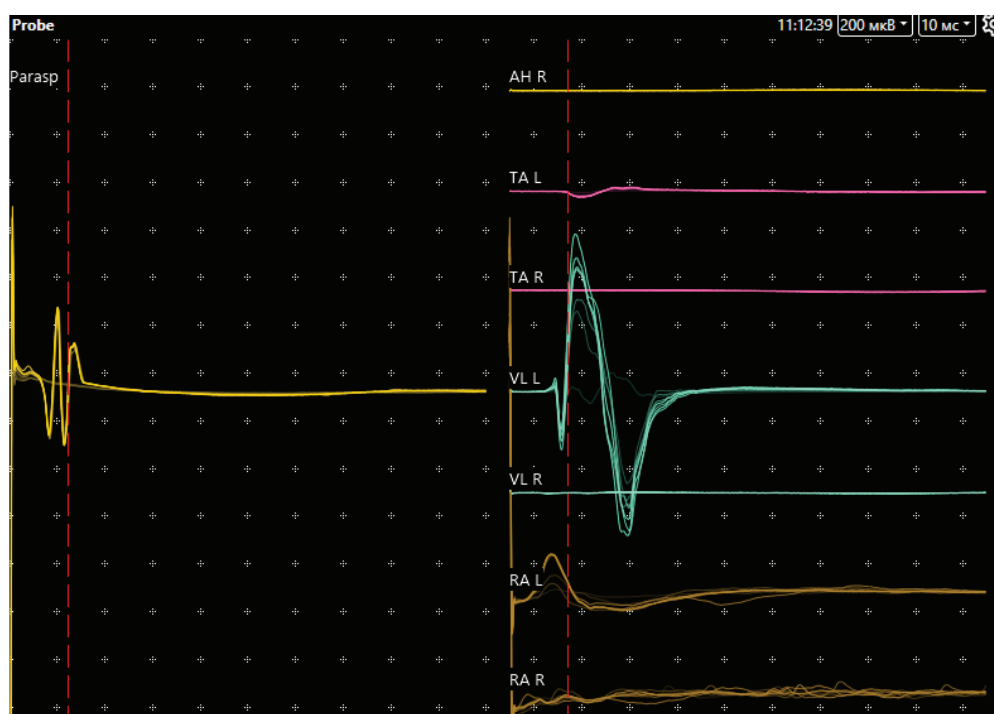


Рис. 6. Вызванная электромиография. Стимуляция винта в Th12-позвонке слева
Fig. 4. Triggered electromyography. Stimulation of a screw in the Th12 vertebra on the left side

геноскопии и пальпаторной оценки хирурга было принято решение о переустановке винта в Th12-позвонке слева, после чего при вЭМГ М-ответы не получены.

В раннем послеоперационном периоде состояние пациентки удовлетворительное, болевого синдрома не отмечено.

Обсуждение

При проведении ИОНМ в хирургии позвоночника вызывает трудности выбор оптимального способа нейрофизиологического контроля установки транспедикулярных винтов в грудно-поясничном отделе. В зарубежных источниках описаны разные подходы к выбору регистри-

рующих мышц для записи вЭМГ и установке электродов. Данное клиническое наблюдение показывает возможность и эффективность использования параспинальных мышц при размещении электродов вне операционной раны, что исключает необходимость их перестановки во время операции, при проведении ИОНМ-установки транспедикулярных винтов. Однако эта методика требует дальнейшего более активного изучения.

Заключение

Использование интраоперационного нейрофизиологического мониторинга в хирургии позвоночника позволяет уменьшить вероятность мальпозиции винтов и развития неврологических осложнений. ИОНМ выявляет нейрофизиологические изменения, вызванные хирургическими действиями, позволяя скорректировать тактику хирургии до того момента, пока не возникли необратимые неврологические нарушения [18].

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов. **Conflict of interest.** The author declares no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки. **Financing.** The study was performed without external funding.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Все пациенты подписали информированное согласие на участие в исследовании. Исследование выполнено в соответствии с требованиями Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (в ред. 2013 г.). **Compliance with patient rights and principles of bioethics.** All patients gave written informed consent to participate in the study. The study was carried out in accordance with the requirements of the World Medical Association Declaration of Helsinki (updated in 2013).

Литература / References

1. *Spiegel U. J., Josten C., Devitt B. M., Heyde C. E.* Incomplete burst fractures of the thoracolumbar spine: a review of literature. *Eur Spine J.* 2017;26(12):3187–3198. Doi: 10.1007/s00586-017-5126-3. PMID: 28547575.
2. *Wood K. B., Li W., Lebl D. R., Ploumis A.* Management of thoracolumbar spine fractures. *Spine J.* 2014;14(1):145–164. Doi: 10.1016/j.spinee.2012.10.041. Erratum in: *Spine J.* 2014;14(8):A18.
3. *Wochna J. C., Marciano R., Catanescu I., Katz J., Spalding M. C., Narayan K.* Cortical Trajectory Pedicle Screws for the Fixation of Traumatic Thoracolumbar Fractures. *Cureus.* 2018;10(6):e2891. Doi: 10.7759/cureus.2891. PMID: 30167347. PMCID: PMC6112911.
4. *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;20(6):869–874. Doi: 10.1007/s00586-010-1653-x. PMID: 21170665. PMCID: PMC3099169.
5. *Raasck K., Khoury J., Aoude A., Beland B., Munteanu A., Weber M. H., Golan J.* The Effect of Thoracolumbar Pedicle Isthmus on Pedicle Screw Accuracy. *Global Spine J.* 2020;10(4):393–398. Doi: 10.1177/2192568219850143. PMID: 32435557. PMCID: PMC7222685.
6. *Jain D., Manning J., Lord E., Protosaltis T., Kim Y., Buckland A. J., Bendo J., Fischer C., Goldstein J.* Initial Single-Institution Experience With a Novel Robotic-Navigation System for Thoracolumbar Pedicle Screw and Pelvic Screw Placement With 643 Screws. *Int J SpineSurg.* 2019;13(5):459–463. Doi: 10.14444/6060. PMID: 31741833. PMCID: PMC6833964.
7. *Guzey F. K., Emel E., HakanSeyithanoglu M., Serdar Bas N., Ozkan N., Sel B., Aycan A., Alatas I.* Accuracy of pedicle screw placement for upper and middle thoracic pathologies without coronal plane spinal deformity using conventional methods. *J Spinal Disord Tech.* 200;19(6):436–441. Doi: 10.1097/00024720-200608000-00011. PMID: 16891980.
8. *Belmont P. J. Jr., Klemme W. R., Robinson M., Polly D. W. Jr.* Accuracy of thoracic pedicle screws in patients with and without coronal plane spinal deformities. *Spine (Phila Pa 1976).* 2002;27(14):1558–1566. Doi: 10.1097/00007632-200207150-00015. PMID: 12131718.
9. *Borcek A. O., Suner H. I., Emmez H., Kaymaz M., Aykol S., Pasaoglu A.* Accuracy of pedicle screw placement in thoracolumbar spine with conventional open technique. *Turk Neurosurg.* 2014;24(3):398–402. Doi: 10.5137/1019-5149.JTN.10445-14.1. PMID: 24848181.
10. *Огурцова А. А.* Интраоперационный нейромониторинг в нейрохирургии: сб. тр. М., 2013. 74 с. [Ogurtsova A. A. Intraoperative neuromonitoring in Neurosurgery: Collection of Studies. Moscow; 2013. 74 p. (In Russ.).]
11. *Rabai F., Sessions R., Seubert C. N.* Neurophysiological monitoring and spinal cord integrity. *Best Pract Res Clin Anaesthesiol.* 2016;30(1):53–68. Doi: 10.1016/j.bpa.2015.11.006. PMID: 27036603.
12. *Kaliya-Perumal A. K., Charng J. R., Niu C. C., Tsai T. T., Lai P. L., Chen L. H., Chen W. J.* Intraoperative electromyographic monitoring to optimize safe lumbar pedicle screw placement – a retrospective analysis. *BMC Musculoskelet Disord.* 2017;18(1):229. Doi: 10.1186/s12891-017-1594-1. PMID: 28558816. PMCID: PMC5450215.
13. *Calancie B., Lebowhl N., Madsen P., Klose K. J.* Intraoperative evoked EMG monitoring in an animal model. A new technique for evaluating pedicle screw placement. *Spine (Phila Pa 1976).* 1992;17(10):1229–1235. Doi: 10.1097/00007632-199210000-00017. PMID: 1440014.
14. *Norton J. A., Hedden D. M.* Monitoring placement of high thoracic pedicle screws by triggered electromyography of the intercostal muscles. *Can J Surg.* 2009;52(3):E47–E48. PMID: 19503643; PMCID: PMC2689729.
15. *Min W. K., Lee H. J., Jeong W. J., Oh C. W., Bae J. S., Cho H. S., Jeon I. H., Cho C. H., Park B. C.* Reliability of Triggered EMG for Prediction of Safety during Pedicle Screw Placement in Adolescent Idiopathic Scoliosis Surgery. *Asian Spine J.* 2011;5(1):51–58. Doi: 10.4184/asj.2011.5.1.51. PMID: 21386946; PMCID: PMC3047898.
16. *Calancie B., Donohue M. L., Harris C. B., Canute G. W., Singla A., Wilcoxon K. G., Moquin R. R.* Neuromonitoring with pulse-train stimulation for implantation of thoracic pedicle screws: a blinded and randomized clinical study. Part 1: Methods and alarm criteria. *J Neurosurg Spine.*

- 2014;20(6):675–691. Doi: 10.3171/2014.2.SPINE13648. PMID: 24684171.
17. *Silverstein J. W., Mermelstein L. E.* Utilization of paraspinal muscles for triggered EMG during thoracic pedicle screw placement. *Am J Electroneurodiagnostic Technol.* 2010;50(1):37–49. Doi: 10.1080/1086508x.2010.11079752. PMID: 20361718.
18. Улитин А. Ю., Александров М. В., Малышев С. М. и др. Эффективность интраоперационного моторного

картирования при резекции опухолей центральных извилин // Рос. нейрохирург. журн. им. проф. А. Л. Поленова. 2017. Т. 9, № 1. С. 57–62. [Ulitin A. Yu., Aleksandrov M. V., Malyshev S. M., Kostenko I. A., Toporkova O. A., Tastanbekov M. M., Sebelev K. I., Safarov B. I. Effectiveness of intraoperative motor mapping during resection of rolandic brain tumors. *The Russian Neurosurgical Journal named after prof. A. L. Polenov.* 2017;9(1):57–62. (In Russ.)].

Сведения об авторах

Александр Владимирович Красильников – невролог, клинический нейрофизиолог Республиканской клинической больницы (г. Йошкар-Ола, Россия);
Иван Александрович Кожевников – нейрохирург Республиканской клинической больницы (г. Йошкар-Ола, Россия);
Сергей Николаевич Трифонов – нейрохирург, заведующий Нейрохирургическим отделением Республиканской клинической больницы (г. Йошкар-Ола, Россия).

Information about the authors

Aleksandr V. Krasilnikov – Neurologist, Clinical Neurophysiologist, Republican Clinical Hospital (Yoshkar-Ola, Russia);
Ivan A. Kozhevnikov – Neurosurgeon, Republican Clinical Hospital (Yoshkar-Ola, Russia);
Sergey N. Trifonov – Neurosurgeon, Head at the Neurosurgical Department, Republican Clinical Hospital (Yoshkar-Ola, Russia).

Принята к публикации 29.11.2024

Accepted 29.11.2024