

Вариабельность представленности и латентности F-волны у пациентов в разные периоды позвоночно-спинномозговой травмы

Д.С. Каньшина, А.Н. Кузнецов, С.Г. Николаев, О.И. Виноградов, Д.В. Яковлева

ФГБУ «Национальный медико-хирургический центр им. Н.И. Пирогова» Минздрава России;
Россия, 105 203 Москва, ул. Нижняя Первомайская, 70

Контакты: Дарья Сергеевна Каньшина dr.d.kanshina@gmail.com

Введение. Проведение нейрофизиологического обследования у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой целесообразно для определения окончания периода спинального шока. F-волны — поздний феномен электронейромиографии, реализуемый за счет активации пула мотонейронов передних рогов спинного мозга. В состоянии спинального шока, длительность которого вариабельна, F-волны не регистрируются. Регистрация F-волн с большеберцовых нервов свидетельствует о завершении спинального шока и восстановлении электровозбудимости мотонейронов передних рогов спинного мозга. Появление F-волн служит маркером для проведения диагностической транскраниальной магнитной стимуляции с целью оценки состоятельности кортикоспинального тракта на ранних сроках позвоночно-спинномозговой травмы.

Цель исследования — проанализировать воспроизводимость F-волн у пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой в зависимости от уровня, объема и сроков поражения.

Материалы и методы. В исследование включены 15 пациентов с последствиями позвоночно-спинномозговой травмы на уровне C4—C7 сегментов спинного мозга в возрасте от 19 до 29 лет, обследованные на базе НМХЦ им. Н.И. Пирогова в период с 2014 по 2016 г. Всем обследуемым проводилась стимуляционная электронейромиография: регистрация вызванных моторных, сенсорных ответов, F-волн при стимуляции срединных, локтевых, малоберцовых и большеберцовых нервов с обеих сторон.

Результаты. У 5 пациентов, из которых 3 находились в остром, 1 — в раннем и 1 — в позднем периоде позвоночно-спинномозговой травмы, клинически диагностирован спинальный шок: электронейромиография выявила отсутствие F-волн для всех тестируемых нервов. У 4 пациентов в раннем периоде позвоночно-спинномозговой травмы F-волны зарегистрированы только с n. tibialis, клинически отмечались первые спонтанные движения в конечностях. У 6 пациентов в промежуточном и позднем периодах позвоночно-спинномозговой травмы F-волны зарегистрированы со всех исследуемых нервов с неизменной латентностью. Клинически верифицировалось окончание спинального шока с минимальным объемом движений и восстановлением чувствительности в отдельных сегментах.

Заключение. Регистрация F-волны должна быть обязательным компонентом стимуляционной электронейромиографии при верификации состояния спинального шока, длительность которого не коррелирует с периодами позвоночно-спинномозговой травмы. Наличие F-волн является диагностическим маркером для проведения транскраниальной магнитной стимуляции с целью оценки состоятельности кортикоспинального тракта.

Ключевые слова: позвоночно-спинномозговая травма, F-волны, спинальный шок

Для цитирования: 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—66.

DOI: 10.17650/2222-8721-2019-9-1-61-66

The variability of representation and latency of the F-wave in patients at different periods of spinal cord injury

D.S. Kan'shina, A.N. Kuznetsov, S.G. Nikolaev, O.I. Vinogradov, D.V. Yakovleva

Federal state budgetary institution "National Medical and Surgical Center named after N.I. Pirogov" of the Ministry of Healthcare of the Russia; 70 Pervomayskaya St., Moscow 105 203, Russia

Introduction. Neurophysiological examination in patients with spinal cord injury is advisable to determine the end of the period of spinal shock. F-wave is a late electromyographic phenomenon realized by activating a pool of motor neurons of the anterior horns of the spinal cord. In the state of spinal shock, the duration of which is variable, F-waves are not recorded. The presence of F-waves from the tibial nerves indicates the completion of spinal shock and restoration of electrical excitability of motor neurons of the anterior horn of the spinal cord. The appearance of F-waves is a marker for diagnostic transcranial magnetic stimulation to assess the viability of the cortical-spinal tract in the early stages of spinal shock.

Study aim. To analyze the representation of F-waves in patients in different periods of spinal shock, depending on the level, volume and duration of the lesion.

Materials and methods. There were a total of 15 patients with spinal trauma in age from 19 to 29 years enrolled. All patients affected were localized in segments C4—C7. The examination included stimulation electroneuromyography: registration of motor responses, sensory responses and F-waves from the median, ulnar, fibular and tibial nerves on both sides.

Results. In 5 patients: 3 in acute, 1 in early and 1 in late periods of spinal cord injury, spinal shock was clinically diagnosed: electromyographic revealed the absence of F-waves for all tested nerves. In 4 patients in the early period of spinal cord injury F-waves were registered only with n. tibialis, the first spontaneous movements in the limbs were clinically observed; in 6 patients in the intermediate and late periods of spinal cord injury f-waves were recorded from all the nerves under study with constant latency. The end of spinal shock was clinically verified, with the presence of a minimum volume of movements and restoration of sensitivity in individual segments.

Conclusion. Registration of F-wave should be a mandatory component of stimulation electromyographic in the verification of spinal shock, the duration of which is not correlated with the periods of spinal cord injury. The presence of f-waves is a diagnostic marker for transcranial magnetic stimulation to assess the viability of the cortical-spinal tract.

Key words: spinal cord injury, F-wave, spinal shock

For citation: 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.

Введение

F-волны формируются в результате активации пула сегментарных мотонейронов в ответ на антидромное распространение электрического стимула по аксонам периферических нервов [1–4]. У пациентов с позвоночно-спинномозговой травмой (ПСМТ) в остром и раннем периодах возможно выпадение F-волн ниже уровня поражения, клинически соответствующее состоянию спинального шока – феномена, проявляющегося физиологическим или анатомическим повреждением спинного мозга с резким падением возбудимости и угнетением деятельности всех рефлекторных центров спинного мозга, расположенных ниже места перерезки (травмы) [5, 6]. Продолжительность спинального шока варьирует от нескольких дней до нескольких недель и зависит от объема, характера повреждения (контузии, ишемии, размозжения).

На сегодняшний день существует противоречие в русской и англоязычной литературе в описании стадий спинального шока. В отечественной классификации определение стадии основывается на длительности заболевания: острый период – первые 2–3 сут, ранний – последующие 2–3 нед, промежуточный – до 3–4 мес, поздний – от 3–4 мес и неопределенно долго [7]. В мировой практике, в частности по данным Американской ассоциации спинальной травмы (American Spinal Injury Association, ASIA), стадии спинального шока коррелируют с данными клинического осмотра, начиная с потери моторной и сенсорной функции ниже уровня поражения в первые дни и заканчивая гиперрефлексией и повышением спастичности в период от 1 до 12 мес после травмы [8]. В связи с этим актуальным становится нейрофизиологическое подтверждение состояния спинального шока и времени его завершения.

В проведенных ранее исследованиях показано, что при регистрации F-волн, в том числе у здоровых лиц, сегментарные мотонейроны, способные генерировать ответный импульс, формируют его нерегулярно [9, 10]. В условиях патологии изменения параметров F-волны касаются в первую очередь ее представленности, появления повторных ответов, увеличения

латентности, изменения формы и амплитуды потенциалов [11, 12].

В клинической практике анализ F-волн чаще всего используют как дополнительный метод оценки функционального состояния проксимального отдела периферических нервов и спинномозговых корешков наряду с основными показателями стимуляционной и игольчатой электронейромиографии (ЭНМГ) (скоростью распространения возбуждения по нерву, амплитудой вызванных моторных ответов, амплитудой и длительностью потенциалов двигательных единиц). Проводились работы с использованием F-волн в оценке состояния сегментарных мотонейронов у лиц с травматическим повреждением спинного мозга [5, 13]. Присутствие F-волн у пациентов с ПСМТ зависит от фазы развития травматической болезни, а отсутствие данного феномена является информативным нейрофизиологическим показателем ингибирования сегментарного альфа-мотонейрона в острейшем периоде [13].

При рассмотрении чувствительности методов регистрации F-волн по сравнению с регистрацией Н-рефлекса возможность тестирования разных уровней по всей длине спинного мозга, а не только на уровне поясничного утолщения делает приоритетным анализ F-волны для оценки возбудимости спинальных мотонейронов и процессов торможения сегментарных альфа-мотонейронов во время спинального шока в результате пресинаптических изменений в кортикоспинальном тракте и самих альфа-мотонейронах [14].

В экспериментальных исследованиях последних лет показано, что диагностическая значимость транскраниальной магнитной стимуляции в оценке состоятельности кортикоспинального тракта при ПСМТ наиболее объективна после завершения периода спинального шока [15].

Однако результаты немногочисленных исследований не дали однозначного ответа о вариабельности нейрофизиологических параметров стимуляционной ЭНМГ у пациентов с ПСМТ, что делает актуальными дальнейшие исследования случаев травматической болезни спинного мозга.

Цель исследования — проанализировать представленность F-волн у пациентов во время спинального шока, а также по его завершении в разные периоды ПСМТ в зависимости от уровня, объема и характера повреждения.

Материалы и методы

В исследование включены 15 пациентов с ПСМТ: 12 мужчин и 3 женщины в возрасте от 19 до 29 лет (средний возраст $24,0 \pm 3,6$ года), обследованных на базе НМХЦ им. Н.И. Пирогова за период 2014–2016 гг. Из них в остром периоде ПСМТ было 3 пациента, в раннем — 6, в промежуточном — 4 и 2 пациента в позднем периоде. У всех обследованных поражение локализовалось в сегментах С4–С7 спинного мозга и было сопоставимо по объему. В 11 случаях повреждение спинного мозга обусловлено типичной травмой ныряльщиков, в 2 — падением с высоты и в 2 — бытовой травмой.

На момент осмотра у 5 пациентов (2 в остром периоде ПСМТ, 2 — в раннем и 1 — в промежуточном) констатирован вариант А спинального шока по международной шкале ASIA, проявляющийся атонией, арефлексией и анестезией ниже уровня повреждения [16]. У 10 пациентов (1 — в остром периоде ПСМТ, 4 — в раннем, 3 — в промежуточном и 2 — в позднем) отмечалось частичное восстановление рефлекторных функций ниже уровня поражения (варианты В и С), двигательная функция была сохранена, но в более чем половине ключевых мышц сила была менее 3 баллов по шкале количественной оценки мышечной силы (Medical Research Council Weakness Scale, MRC).

Всем пациентам проводилось комплексное обследование с целью верификации уровня и объема поражения: нейровизуализация (магнитно-резонансная и компьютерная томография) и ЭНМГ.

Нейрофизиологическое обследование проводилось по стандартному протоколу и включало регистрацию моторного ответа (М-ответа) с мышц кисти, иннервируемых срединным (*n. medianus*), локтевым (*n. ulnaris*) нервами, а также с мышц стопы, иннервируемых большеберцовым (*n. tibialis*) и малоберцовым (*n. peroneus*) нервами. Сенсорная порция нервов рук оценивалась по наличию потенциала действия при антидромной стимуляции перечисленных нервов; на ногах потенциал действия регистрировали в ответ на стимуляцию глубокой ветви *n. peroneus* или икроножного нерва (*n. suralis*). F-волны регистрировались для всех выбранных моторных нервов рук и ног с определением их наличия в ответ на 20 последовательных стимулов, а также оценкой их минимальной латентности с обеих сторон.

Результаты

У 5 пациентов, в момент исследования находившихся в состоянии спинального шока на всех стадиях

ПСМТ, F-волны не регистрировались. У 3 пациентов отмечалось снижение амплитуды М-ответа с мышц кистей, у 2 — амплитуды ответов были в пределах нормы при неизменных амплитудных характеристиках М-ответов с мышц стоп. Скорость проведения импульса по моторным и сенсорным волокнам нервов рук и ног соответствовала нормативным значениям. У 10 пациентов, клинически вышедших из стадии спинального шока, отмечалось наличие F-волн, однако у 2 F-волны регистрировались только с *n. tibialis* — клинически отмечались спонтанные движения в конечностях (рис. 1).

У 8 пациентов F-волны регистрировались со всех тестируемых нервов. Скорость проведения по моторным и сенсорным волокнам нервов рук и ног оставалась неизменной. Обращало на себя внимание снижение амплитуды М-ответа с мышц кистей у обоих пациентов с выпавшими F-волнами с нервов рук, но имевших F-волны с неизменной латентностью с *n. tibialis*, а также у 2 пациентов с наличием F-волн со всех тестируемых нервов, с увеличенной на 20–25 % минимальной латентностью F-волн с нервов рук (см. таблицу).

При наличии F-волн отмечалась их 100 % представленность в ответ на 20 последовательных стимулов со всех исследуемых нервов. Амплитуды сенсорных потенциалов оставались в пределах нормативных значений у всех 15 пациентов. У 7 больных со снижением М-ответа с мышц кистей как в период спинального шока, так и после его завершения отмечалось раннее развитие гипотрофических изменений в дистальных отделах рук.

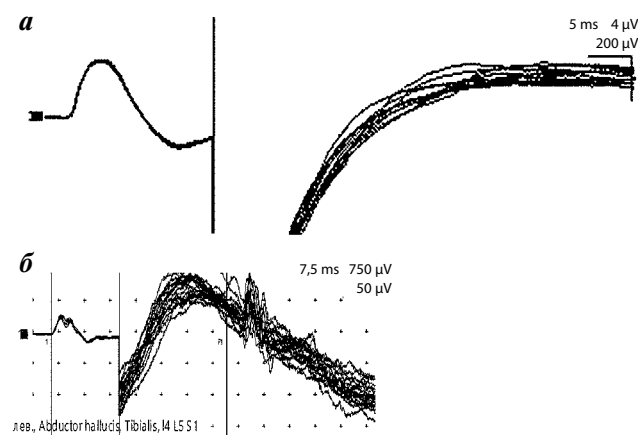


Рис. 1. Стимуляционная электромиография, регистрация F-волн: а — отсутствие F-волн с *m. abductor pollicis brevis* в ответ на стимуляцию *n. medianus* слева; б — F-волны с *m. abductor hallucis* в ответ на стимуляцию *n. tibialis* слева. Минимальная латентность 42 мс ($N = 43,2 \pm 3,2$ мс); представленность — 100 %

Fig. 1. Stimulation electromyography, registration of F-waves: а — the absence of F-waves with *m. abductor pollicis brevis*, in response to stimulation of *n. medianus* on the left; б — F-waves with *m. abductor hallucis*, in response to stimulation of *n. tibialis* on the left. The minimum latency is 42 ms ($N = 43.2 \pm 3.2$ ms); representation of 100 %

Зависимость электромиографических показателей и клинического проявления от наличия/отсутствия спинального шока и его периода
 Dependence of electromyographic parameters and clinical on the presence/absence and period of spinal shock

Наличие/отсутствие спинального шока Presence/absence of spinal shock	Период позвоночно-спинномозговой травмы Period of spinal cord injury	Оценка по шкале ASIA (вариант) Score ASIA (variant)	Амплитуда М-ответа (усредненная с кисти)* M-response amplitude (averaged from the brush)*	Наличие/отсутствие F-волны Presence/absence of F-wave	Состояние мышц кистей в восстановительном периоде The condition of hand's muscles in the recovery period
+	О A	A	↓	—	Гипотрофия Hypotrophy
+	О A	A	↓	—	Гипотрофия Hypotrophy
+	Р E	A	N	—	—
+	Р E	A	N	—	—
+	ПР IM	A	↓	—	Гипотрофия Hypotrophy
—	О A	B	↓	+**	Гипотрофия Hypotrophy
—	Р E	B	↓	+**	Гипотрофия Hypotrophy
—	Р E	B	↓	+***	Гипотрофия Hypotrophy
—	Р E	B	↓	+***	Гипотрофия Hypotrophy
—	Р E	C	N	+	—
—	ПР IM	C	N	+	—
—	ПР IM	C	N	+	—
—	ПР IM	C	N	+	—
—	П L	C	N	+	—
—	П L	C	N	+	—

*СРВ усредненная — в норме; **F-волна регистрировалась только с n. tibialis; ***F-волна регистрировалась с увеличенной латентностью с периферических нервов рук.

*Averaged NCV — normal; **F-wave was recorded only from n. tibialis; ***F-wave recorded with increased latency from peripheral hand nerves.

Примечание. Период позвоночно-спинномозговой травмы: О — острый, Р — ранний, ПР — промежуточный, П — поздний, СРВ — скорость распространения возбуждения, ASIA — Американская ассоциация спинальной травмы, N — норма.

Note. The period of spinal cord injury: A — acute, E — early, IM — intermediate, L — late, NCV — nerve conduction velocity, ASIA — American Spinal Injury Association, N — normal.

При проведении нейровизуализации объемы поражения были сопоставимы и однотипны (рис. 2).

Таким образом, при оценке F-волн у пациентов с осложненной ПСМТ выявлены следующие закономерности:

- 1) в период спинального шока F-волны могут не регистрироваться в ответ на стимуляцию всех анализируемых нервов;
- 2) признаки спинального автоматизма сопровождаются появлением F-волн нормальной латентности и только с n. tibialis;

- 3) снижение амплитуды М-ответа с миотомов кистей является неблагоприятным прогностическим критерием развития ПСМТ и проявляется развитием гипотрофии мышц кистей;
- 4) длительность спинального шока вариабельна, не коррелирует со сроками периодов ПСМТ;
- 5) регистрация F-волн с n. tibialis — временной маркер для проведения диагностической транскраниальной магнитной стимуляции с целью оценки состоятельности кортикоспинального тракта.

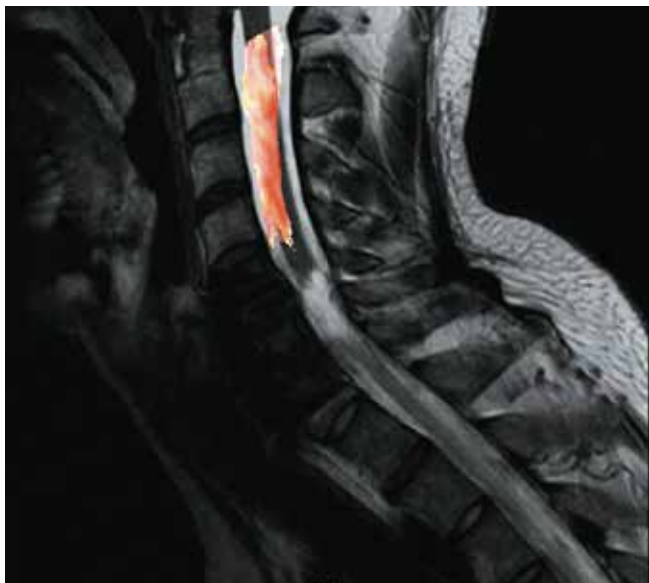


Рис. 2. Пациент С., 26 лет. Магнитно-резонансная томография с трактографией шейного отдела позвоночника: компрессионно-оскольчатый перелом С6–С7

Fig. 2. Patient S., 26 y. o. Magnetic resonance imaging with tractography of the cervical spine: compression-comminuted fracture of C6–C7

Обсуждение

Результаты нашего наблюдения подтвердили выпадение F-волн во время спинального шока, описанное ранее в литературе у пациентов в остром периоде ПСМТ [5]. Среди причин, объясняющих отсутствие F-волн при спинальном шоке, в первую очередь рассматриваются нарушения морфофункциональных связей проводящих путей спинного мозга [13, 14]. Это подтверждается повышением порога гиперполяризации мембраны сегментарных нейронов независимо от их удаленности от места травмы. Даже в случае локализации повреждения на шейном уровне наблюдается отсутствие F-волн с *n. tibialis* и *n. peroneus*, берущих свое начало от клеток передних рогов спинного мозга на уровне поясничного утолщения. При супрамаксимальной электрической стимуляции, достаточной для активации пула мотонейронов, способных генерировать F-волны в норме, регистрации данного феномена не происходит [17].

Однако анализ данных литературы показал, что обнаруженная особенность — появление F-волн в первую очередь с *n. tibialis* — остается неясной с позиции нейрофизиологии.

Можно предположить, что восстановление депolarизации мембраны пула мотонейронов, соответствующих проекции *n. tibialis* в спинном мозге, происходит раньше групп мотонейронов, соответствующих проекции срединного и локтевого нерва вследствие размождения и контузии во время травмы в большей

степени передних рогов спинного мозга на уровне шейного утолщения, чем кортикоспинального тракта. Следовательно, именно этот пул мотонейронов в первую очередь восстанавливается после включения механизмов адаптации.

Снижение амплитуды вызванных М-ответов с миотомов кистей в ранних сроках ПСМТ и последующая корреляции этого феномена с развитием ранних гипотрофий, в том числе у пациентов с увеличенной латентностью F-волн с нервов рук, подтверждают травматический характер повреждения не только кортикоспинального тракта, но и мотонейронного аппарата передних рогов шейного утолщения спинного мозга.

Объективизация повреждения кортикоспинального тракта посредством диагностической транскраниальной магнитной стимуляции у пациентов с ПСМТ возможна по завершении спинального шока, и, как показывает наше наблюдение, нейрофизиологическим временным маркером для этого является появление F-волн с *n. tibialis*.

Принятая в России классификация периодов ПСМТ, как показывает анализ литературы и собственные данные, утратила свою актуальность с позиции нейрофизиологической и клинической корреляции. Длительность спинального шока, объем повреждения, течение травматической болезни вариабельны и не имеют четких временных границ, в связи с чем оправдано использование терминов «острая и хроническая ПСМТ», а также «полный и неполный анатомический перерыв» спинного мозга, используемых в англоязычной литературе [16].

Заключение

Регистрация F-волны должна быть обязательным компонентом стимуляционной диагностической ЭНМГ в случае верификации состояния спинального шока. Данный феномен позволяет нейрофизиологически верифицировать окончание спинального шока и косвенно (по времени его восстановления с *n. tibialis*) судить о сохранности нижнего мотонейрона в зоне повреждения. Проведение транскраниальной магнитной стимуляции с целью оценки проводящей функции кортикоспинального тракта целесообразно у пациентов с последствиями ПСМТ только после окончания периода спинального шока, подтверждающегося регистрацией F-волн с *n. tibialis*. Периоды ПСМТ не коррелируют со временем окончания спинального шока, длительность которого вариабельна. Снижение амплитуды М-ответов с мышц кистей является неблагоприятным прогностическим критерием течения ПСМТ в связи с полной или частичной утратой функции мотонейронов спинного мозга на уровне шейного утолщения.

ЛИТЕРАТУРА / REFERENCES

1. Magladeri J.W., McDougal D.B. Electrophysiological studies of nerve and reflex activity in normal man. I. Identification of certain reflexes in the electromyogram and the conduction velocity of peripheral nerve fibers. *Bull John Hopkins Hosp* 1950;86(5):265–300. PMID: 15414383.
2. Kimura J. Electrodagnosis in diseases of nerve and muscle: principles and practice. Philadelphia: Oxford University Press, 1989. P. 710.
3. Kimura J., Yanagisawa H., Yamada T. et al. Is the F-wave elicited in a select group of motoneurons? *Muscle and Nerve* 1984;7(5):392–9. PMID: 6738578. DOI:10.1002/mus.880070509.
4. Kimura J. F-wave velocity in central segment of the median and ulnar nerves: A study in normal subjects and in patients with Charcot-Marie-Tooth disease. *Neurology* 1974;24:534–46. PMID: 4857549. DOI: 10.1212/wnl.24.6.539.
5. Curt A., Keck M.E., Dietz V. Clinical value of F-wave recordings in traumatic cervical spinal cord injury. *Electroencephalogr Clin Neurophysiol* 1997;105(3):189–93. PMID: 9216487. DOI: 10.1016/s0924-980x(97)96626-1.
6. Atkinson P.P., Atkinson J.L.D. Spinal shock. *Mayo Clinic Proceedings* 1996;71(4):384–9. PMID: 8637263. DOI: 10.1016/S0025-6196(11)64067-6.
7. Раздольский И.Я. Общие вопросы диагностики травматических повреждений и заболеваний спинного мозга и позвоночника. Руководство по хирургии. Москва: Медгиз, 1963. С. 181. [Razdolskiy I.Ya. Common issues of diagnosis of traumatic injuries and diseases of the spinal cord and spine. Surgery guide. Moscow: Medgis, 1963. P. 181. (In Russ.).]
8. Furlan J.C., Noonan V., Singh A., Fehlings M.G. Assessment of impairment in patients with acute traumatic spinal cord injury: a systematic review of the literature. *J Neurotrauma* 2011;28:1445–77. PMID: 20030559. DOI: 10.1089/neu.2009.1152.
9. Shiller H.H., Stalberg E. F-responses studied with thingle fiber EMG in normal subject and spastic patients. *J Neurol Neurosurg Psychiatr* 1978;41:45–3. PMID: 621530. DOI: 10.1136/jnnp.41.1.45.
10. Jates S.K., Brown W.F. Characteristics of the F-response6 a single motor unit study. *J. Neurol Neurosurg Psychiatr* 1979;42:161–70. PMID: 422964. DOI: 10.1136/jnnp.42.2.161.
11. Николаев С.Г. Практикум по клинической электронейромиографии. Иваново: ИГМА, 2003. С. 264. [Nikolaev S.G. Practicum on clinical electroneuromyography. Ivanovo: IGMA, 2003. P. 264. (In Russ.).]
12. Николаев С.Г. Электромиография: клинический практикум. Иваново: ПресСто, 2013. С. 85–95. [Nikolaev S.G. Electromyography: clinical practicum. Ivanovo: PresSto, 2013. P. 85–95. (In Russ.).]
13. Liberson W.T., Chen L.Y., Fok S.K. et al. H-reflexes and F-waves in hemiplegics. *Electromyogr Clin Neurophysiol* 1977;17:247–64. PMID: 923505.
14. Leis A.A., Stetkarova I., Beric A., Stokic D.S. The relative sensitivity of F-wave and H-reflex to changes in motoneuronal excitability. *Muscle Nerve* 1996;19:1342–4. PMID: 8808662. DOI: 10.1002/(sici)1097-4598(199610)19:10<1342::aid-mus13>3.3.co;2-c.
15. Hernández-Laín A., Piedras M.J., Cavada C. Functional evaluation of paraplegic monkeys (macaca mulatta) over fourteen months post-lesion. *Neurosci Res* 2011;69(2):144–53. PMID: 21093503. DOI: 10.1016/j.neures.2010.11.003.
16. Kirshblum S.C., Memmo P., Kim N. et al. Comparison of the revised 2000 American Spinal Injury Association classification standards with the 1996 guidelines. *Am J Phys Med Rehabil* 2002;81(7):502–5. PMID: 12131176. DOI: 10.1097/00002060-200207000-00006.
17. Petersen J.A., Spiess M., Curt A. et al. Upper limb recovery in spinal cord injury: involvement of central and peripheral motor pathways. *Neurorehabil Neural Repair* 2017;31(5):432–41. PMID: 28132610. DOI: 10.1177/1545968316688796.

Вклад авторов

Д.С. Каньшина: научное руководство исследованием, разработка дизайна исследования, обзор публикаций по теме статьи, сбор и анализ материалов;

А.Н. Кузнецов: участие в анализе собранных данных, редактирование текста рукописи;

С.Г. Николаев: участие в анализе собранных данных, участие в обзоре публикаций по теме статьи;

О.И. Виноградов: участие в анализе собранных данных, редактирование текста рукописи;

Д.В. Яковлева: сбор материалов исследования, редактирование текста рукописи.

Authors' contributions

D.S. Kan'shina: scientific management of research, developing the research design, reviewing of publications of the article's theme, collection and analysis of materials;

A.N. Kuznetsov: participation in the analysis of obtained data, editing the text of article;

S.G. Nikolaev: participation in the analysis of obtained data, participation in the reviewing of publications of the article's theme;

O.I. Vinogradov: participation in the analysis of obtained data, editing the text of article;

D.V. Yakovleva: collection of research materials, editing the text of article.

ORCID авторов/ORCID of authors

Д.С. Каньшина/D.S. Kan'shina: <https://orcid.org/0000-0002-5142-9400>

А.Н. Кузнецов/A.N. Kuznetsov: <https://orcid.org/0000-0002-6672-1623>

С.Г. Николаев/S.G. Nikolaev: <https://orcid.org/0000-0002-6672-1623>

О.И. Виноградов/O.I. Vinogradov: <https://orcid.org/0000-0002-3847-9366>

Д.В. Яковлева/D.V. Yakovleva: <https://orcid.org/0000-0002-4874-248X>

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.

Статья поступила: 18.06.2018. **Принята к публикации:** 20.02.2019.

Article received: 18.06.2018. **Accepted for publication:** 20.02.2019.