

Прогностическая значимость моторных вызванных потенциалов при оперативных вмешательствах по поводу устранения спинального стеноза на цервикальном уровне

Д.В. Яковлева, Д.С. Каньшина, М.Г. Подгурская, А.Н. Кузнецов, О.И. Виноградов, Б.А. Теплых, Ш.М. Магоммедов

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;
Россия, 105203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70

Контакты: Дарья Владимировна Яковлева jakov5@yandex.ru

Введение. Транскраниальная электростимуляция — нейрофизиологический метод, который применяется интраоперационно и необходим для оценки проведения нервного импульса по кортико-спинальному тракту. Однако полученные результаты при регистрации этой модальности не всегда коррелируют с неврологическим статусом пациента при пробуждении.

Цель исследования — определить прогностическую значимость моторных вызванных потенциалов при оперативных вмешательствах по поводу устранения спинального стеноза на цервикальном уровне.

Материалы и методы. В исследовании проанализированы результаты 20 операций по микрохирургической декомпрессии корешков на цервикальном уровне путем устранения спинального стеноза. Оперативные вмешательства были проведены в нейрохирургическом отделении ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» с августа 2018 по март 2019 г. Интраоперационно использованы следующие модальности: моторные вызванные потенциалы, 3-канальная регистрация соматосенсорных вызванных потенциалов со срединных нервов, 8-канальная электроэнцефалография, контроль Train-of-four. По виду анестезиологического пособия пациенты разделены на 2 группы: в 1-й применялись ингаляционные анестетики, во 2-й — анестезиологическое пособие проводилось по протоколу Total intravenous anesthesia.

Результаты. Внутри каждой группы в ряде случаев зафиксировано снижение амплитуды ответов (на 80 % и более), а также выпадение моторных вызванных потенциалов. В группе Total intravenous anesthesia применяемые для получения моторных вызванных потенциалов силы тока не превышали 150 мА, в то время как в группе ингаляционных анестетиков максимальное значение было 300 мА, среднее — 170 мА. В группе Total intravenous anesthesia в 2 случаях было зарегистрировано выпадение ответа с 1 миотомом на этапе декомпрессии без восстановления за время мониторинга, в 2 случаях — падение амплитуды ответов на 80 % и более с последующим восстановлением. В группе десфлорана результаты оказались сопоставимыми.

Заключение. При проведении нейрофизиологического мониторинга при оперативных вмешательствах на цервикальном уровне выпадение моторных вызванных потенциалов с 1 миотомом, а также снижение амплитуды ответа на величину 80 % и более сомнительны как предиктор неврологического дефицита.

Ключевые слова: моторные вызванные потенциалы, транскраниальная электростимуляция, D-волна, F-волна

Для цитирования: Яковлева Д.В., Каньшина Д.С., Подгурская М.Г. и др. Прогностическая значимость моторных вызванных потенциалов при оперативных вмешательствах по поводу устранения спинального стеноза на цервикальном уровне. Нервно-мышечные болезни 2020;10(3):42–8.

DOI: 10.17650/2222-8721-2020-10-3-42-48



Prognostic significance of motor evoked potentials in surgical interventions to eliminate spinal stenosis at the cervical level

D. V. Yakovleva, D. S. Kanshina, M. G. Podgurskaya, A. N. Kuznetsov, O. I. Vinogradov, B. A. Teplykh, S. M. Magomedov
National medical and surgical center named after N. I. Pirogov, Ministry of Healthcare of Russia; 70 Pervomayskaya St., Moscow
105203, Russia

Introduction. Transcranial electrical stimulation is a neurophysiological method that is used intraoperatively for evaluating the conduct of a nerve impulse through the cortical-spinal tract. However, the results obtained during registration of this modality do not always correlate with the neurological status of the patient after surgery.

The purpose of the study is to determine the prognostic significance of motor evoked potentials in surgical interventions for the elimination of spinal stenosis at the cervical level.

Materials and methods. The study analyzed the results of 20 microsurgical root decompressions at the cervical level by eliminating spinal stenosis. Surgical interventions were performed in the neurosurgical Department of National medical and surgical center named after N. I. Pirogov from August 2018 to March 2019. Intraoperatively there were used the following modalities: motor evoked potentials, 3-channel

registration of somatosensory evoked potentials from the median nerves, 8-channel electroencephalography, and train-of-four monitoring. The patients were divided into 2 groups: in the 1st group was used inhalant anesthetics, in the 2nd the anesthesia was conducted according to the protocol "Total intravenous anesthesia".

Results. Within each group, in a number of cases, there was a decrease in the response amplitude (by 80 % or more), as well as a loss of motor evoked potentials. In the "Total intravenous anesthesia" group, the current stimulation forces used to obtain motor evoked potentials did not exceed 150 mA, while in the group of inhaled anesthetics, the maximum value was 300 mA, and the average value was 170 mA. In the "Total intravenous anesthesia" group, in 2 cases, a loss of response from one myotome at the decompression phase was registered without recovery during intraoperation monitoring, in 2 cases there was the amplitude loss by 80 % or more with subsequent recovery. In the "Total intravenous anesthesia" group, the results were comparable.

Conclusion. During neurophysiological monitoring in surgeries at the cervical level, the loss of motor evoked potentials from one myotome, as well as a decrease the response amplitude by 80 % or more are doubtful as a criteria for predicting neurological deficit.

Key words: motor evoked potentials, transcranial electrical stimulation, D-wave, F-wave

For citation: Yakovleva D.V., Kanshina D.S., Podgurskaya M.G. et al. Prognostic significance of motor evoked potentials in surgical interventions to eliminate spinal stenosis at the cervical level. *Nervno-myshechnye bolezni = Neuromuscular Diseases* 2020;10(3):42–8. (In Russ.).

Введение

Транскраниальная электростимуляция (ТЭС) — метод получения селективных моторных вызванных потенциалов (МВП) кортико-спинального тракта в ходе интраоперационного нейрофизиологического мониторинга [1]. МВП — электрические сигналы, регистрируемые с нервной ткани или мышцы после активации центральных моторных проводящих путей [2]. В ходе оперативного вмешательства регистрация МВП проводится для оценки состоятельности кортико-спинального тракта, что необходимо для прогнозирования возможного появления неврологического дефицита в послеоперационном периоде. Однако полученные результаты при регистрации этой модальности не всегда коррелируют с неврологическим статусом пациента при пробуждении. Результат стимуляции может быть ложноположительным (ответы регистрируются, но в послеоперационном периоде развивается неврологический дефицит) и ложноотрицательным (регистрируется выпадение ответов, при этом моторный дефицит не наблюдается) [3, 4].

Определены так называемые критерии опасности для МВП — падение амплитуды на 80 % и более, но отмечено, что следует принимать в расчет эти данные, если ответ получен на супрамаксимальных силах стимула [2]. Число ложноположительных результатов достаточно велико, что ставит под сомнение достоверность принятых в нейрофизиологическом сообществе критериев [5]. По наблюдениям зарубежных авторов, в ряде случаев при оперативных вмешательствах у пациентов с цервикальной миелопатией при падении амплитуды МВП на 80 % не наблюдалось неврологического дефицита в послеоперационном периоде, что говорит о низкой информативности данной модальности как предиктора развития неврологического дефицита [6, 7].

Цель исследования — рассмотреть возможные причины появления ложноотрицательных результатов и возможные пути решения данной проблемы.

Материалы и методы

В исследовании проведен анализ результатов 20 оперативных вмешательств, проведенных в нейрохирургическом отделении ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» с августа 2018 по март 2019 г. Все пациенты оперированы по поводу стеноза позвоночного канала на цервикальном уровне, преобладающий уровень поражения — спинномозговые сегменты С5–С6, С6–С7. Средний возраст пациентов $49 \pm 10,7$ года, среди них 12 мужчин и 8 женщин. Критерии включения: возраст не старше 80 лет, наличие стеноза позвоночного канала на цервикальном уровне, отсутствие противопоказаний к оперативному вмешательству по поводу сопутствующих заболеваний. Критерием исключения являлся установленный у пациента электрокардиостимулятор, наличие грубого тетрапареза (1–2 балла по шкале оценки мышечной силы (Medical Research Council Scale for Muscle Strength, MRS sum score)). В предоперационном периоде в неврологическом статусе у части пациентов наблюдались расстройства чувствительности без двигательных нарушений по периферическому типу ($n = 14$), верхний парапарез до 3–4 баллов ($n = 5$), тетрапарез 3–4 балла ($n = 1$). Всем пациентам выполнено микрохирургическое устранение спинального стеноза, а также передний корпорорез титановой пластиной. Все оперативные вмешательства проведены посредством переднего доступа под контролем нейрофизиологического мониторинга, а также электронно-оптического преобразователя. По виду анестезиологического пособия пациенты разделены на 2 группы: в 1-й применялся десфлюран в установленной концентрации 0,6–0,8 МАК (минимальная альвеолярная концентрация) + фентанил (1–2 мг/кг/ч), во 2-й — анестезиологическое пособие проводилось по протоколу Total intravenous anesthesia (TIVA): пропофол (10 мг/кг/ч) и фентанил (1–2 мг/кг/ч) [8]. Миорелаксанты (рокурония бромид) за время вмешательства вводились однократно перед интубацией (0,6 мг/кг) всем испытуемым.

Нейрофизиологический мониторинг проводился с помощью системы NIM Eclipse компании Medtronic, программное обеспечение Neurophys Support.

До начала оперативного вмешательства после проведения седации (до интубации) были установлены скальповые подкожные электроды в проекции моторной коры (M3/C3', M4/C4') для транскраниальной электростимуляции, а также в проекции сенсорной коры головного мозга для регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП). МВП регистрировались игольчатыми электродами с 5 миотомов: *m. deltoideus*, *m. extensor digitorum longum*, *m. adductor pollicis brevis*, *m. abductor digiti minimi*, *m. abductor hallucis*. Параметры стимуляции были установлены следующим образом, исходя из международного опыта при аналогичных вмешательствах: трейн из 5 стимулов, бифазная стимуляция с силой тока 90–300 мА [9, 10].

Для стимуляции при регистрации ССВП были использованы поверхностные электроды, которые располагались в проекции срединных нервов в области карпального канала. Сила тока при данной модальности составляла 20–30 мА. Регистрация ответов проводилась с 3 уровней: кортикального, сегментарного, периферического. Принимающие электроды, помимо описанных скальповых в проекции сенсорной коры головного мозга, также были установлены в области позвонка С7, а также в точках Эрба с обеих сторон.

Для контроля уровня сознания регистрировалась 8-канальная электроэнцефалография (ЭЭГ) (Fp1/Fp2, C3/C4, P3/P4, O1/O2, биполярный монтаж), проводился мониторинг показателя Bispectral index (BIS).

При регистрации описанных модальностей Baseline (с англ. «базовая линия» – впервые зарегистрированная кривая, относительно которой вычисляются отклонения по латентности и амплитуде) была получена до интубации. На протяжении интраоперационного мони-

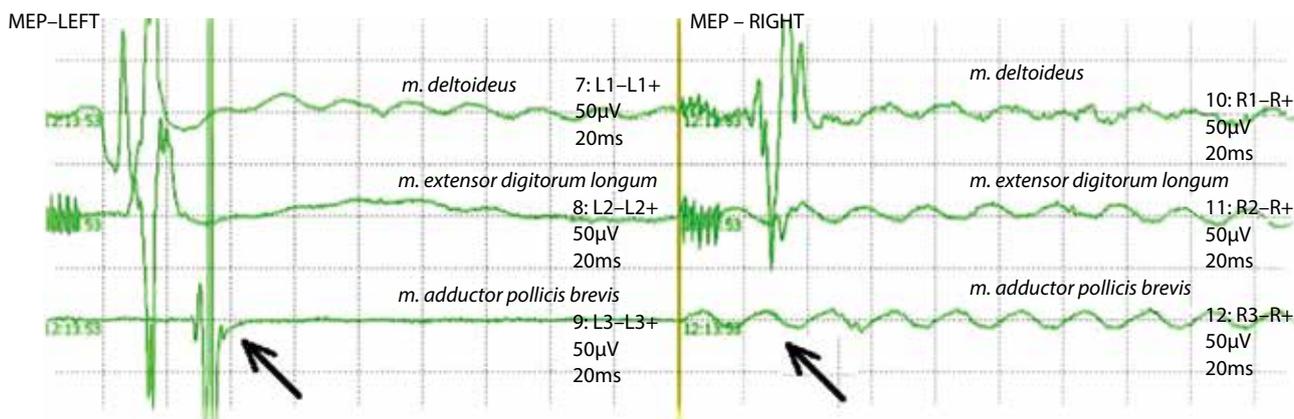
торинга также проводился контроль Train-of-four (TOF) в качестве объективного показателя наличия или отсутствия блока нервно-мышечной передачи [11].

Интраоперационный мониторинг проводили непрерывно с момента получения Baseline до интубации, во время основного этапа оперативного вмешательства и до зашивания операционной раны. ТМС-стимуляцию срединных нервов при ССВП проводили каждые 2 мин. Регистрация ЭЭГ была непрерывной.

Интраоперационно при снижении амплитуды МВП на 80 % и более силу стимула повышали с шагом приращения 10 мА до восстановления амплитуды, максимально – на 50 мА. При выпадении моторного ответа (см. рисунок) силу стимуляции повышали максимально на 100 мА с шагом приращения 10 мА. В случае, если последующего восстановления при повышении силы стимуляции не происходило, интраоперационно применяли внутривенное введение дексаметазона в дозе 8 мг, при этом выжидательная тактика не применялась, дальнейший ход операции продолжался в плановом порядке. Следует отметить, что никаких других экстренных действий, например орошения папаверином спинного мозга согласно правилу T.I.P. (time, irrigation, papaverine/pressure (blood pressure)), не предпринимали [12].

Результаты

В группе TIVA (пациенты 1–10) применяемые для получения МВП силы тока не превышали 150 мА, в то время как в группе десфлурана (пациенты 11–20), максимальное значение было 300 мА, среднее – 170 мА (см. таблицу). В обеих группах показатели BIS были сопоставимы, контроль TOF показывал отсутствие блока проведения. В группе TIVA в 2 случаях было зарегистрировано выпадение ответа с 1 миотома без восстановления, в 1 случае – выпадение ответа с 1 миотома



Пациент X., 42 лет. Интраоперационный нейрофизиологический мониторинг: выпадение ответа с миотома правой кисти (*m. adductor pollicis brevis*) при его сохранности с противоположной стороны (обозначено стрелками). На кривых 1 и 2 моторных вызванных потенциалов с *m. deltoideus*, *m. extensor digitorum longum* сохранены с обеих сторон

Patient H., 42 years old. Intraoperation neurophysiological monitoring: the loss of motor response from right hand's myotome (*m. adductor pollicis brevis*). The response from the same myotome at the opposite side is safe (indicated). At the registered lines 1 and 2 – motor responses from *m. deltoideus*, *m. extensor digitorum longum* respectively are safe on both sides

с восстановлением при повышении силы тока на 30–60 мА, в 2 случаях – падение амплитуды ответов на 80 % и более с последующим восстановлением амплитуды при повышении силы тока на 20–50 мА. Во всех случаях, когда наблюдалось выпадение или снижение амплитуды ответов, это происходило на этапе декомпрессии.

У всех испытуемых постоперационно не наблюдалось отрицательной динамики чувствительных и двигательных нарушений. В группе десфлюрана результаты оказались идентичны: в 2 случаях было зарегистрировано выпадение ответа с 1 миотома без восстановления за время интраоперационного мониторинга, в 1 случае – с восстановлением, в 2 случаях – падение амплитуды ответов на 80 % и более. При пробуждении – также без отрицательной динамики чувствительных и двигательных нарушений. Следует отметить, что во всех случаях выпадения ответа оно зарегистрировано унилатерально, с 1 миотома (рука), всегда в дистальном отделе конечности независимо от наличия или отсутствия исходного моторного дефицита в заинтересованной конечности (см. таблицу).

На основании полученных данных основной рабочей гипотезой остается чувствительность МВП к тракционным манипуляциям хирурга. В пользу данного предположения также говорит высокая чувствительность МВП, что, исходя из наших интраоперационных наблюдений, подтверждается в большом проценте случаев приростом амплитуды потенциалов при устранении спинального стеноза.

Обсуждение

В настоящее время зарубежные исследователи отмечают значимость регистрации модальностей – МВП и ССПВ в рамках интраоперационного мониторинга при спинальной хирургии для возможности интраоперационной оценки состоятельности проводящих путей спинного мозга [2].

В ряде работ подчеркивается, что снижение амплитуды МВП при интраоперационном мониторинге в спинальной хирургии на 80 % и более на время свыше 40 мин является предиктором развития неврологического дефицита в постоперационном периоде [1, 8]. Однако полученный нами опыт свидетельствует о низкой прогностической значимости данного «критерия опасности».

Получив в собственном наблюдении отсутствие неврологического дефицита у пациентов с интраоперационным выпадением МВП с кисти, мы выдвинули ряд гипотез о природе данного явления.

При выпадении ответов ипсилатерально мы предположили возможную локальную компрессию стволов плечевого сплетения фиксирующими устройствами, использованными при укладке пациента. Однако сохранность компонентов при регистрации ССПВ с 3 каналов, позволила, по нашему мнению, опровергнуть данную гипотезу.

Сопоставляя собственные результаты с данными других исследователей, приводящих доказательства высокой диагностической значимости ССПВ при интраоперационном мониторинге в спинальной хирургии [1–2, 8], хотелось бы также отметить высокую специфичность методики.

Следующей возможной причиной выпадения ответов при регистрации МВП, по нашему мнению, могла быть связь особенностей анестезиологического пособия с уровнем сознания, однако данное предположение было также исключено при регистрации 8-канальной ЭЭГ, в ходе которой отслеживалась динамика МВП при различных показателях BIS и частотных и амплитудных характеристик скальповой ЭЭГ, которые были сопоставимы в обеих группах и значимо за время оперативного вмешательства не изменялись.

Поскольку достоверной причины описанного выпадения ответов найдено не было, мы выдвинули предположение о целесообразности использования дополнительных модальностей, таких как D-волна и F-волна в ортопедической спинальной хирургии [13, 14].

Хотя МВП на данный момент остается одной из наиболее частых используемых методик, она имеет ряд ограничений в информативности и объективности [2], и остаются вопросы, для ответов на которые требуются дальнейшие исследования, в частности, критерии выпадения МВП: длительность выпадения, клиническая значимость при выпадении ответов с одного миотома, допустимые различия в параметрах стимуляции в зависимости от анестезиологического пособия. Мультимодальный мониторинг с использованием ССПВ, D-волны, МВП и F-волны в ортопедической нейрохирургии может быть полезен с целью выявления ранних нейрофизиологических признаков ишемического характера поражения спинного мозга [1, 15–16].

Выводы

При проведении нейрофизиологического мониторинга при оперативных вмешательствах на цервикальном уровне при регистрации МВП выпадение ответа с 1 миотома (дистальный отдел конечности), а также снижение амплитуды ответа на величину 80 % и более, вероятно, не являются клинически значимыми и сомнительны как предиктор возникновения неврологического дефицита.

Вид применяемого анестезиологического пособия оказывает влияние на параметры стимуляции, необходимые для получения МВП, однако не влияет на количество ложноположительных и ложноотрицательных результатов. Также не было отмечено влияния глубины анестезии (показатель BIS) на регистрацию МВП.

Для наиболее полного определения предикторов развития целесообразно при спинальной хирургии ориентироваться также и на другие модальности, которые стандартно включают регистрацию D-волны

Динамика ответов моторных вызванных потенциалов при различных видах анестезиологического пособия в ходе оперативного вмешательства
 The dynamics of motor evoked potentials' responses in various types of anaesthetic manual during the surgery

Пациент Patient	Сила тока МВП, мА Amperage MEP, mA		ТОФ	Динамика ответов МВП Dynamics of MEP responses			
	Средний показатель Average index	Приращение силы тока* Increment of amperage*		Блок проведения Conduction block	Без динамики No dynamics	Падение амплитуды ответа** Drop of response amplitude**	Выпадение МВП-ответа с кисти с восстановлением*** Loss of MEP-response from hand with recovering***
1	90	+50 +50	—	—	—	+	—
2	100	—	—	+	—	—	—
3	130	+30 +30	+	—	+	—	—
4	100	—	—	+	—	—	—
5	100	+10 +10	+	—	—	+	—
6	150	+100 +100	—	—	—	—	+
7	120	+50 +50	—	—	+	—	—
8	150	—	—	+	—	—	—
9	130	—	—	+	—	—	—
10	180	—	—	+	—	—	—
11	250	+100 +100	—	—	—	—	+
12	100	—	—	—	—	—	—
13	130	+30 +30	+	—	+	—	—
14	300	+100 +100	—	—	—	—	+
15	90	+	+	+	—	—	—
16	180	+100 +100	—	—	—	+	—
17	120	—	—	+	—	—	—
18	220	—	—	+	—	—	—
19	210	+30 +30	—	—	—	+	—
20	160	+50 +50	—	—	—	+	—

*Обозначение «—» — сила тока оставалась постоянной. **Обозначение «+» — падение амплитуды МВП на 80 % и более.

*** Во всех случаях «+» выпадение ответа моторного вызванного потенциала зафиксировано унилатерально, с одного миотома (кисть руки), с восстановлением или без него.

*Designation “—” — the amperage remained constant. **Designation “+” — the amplitude drop of MEP by 80 % or more. *** In all cases “+” the loss of motor evoked potentials response fixed unilateral, from one myotome (hand), with recovering afterwards or without it.

Примечание. МВП — моторные вызванные потенциалы, ТОФ — Train-of-four, мА — миллиампер.

Note. MEP — motor evoked potential, TOF — Train-of-four, mA — milliamperere.

и ССВП. Необходим контроль ТОФ, чтобы избежать ошибочной интерпретации «выпадения» ответов по сторонним причинам.

Требует дальнейшего изучения гипотеза чувствительности МВП в дистальном отделе конечности к тракционным манипуляциям во время операции.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

- MacDonald D.B. Intraoperative motor evoked potential monitoring: overview and update. *J Clin Monit Comput* 2006;20:347–77. DOI: 10.1007/s10877-006-9033-0. PMID: 16832580.
- Legatt A.D., Emerson R.G., Epstein C.M. et al. ACNS Guideline: transcranial electrical stimulation motor evoked potential monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2016;33(1):42–50. DOI: 10.1097/WNP.000000000000253. PMID: 26756258.
- MacDonald D.B. Overview on Criteria for MEP Monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2017;34(1):4–11. DOI: 10.1097/WNP.0000000000000302. PMID: 28045852.
- Ushirozako H., Yoshida G., Hasegawa T. et al. Characteristics of false-positive alerts on transcranial motor evoked potential monitoring during pediatric scoliosis and adult spinal deformity surgery: an “anesthetic fade” phenomenon. *J Neurosurg Spine* 2019;22:1–9. DOI: 10.3171/2019.9.SPINE19814. PMID: 31756712.
- Macdonald D.B., Stigsby B., Al Homoud I. et al. Utility of motor evoked potentials for intraoperative nerve root monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2012;29(2):118–25. DOI: 10.1097/WNP.0b013e31824ceeaf. PMID: 22469675.
- Traba A., Romero J.P., Arranz B. A new criterion for detection of radiculopathy based on motor evoked potentials and intraoperative nerve root monitoring. *J Clin Neurophysiol* 2018;129(10):2075–82. DOI: 10.1016/j.clinph.2018.07.005. PMID: 30077868.
- Malcharek M.J., Loeffler S., Schiefer D. et al. Transcranial motor evoked potentials during anesthesia with desflurane versus propofol – A prospective randomized trial. *J Clin Neurophysiol* 2015;126(9):1825–32. DOI: 10.1016/j.clinph.2014.11.025. PMID: 25541524.
- Langeloo D.D., Journée H.L., de Kleuver M. et al. Criteria for transcranial electrical motor evoked potential monitoring during spinal deformity surgery. A review and discussion of the literature. *J Clin Neurophysiol* 2007;37:431–9. DOI: 10.1016/j.neucli.2007.07.007. PMID: 18083499.
- Abboud T., Schaper M., Dührsen L. et al. A novel threshold criterion in transcranial motor evoked potentials during surgery for gliomas close to the motor pathway. *J Neurosurg* 2016;125:795–802. DOI: 10.3171/2015.8.JNS15143. PMID: 26799297.
- Alexander R., Volpe N.G. Total Intravenous Anesthesia. In: *Gullo A. (eds) Anaesthesia, Pain, Intensive Care and Emergency Medicine*. Milano: A.P.I.C.E. Springer, 2002. DOI: 10.1007/978-88-470-2099-3_70.
- Ali H.H., Savarese J. Monitoring of neuromuscular function. *Anesthesiology* 1976; 45(2):216–49. DOI: 10.1097/0000542-197608000-00009. PMID: 180849.
- Leppanen R. Intraoperative monitoring of segmental spinal nerve root. *J Clin Monit Comput* 2005;19:437–61. DOI: 10.1007/s10877-005-0086-2. PMID: 16437295.
- Каньшина Д.С., Кузнецов А.Н., Николаев С.Г. и др. Вариабельность представленности и латентности F-волны у пациентов в разные периоды позвоночно-спинномозговой травмы. *Нервно-мышечные болезни* 2019;9(1):61–6. [Kan'shina D.S., Kuznetsov A.N., Nikolaev S.G. et al. The variability of representation and latency of the F-wave in patients at different periods of spinal cord injury. *Nervno-myshechnye bolezni = Neuromuscular Diseases* 2019;9(1):61–6. (In Russ.)]. DOI: 10.17650/2222-8721-2019-9-1-00-00.
- Chistyakov A.V., Soustiel J.F., Hafner H. et al. Motor and somatosensory conduction in cervical myelopathy and radiculopathy. *Spine (Phila Pa 1976)* 1995;20(19):2135–40. DOI: 10.1097/00007632-199510000-00012. PMID: 8588171.
- Koarashi M. The clinical significance of the F-wave of upper limb on cervical myelopathy. *Nihon Seikeigeka Gakkai Zasshi* 1983;57(2):123–35. PMID: 6854108.
- Deletis V., Sala F. Intraoperative neurophysiological monitoring of the spinal cord during spinal cord and spine surgery: a review focus on the corticospinal tracts. *J Clin Neurophysiol* 2008;119(2):248–64. DOI: 10.1016/j.clinph.2007.09.135. PMID: 18053764.

Вклад авторов

Д.В. Яковлева: обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ материалов;
 Д.С. Каньшина: разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи;
 М.Г. Подгурская: участие в анализе собранных данных;
 А.Н. Кузнецов, О.И. Виноградов: участие в анализе собранных данных, редактирование текста рукописи;
 Б.А. Теплых, Ш.М. Магоммедов: участие в сборе и анализе материалов.

Authors' contributions

D.V. Yakovleva: review of publications on the article's subject, collection and analysis of materials;
 D.S. Kanshina: development of research design, review of publications on the article's topic;
 M.G. Podgurskaya: participation in the analysis of collected data;
 A.N. Kuznetsov, O.I. Vinogradov: participation in the analysis of collected data, editing the text of the manuscript;
 B.A. Teplykh, Sh.M. Magomedov: participation in the collection and analysis of materials.

ORCID авторов / ORCID of authors

Д.В. Яковлева / D.V. Yakovleva: <https://orcid.org/0000-0002-4874-248X>
 Д.С. Каньшина / D.S. Kanshina: <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>
 М.Г. Подгурская / M.G. Podgurskaya: <https://orcid.org/0000-0002-0102-1378>
 А.Н. Кузнецов / A.N. Kuznetsov: <https://orcid.org/0000-0002-0824-366X>
 О.И. Виноградов / O.I. Vinogradov: <https://orcid.org/0000-0002-3847-9366>
 Б.А. Теплых / B.A. Teplykh: <https://orcid.org/0000-0002-1784-9540>
 Ш.М. Магоммедов / S.M. Magomedov: <https://orcid.org/0000-0002-3948-5645>

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Финансирование. Исследование проведено без спонсорской поддержки.

Financing. The study was performed without external funding.

Информированное согласие. Пациенты подписали информированное согласие на публикацию своих данных.
Informed consent. Patients signed an informed consent to publish their data.

Соблюдение прав пациентов и правил биоэтики. Протокол исследования одобрен локальным этическим комитетом ФГБУ «НМХЦ им. Н.И. Пирогова» (протокол № 07 от 31.08.2018 г.).
Compliance with patient rights and principles of bioethics. The study protocol was approved by the local ethic committee of National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov of the Ministry of Healthcare of Russia (protocol 07 dates 31.08.2018).