

ISSN 1814-6023 (Print)

ISSN 2524-2350 (Online)

УДК 616.833-009.7-073.7

<https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-4-316-325>

Поступила в редакцию 08.12.2024

Received 08.12.2024

В. И. Ходулев¹, О. В. Кобылко², А. А. Ковалев³¹*Республиканский научно-практический центр неврологии и нейрохирургии,
Минск, Республика Беларусь*²*Гомельская областная клиническая больница, Гомель, Республика Беларусь*³*Гомельский государственный медицинский университет, Гомель, Республика Беларусь***ЭЛЕКТРОНЕЙРОМИОГРАФИЧЕСКАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА
ПОЗДНИХ ОТВЕТОВ ПРИ РАДИКУЛОПАТИИ S1**

Аннотация. Электрофизиологические методы исследования, в частности поздние ответы нервной проводимости, играют важную роль в диагностике ряда нейрогенных расстройств, в том числе при пояснично-крестцовой радикулопатии. К поздним ответам относятся F-волна, H-рефлекс и A-волна.

Цель данного исследования – установить диагностическую значимость поздних ответов при стимуляции большеберцового нерва у пациентов с изолированной радикулопатией S1 в сопоставлении с клиническими данными.

Всего было обследовано 32 пациента с изолированной радикулопатией S1 (16 женщин, 16 мужчин), средний возраст которых составил $43,5 \pm 9,3$ года. При электронейромиографическом исследовании большеберцового нерва на поврежденной стороне выявлено наличие A-волны у 20 пациентов (62,5 %, $p < 0,001$). Она достоверно чаще сочеталась с тестами на раздражение спинномозгового корешка, а ее локализация перед F-волной являлась отличительной чертой этой патологии. Анализ параметров F-волны показал, что ее длительность была больше ($p = 0,001$), чем на неповрежденной стороне, а в контрольной группе отмечалось пролонгирование как длительности, так и латентности ($p < 0,001$). Пациенты с наличием A-волны имели более выраженные изменения длительности и латентности F-волны на поврежденной и неповрежденной сторонах. При анализе H-рефлекса установлено его отсутствие у 14 (43,8 %) пациентов и снижение его амплитуды на стороне повреждения у 9 (28,1 %) человек. Отсутствие H-рефлекса достоверно чаще выявлялось у пациентов с отсутствием ахиллова рефлекса ($p < 0,05$). Количество пациентов с наличием A-волны не отличалось от количества пациентов с увеличенной длительностью F-волны или со снижением амплитуды H-рефлекса ($p > 0,05$).

Ключевые слова: пояснично-крестцовая радикулопатия S1, электронейромиография, поздние ответы, A-волна, F-волна, H-рефлекс

Для цитирования: Ходулев, В. И. Электронейромиографическая характеристика поздних ответов при радикулопатии S1 / В. И. Ходулев, О. В. Кобылко, А. А. Ковалев // Вес. Нац. акад. навук Беларусі. Сер. мед. навук. – 2024. – Т. 21, № 4. – С. 316–325. <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-4-316-325>

Vasily I. Khodulev¹, Aleh V. Kabyłka², Aleksey A. Kovalev³¹*Republican Research and Practical Center of Neurology and Neurosurgery, Minsk, Republic of Belarus*²*Gomel Regional Clinical Hospital, Gomel, Republic of Belarus*³*Gomel State Medical University, Gomel, Republic of Belarus***CHARACTERISTICS OF LATE RESPONSES IN S1 RADICULOPATHY**

Abstract. Electrophysiological research methods, in particular late nerve conduction responses, play an important role in the diagnosis of a number of neurogenic disorders and, in particular in lumbosacral radiculopathy. Late responses include the F-wave, H-reflex, and A-wave.

The purpose of this study was to determine the diagnostic value of late responses to tibial nerve stimulation in patients with isolated S1 radiculopathy in comparison with clinical findings. We examined 32 patients with isolated S1 radiculopathy (16 women, 16 men), their average age was 43.5 ± 9.3 years.

An electroneuromyographic study of the tibial nerve on the injured side revealed the presence of an A-wave in 20 patients (62.5 %, $p < 0.001$). It was significantly more often combined with tests for spinal root irritation, and its localization before the F-wave was a characteristic feature of this pathology. The analysis of the F-wave parameters showed an increase in its duration ($p = 0.001$) compared to the uninjured side, and compared to the control group there was a prolongation of both duration and latency ($p < 0.001$). Patients with the presence of an A-wave had more pronounced changes in the duration and latency of the F-wave on the injured and uninjured sides. When analyzing the H-reflex, it was found to be absent in 14 (43.8 %) and decreased in amplitude in 9 (28.1 %) patients on the injured side. The absence of the H-reflex was

significantly more often detected in patients with the absence of the Achilles reflex ($p < 0.05$). The number of patients with the presence of an A-wave did not differ from that of patients with an increased duration of the F-wave or a decrease in the amplitude of the H-reflex ($p > 0.05$).

Keywords: isolated lumbosacral radiculopathy S1, electroneuromyography, A-wave, F-wave, H-reflex

For citation: Khodulev V. I., Kabylka A. V., Kovalev A. A. Characteristics of late responses in S1 radiculopathy. *Vestsi Natsyynal'nai akademii navuk Belarusi. Seryya medytsynskikh navuk = Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Medical series*, 2024, vol. 21, no. 4, pp. 316–325 (in Russian). <https://doi.org/10.29235/1814-6023-2024-21-4-316-325>

Введение. Пояснично-крестцовые радикулопатии представляют собой серьезную проблему в клинической практике. До 90 % радикулопатий возникают на пояснично-крестцовом уровне и до 80 % затрагивают корешки L5 и S1. Однако из-за многогранного характера этого состояния не всегда возможна постановка окончательного диагноза, основанного на физическом осмотре и нейровизуализационных методах. Корешки L5 и S1 иннервируют мышцы, обычно используемые для записи F-волн, а именно мышцы стопы – короткий разгибатель пальцев и мышцу, отводящую большой палец стопы. Электрофизиологические методы исследования, в частности поздние ответы нервной проводимости, играют важную роль в диагностике ряда нейрогенных расстройств, в том числе при пояснично-крестцовой радикулопатии. К поздним ответам относятся F-волна, H-рефлекс и A-волна [1].

F-волна является одним из наиболее часто используемых поздних ответов в клинической нейрофизиологии. Она является неинвазивной процедурой, сопровождающейся минимальной болью и дискомфортом в отличие от игольчатой ЭМГ. F-волна представляет собой поздний мышечный потенциал действия, который возникает в результате антидромной активации мотонейронов вследствие электрической стимуляции периферических нервов [2]. При этом активация самых крупных мотонейронов происходит, как правило, в случайном порядке. Поэтому по своей природе F-волны различаются по латентности, амплитуде, площади, длительности и морфологии. В клинической электрофизиологии оценивают минимальный ($F_{\min}$), максимальный ($F_{\max}$) и средний ($F_{\text{ср}}$) латентные периоды, хронодисперсию ($F_{\text{хр}}$), среднюю длительность ($F_{\text{дл}}$), представленность, или персистенцию, F-волн и ряд других показателей.

Латентный период F-волны отражает время проведения ответа между точкой стимуляции и спинным мозгом, время реактивации мотонейрона и время, в течение которого центробежный потенциал действия распространится в дистальном направлении и активирует двигательную единицу. $F_{\text{хр}}$ определяет разницу между минимальной и максимальной латентностью и, таким образом, отражает их диапазон в серии (популяции) F-волн. Представленность F-волн означает процент регистрируемых ответов после серии стимуляций (обычно 8–16 стимулов). $F_{\text{дл}}$ измеряют от начала возникновения ответа до его возвращения к изолинии. Она отражает дисперсию проведения ответа между наиболее быстропроводящими моторными волокнами и волокнами с меньшей скоростью проведения.

Однако имеющиеся данные, подтверждающие использование F-волн при пояснично-крестцовой радикулопатии, довольно противоречивы. Большинство разногласий, касающихся использования F-волн, вызвано неспособностью адекватно учитывать требования, предъявляемые к анализу F-волн. Эти требования включают определение количества F-волн, которые необходимо записать, параметров, которые следует оценить, и мышц, от которой идет регистрация F-волны. Большинство лабораторий в ежедневной рутинной практике наиболее часто используют $F_{\min}$ из серии F-волн [3–5]. Однако $F_{\min}$ остается нормальной, если хотя бы одно быстропроводящее двигательное волокно остается неизменным. Аналогично, $F_{\max}$ также может быть увеличена, если изменено только одно медленное волокно, несмотря на целостность остальных аксонов. Поэтому ряд авторов считают, что $F_{\text{ср}}$ как усредненная мера всех выживших аксонов может быть предпочтительнее крайних значений $F_{\min}$ или $F_{\max}$ [1]. Кроме того, для достижения воспроизводимости $F_{\text{ср}}$ требуется меньшее количество стимулов по сравнению с $F_{\min}$ или $F_{\max}$, что важно для пациентов, которые не переносят большое количество стимуляций, необходимых для получения точных результатов [2, 6]. Показано, что $F_{\min}$ и $F_{\text{ср}}$ редко являются аномальными по сравнению с предполагаемой $F_{\min}$. В другом исследовании показано, что $F_{\max}$ является наиболее чувствительным параметром [4]. Ряд авторов считают, что $F_{\text{хр}}$ считается значимым показателем

в диагностике, а для анализа необходимо проведение 32 стимулов [2, 6]. Однако в недавнем исследовании показана низкая диагностическая чувствительность этого показателя [7]. Сообщалось также, что F_{xp} зависит от роста, тогда как другие авторы показали, что F_{xp} остается одинаковой независимо от роста и длины конечностей. Сочетание $F_{мин}$ с другими измерениями, такими как F_{xp} , $F_{дл}$ и повторные ответы, может дать еще более высокий уровень диагностической информации для оценки пациентов с пояснично-крестцовыми радикулопатиями [8]. Кроме того, отдельные пики F-волн могут накладываться друг на друга, и их можно спутать с A-волной [9].

A-волна является типом позднего ответа, который часто упускается из виду. Она представляет собой разновидность мышечного потенциала действия, который имеет постоянную форму и латентный период и может быть обнаружен при исследовании F-волны [9, 10]. В настоящее время имеется мало информации об этом феномене и, соответственно, нет рекомендаций по интерпретации A-волн, а только констатируется их наличие или отсутствие при рутинном исследовании F-волн [11]. A-волны гетерогенны и могут быть вызваны несколькими нейрофизиологическими механизмами, такими как мио- или трансаксональная эфферентная передача потенциала действия от одного аксона к другому, экстрааксональный разряд, вызванный афферентным потенциалом действия, или коллатеральное прорастание нервных волокон во время регенерации аксонов [8, 12, 13]. Высказано предположение, что демиелинизация является основным патофизиологическим коррелятом A-волны [14–17].

A-волна выявляется при ряде нейрогенных расстройств, в том числе и при радикулопатиях. Они чаще регистрируются при проксимальных поражениях нерва, реже – при дистальных повреждениях [18]. Показано, что A-волна присутствует в 14–25 % нервов нижних конечностей у здоровых людей, однако их частота также увеличивается с возрастом, что заставило некоторых исследователей предположить, что A-волны могут коррелировать с возрастными дегенеративными изменениями альфа-мотонейронов в здоровой популяции [9]. Кроме того, установлено, что наличие A-волны является предиктором развития будущей невропатии и радикулопатии, на основании чего было сделано предположение, что A-волна представляет собой раннее проявление нарушения проводимости [12]. Ранее нами была продемонстрирована клинически значимая диагностическая ценность этого элемента при корешковой боли, обусловленной патологией S1 корешка и проявляющейся в виде изолированной невропатической боли в голени [16]. Следовательно, значение A-волны в диагностике и механизмы ее образования до конца не выяснены [9, 12, 18].

Исследование Н-рефлекса позволяет оценить как сенсорные (афферентная дуга), так и двигательные волокна (эфферентная дуга), иннервирующие икроножно-камбаловидный комплекс при стимуляции большеберцового нерва. При повреждении корешка S1 могут наблюдаться асимметричное удлинение латентного периода, снижение амплитуды Н-рефлекса или его отсутствие. Сообщалось о чувствительности 50 % и специфичности 91 % при исследовании Н-рефлекса при радикулопатии S1, а также о высокой диагностической и прогностической ценности при радикулопатии S1 [1, 19].

В связи с изложенным выше ряд авторов указывают на необходимость дальнейшего исследования других более сложных параметров поздних ответов при пояснично-крестцовой радикулопатии [3].

Цель данного исследования – изучение клинических данных и показателей поздних электрофизиологических ответов F-волн, A-волн, Н-рефлекса и оценка их диагностической значимости у пациентов с изолированной радикулопатией S1. В этом исследовании был сделан акцент на выявлении A-волны и на особенностях клинических данных и параметров F-волны при ее наличии при тестировании большеберцового нерва.

Материалы и методы исследования. Нами обследовано 32 пациента с изолированной радикулопатией S1 (16 женщин, 16 мужчин) в возрасте 22–60 ($43,5 \pm 9,3$) лет при росте $172,3 \pm 9,7$ см. Все обследуемые были разделены на две группы. Первую группу составили пациенты, у которых была выявлена A-волна, вторую группу – лица, у которых она отсутствовала. Кроме того, эти группы были разделены на подгруппы: 1А и 2А – пациенты с поврежденной стороной, 1Б и 2Б – с неповрежденной стороной. Контрольную группу составили 40 здоровых доброволь-

цев (24 женщины, 16 мужчин) в возрасте 23–57 ($34,4 \pm 11,8$) лет при росте $168,7 \pm 9,4$ см. Исследование было одобрено этическим комитетом учреждения «Гомельская областная клиническая больница». Все пациенты и добровольцы контрольной группы дали свое информированное согласие на исследование.

Критерии включения в исследование: жалобы на боли в ноге ниже коленного сустава в распределении дерматома S1 изолированно или в сочетании с болями в бедре и поясничной области; снижение ахиллова рефлекса; снижение силы в мышцах сгибателях стопы, а также наличие парамедианной грыжи межпозвонкового диска L5–S1 соответствующей латерализации, компрессирующей корешок S1 по данным магнитно-резонансной или компьютерной томографии.

Критерии исключения из исследования: возраст младше 18 и старше 70 лет, наличие сахарного диабета, системных заболеваний, злокачественных новообразований в анамнезе, клинических или электрофизиологических признаков полиневропатии, предыдущий прием пациентом лекарств, считающихся токсичными для периферической нервной системы.

Методика *электронейромиографического* (ЭНМГ) исследования малоберцового, большеберцового и икроножного нервов была выполнена по стандартной методике и описана ранее [5]. F-волны регистрировали при стимуляции большеберцового нерва в дистальной и проксимальной точках. При стимуляции катод располагали проксимально, чтобы избежать анодного блокирования антидромно распространяющихся импульсов. При исследовании F-волн проводили серию из 16–20 последовательных стимуляций с частотой 1 Гц. Длительность стимула составляла 0,1–0,2 мс, сопротивление – <5 кОм, усиление – 200–500 мкВ/дел, развертка – 5–10 мс/дел. Технику фасилитации не использовали. Анализировали следующие параметры F-волн: $F_{\min}$, $F_{\text{ср}}$, $F_{\text{макс}}$, $F_{\text{хр}}$, $F_{\text{дл}}$, а также длительность всего комплекса серии F-волн ($F_{\text{дл}}$ комплекса). $F_{\text{дл}}$ комплекса определяли как разницу между $F_{\min}$ и максимальной латентностью окончания F-волны в серии из всех записей. $F_{\text{дл}}$ комплекса использована нами в качестве нового параметра, который можно быстро оценить в растровом (raster) или наложенном (superimposed) режиме [20]. Поскольку $F_{\min}$ зависит от роста ($R = 0,696$), она была скорректирована с помощью индекса, который рассчитывали по формуле: латентность F-волны (мс)/рост (м). Минимальная амплитуда, используемая для идентификации F-волн, составляла 20 мкВ, или 1 % от амплитуды М-ответа. Полученные показатели с поврежденной стороны сравнивали с показателями неповрежденной стороны и в контрольной группе. Кроме того, нами проанализирована форма F-волны при наложенном режиме и определено количество визуально видимых повторяемых пиков F-волн в серии последовательных стимуляций. Нами сделано предположение, что повторяемые пики F-волн могут отражать наличие А-волны на F-волне, т. е. являться истинными А-волнами.

А-волну записывали при исследовании F-волны. При регистрации А-волны анализ включал определение места ее расположения, латентности, амплитуды, площади, длительности и частоты регистрации при исследовании F-волны. Идентификация А-волны проводилась на основании одинаковой латентности, амплитуды и формы. Н-рефлекс регистрировали с камбаловидной мышцы, активный электрод располагали на середине расстояния между центром подколенной ямки и ахилловым сухожилием в области проекции брюшка мышцы, референтный – над ахилловым сухожилием. Стимуляцию большеберцового нерва выполняли в области подколенной ямки, при этом катод располагали дистальнее анода. Длительность стимула составляла 0,5 мс, частота – 0,3 Гц, с каждым стимулом сила тока увеличивалась на 1 мА. Анализировали отсутствие и снижение амплитуды Н-рефлекса. Снижение амплитуды определяли по соотношению амплитуд поврежденной и неповрежденной сторон. В контрольной группе этот показатель составил $0,8 \pm 0,1$.

Проверку соответствия распределения количественных признаков модели нормального распределения осуществляли с помощью критерия Шапиро–Уилка. Описание нормально распределенных количественных признаков приводили в виде среднего значения и стандартного отклонения ($M \pm SD$), а в случае, когда распределение количественных показателей отличалось от нормального, данные представляли в виде медианы, нижнего и верхнего квартилей ($Me (Q_{25}–Q_{75})$). Для выявления различий между независимыми группами количественных показателей использовали тест Краскела–Уоллиса с последующим апостериорным попарным сравнением групп

с помощью теста Данна. При множественных сравнениях применяли поправку Холма. Клиническую значимость количественных показателей оценивали при помощи ROC-анализа. Оптимальный порог отсечения значений показателей определяли методом Йодена (Youden's J. statistic). Для сравнения площадей под ROC-кривыми применяли тест ДеЛонга (DeLong test). Результаты ROC-анализа представлены в виде величины площади под ROC-кривой (AUC), чувствительности (Se, %) и специфичности (Sp, %). При интервале площадей 0,9–1,0 качество модели оценивали как отличное, при 0,8–0,9 – как очень хорошее, при 0,7–0,8 – как хорошее, при 0,6–0,7 – как среднее, при 0,5–0,6 – как неудовлетворительное. Уровень значимости (α) был принят равным 0,05. Для анализа корреляции между показателями использовали коэффициент Пирсона.

Результаты и их обсуждение. При обследовании 32 пациентов с изолированной радикулопатией S1 правосторонняя локализация симптоматики наблюдалась у 15 человек, левосторонняя – у 17. У всех пациентов болевой синдром носил непостоянный характер и проявлялся преимущественно в нижних конечностях. Боли в голени в сочетании или без сочетания с болями в поясничной области возникали утром после длительного нахождения в горизонтальном положении у 15 человек, при ходьбе на расстояние 100 м – у 11, при сидении – у 11, при наклоне туловища – у 4, при подъеме тяжести – у 2 пациентов. Облегчение болевого синдрома, возникшего при длительном сидении или нахождении в горизонтальном положении, наблюдалось при смене положения тела: при ходьбе – у 18 пациентов, при необходимости принять вынужденную позу – у 17, при принятии горизонтального положения – у 8, после горячего душа – у 4, в положении сидя – у 3 человек. Чувствительные нарушения в области наружного края стопы выявлены у 31 пациента, мышечная слабость в сгибателях стопы (невозможность стоять на носках) – у 11, снижение или выпадение ахиллова рефлекса – у 29 человек. У всех обследуемых выявлены парамедианная грыжа межпозвонкового диска L5–S1 с соответствующей болевому синдрому латерализацией, а также снижение высоты межпозвонковых дисков.

При ЭНМГ-исследовании малоберцового нерва А-волна не была зарегистрирована. При тестировании большеберцового нерва у всех пациентов регистрировалась F-волна на каждый подаваемый стимул, а на поврежденной стороне наличие А-волны обнаружено у 20 пациентов (62,5 %, $p < 0,001$). Эта группа пациентов составила первую группу. Вторую группу с отсутствием А-волны составили 12 пациентов. Показатели продолжительности, интенсивности и характера болевого синдрома у пациентов этих групп не отличались ($p > 0,05$). Различий в чувствительной, двигательной и рефлекторной сферах между пациентами двух групп также не наблюдалось ($p > 0,05$). Тест «кашлевого толчка» значительно чаще встречался в первой группе (14 (70 %) пациентов), чем во второй (3 (25 %) пациента), $p = 0,038$. Положительный тест Ласега также наблюдался чаще у пациентов с наличием А-волны (19 (95 %) пациентов), чем у пациентов второй группы (6 (50 %) человек), $p = 0,032$. Достоверных различий в наличии протрузии, экструзии или секвестрированной грыжи, а также в их размере между пациентами групп не выявлено ($p > 0,05$). Кроме того, не выявлено различий между пациентами, профессии которых были связаны или не связаны с физической работой. Таким образом, А-волна достоверно чаще сочеталась с тестами на раздражение спинномозгового корешка.

В общей группе амплитуда Н-рефлекса была изменена в 71,9 % случаев. Н-рефлекс не зарегистрирован у 14 (43,8 %) человек, а снижение его амплитуды отмечалось у 9 (28,1 %) пациентов на стороне повреждения и у 1 (3,1 %) на неповрежденной стороне ($p < 0,001$). В контрольной группе Н-рефлекс регистрировался в 100 % случаев. В подгруппе 1А Н-рефлекс отсутствовал у 9 (45,0 %) пациентов, а в подгруппе 2А – у 5 (41,7 %), $p < 0,05$. У 11 (78,6 %) пациентов с отсутствием Н-рефлекса отмечалось отсутствие ахиллова рефлекса, а из 18 (56,3 %) пациентов с наличием Н-рефлекса ахиллов рефлекс отсутствовал только у 5 (27,8 %), $p = 0,006$. Взаимосвязи между Н-рефлексом и мышечной слабостью не выявлено ($p > 0,05$). Подобные результаты были получены при анализе латентного периода Н-рефлекса, который в 62,5 % случаев увеличивался как на поврежденной, так и на неповрежденной стороне у пациентов с радикулопатией L5/S1 [4]. Авторы объясняют это тем, что грыжа диска имеет тенденцию поражать оба нервных корешка, хотя одна сторона остается субклинической. Имеются также данные, что у всех пациентов с аномальным ахилловым рефлексом отмечалась пролонгированная латентность Н-рефлекса.

В подгруппе 1А при дистальной стимуляции А-волна располагалась отдельно, непосредственно перед F-волной (15 (75 %) пациентов, $p < 0,001$), в самом начале F-волны, соединяясь с ней (5 (25 %) человек). У 1 (5 %) пациента было зарегистрировано одновременно две А-волны, которые локализовались перед F-волной и в ее начале. При проксимальной стимуляции А-волна перед F-волной была зарегистрирована у 11 (55 %) пациентов. Параметры А-волны, локализуемой перед F-волной, представлены в табл. 1. Различие между латентностью А-волны и F_{cp} составила $3,4 \pm 1,9$ мс. В ряде случаев А-волна носила нестойкий характер – имела различную представленность в серии F-волн (47,5 (36,3; 80,0) %). В подгруппе 1Б А-волна выявлена у 7 (21,9 %) пациентов. У 1 пациента она локализовалась между М-ответом и F-волной, у 4 – непосредственно перед F-волной и у 2 – сразу после F-волны.

Таблица 1. Параметры А-волны у пациентов с радикулопатией S1

Table 1. A-wave parameters in the patients with S1 radiculopathy

Точка стимуляции	Латентность, мс	Амплитуда, мкВ	Площадь, мкВ·мс	Длительность, мс	Представленность, %
Дистальная (мин.–макс.), $n = 20$	$51,7 \pm 6,2$ (42,9–70,4)	77,7 (55,2; 121,0) (21,1–500,0)	82,6 (57,7; 158,8) (13,5–494,0)	$2,9 \pm 0,5$ (2,0–9,4)	47,5 (36,3; 80,0) (25,0–100,0)
Проксимальная (мин.–макс.), $n = 11$	$46,9 \pm 4,9$ (41,4–52,1)	82,3 (48,8; 138) (36,1–500,0)	85,9 (56,4; 170) (37,6–37,9)	3 (2,3; 3,5) (2,2–9,3)	59,8 (48,2; 54,2) (30,0–100,0)

Типичная картина локализации А-волны у пациентки с невропатической болью, обусловленной раздражением S1 корешка, приведена в работе [16]. Тоуокура с соавт. показали наличие вероятной А-волны перед F-волной у пациента с легкой радикулопатией S1, вызванной грыжей межпозвонкового диска [8]. А-волна может располагаться перед, в начале, в середине, в конце или после F-волны. Она, по-видимому, формируется теми двигательными волокнами, потенциалы действия которых не подвержены затуханию при формировании F-волны и не блокируются потенциалами действия, исходящими дистально от места раздражения или проксимально от возбужденных мотонейронов.

При анализе повторяемых пиков на F-волне в общей группе пациентов они были выявлены у 6 (18,8 %) человек, в подгруппах 1А и 1Б – у 1 пациента в каждой подгруппе. В то же время в подгруппе 2А повторяемые пики были зарегистрированы у 3 (25,0 %) пациентов, а подгруппе 2Б – у 1 человека, что в общем составило 33,3 % случаев. Таким образом, если предположить, что повторяемый пик на F-волне является А-волной, то встречаемость А-волны при радикулопатии S1 возросла с 20 (62,5 %) до 24 (75,0 %) случаев.

Параметры F-волны в зависимости от наличия А-волны на поврежденной и неповрежденной сторонах представлены в табл. 2. Для подгруппы 1А было характерно повышение длительности ($p = 0,001$), но не латентности F-волны ($p > 0,05$) по сравнению подгруппой 1Б (неповрежденная сторона), тогда как по сравнению с контрольной группой было пролонгирование как длительности, так и латентности ($p < 0,001$). В подгруппе 1Б также выявлено повышение латентности и длительности F-волны по сравнению с контрольной группой ($p < 0,001$). В подгруппе 2А длительность F-волны была пролонгирована ($p < 0,001$), тогда как латентность не изменялась ($p > 0,05$) по сравнению с контрольной группой и эти показатели не отличались по сравнению с подгруппой 2Б. В группе 2Б была увеличена только длительность F-волны ($p < 0,05$). В общей группе пациентов $F_{дл}$ и $F_{дл}$ комплекса была увеличена (62,5 и 68,8 % случаев соответственно).

В связи с трудоемкостью процессов маркировки и измерения длительности каждой кривой нами предложено использование $F_{дл}$ комплекса серии (популяции) F-волн в качестве нового показателя, который можно быстро оценить в растровом и/или наложенном режимах [20]. Этот показатель оценивает длительность всей популяции F-волн, включая, по-видимому, и А-волну, которую не всегда можно четко отделить от F-волны. Этот показатель был сопоставим с $F_{дл}$ ($p > 0,05$). Кроме того, показатели $F_{дл}$ и $F_{дл}$ комплекса не зависели от роста человека ($R = 0,014$

и $R = -0,082$ соответственно). $F_{\text{хр}}$ во всех подгруппах не изменялась по сравнению с данным показателем в контрольной группе. Это объясняется тем, что, как показали недавние исследования, этот показатель может отражать скорее возбудимость двигательных нейронов, чем вариабельность скорости проводимости между различными двигательными волокнами [21].

Таблица 2. Параметры F-волны при исследовании большеберцового нерва в зависимости от наличия А-волны ($M \pm SD$)

Table 2. F-wave parameters in the study of the tibial nerve depending on the presence of the A-wave ($M \pm SD$)

Показатель	Наличие А-волны ($n = 20$)		Отсутствие А-волны ($n = 12$)		Контрольная группа	p						
	1А*	1Б**	2А*	2Б**		p_{1A-1B}	p_{1A-2B}	p_{1A-3}	p_{2A-2B}	p_{1B-3}	p_{2B-3}	p_{2A-3}
$F_{\text{мин}}, \text{мс}$	$53,8 \pm 6,2$	$52,6 \pm 5,0$	$49,9 \pm 4,6$	$48,4 \pm 3,9$	$47,1 \pm 4,7$	0,462	0,075	<0,001	0,412	<0,001	0,345	0,085
$F_{\text{макс}}, \text{мс}$	$58,2 \pm 5,9$	$56,8 \pm 6,1$	$54,3 \pm 5,4$	$53,4 \pm 4,7$	$51,5 \pm 4,5$	0,308	0,061	<0,001	0,680	<0,001	0,197	0,089
$F_{\text{ср}}, \text{мс}$	$55,9 \pm 5,9$	$54,7 \pm 5,5$	$51,6 \pm 4,7$	$50,9 \pm 4,9$	$49,2 \pm 4,4$	0,411	0,041	<0,001	0,750	<0,001	0,221	0,125
$F_{\text{мин}}/\text{рост}, \text{мс/м}$	$31,4 \pm 3,2$	$30,7 \pm 2,2$	$28,9 \pm 1,8$	$28,0 \pm 1,5$	$28,0 \pm 2,0$	0,370	0,022	<0,001	0,237	<0,001	0,966	0,190
$F_{\text{макс}}/\text{рост}, \text{мс/м}$	$34,0 \pm 3,1$	$33,1 \pm 2,8$	$31,4 \pm 2,1$	$30,8 \pm 1,8$	$30,6 \pm 1,8$	0,211	0,015	<0,001	0,548	<0,001	0,669	0,233
$F_{\text{ср}}/\text{рост}, \text{мс/м}$	$32,6 \pm 3,1$	$31,8 \pm 2,4$	$29,8 \pm 1,9$	$29,4 \pm 1,9$	$29,2 \pm 1,8$	0,307	0,009	<0,001	0,635	<0,001	0,724	0,329
$F_{\text{хр}}, \text{мс}$	$4,4 \pm 2,0$	$4,2 \pm 2,3$	$4,5 \pm 1,9$	$5,0 \pm 2,0$	$4,4 \pm 1,0$	0,360	0,909	0,794	0,588	0,084	0,219	0,755
$F_{\text{дл мин.}}, \text{мс}$	$12,8 \pm 3,0$	$11,4 \pm 2,4$	$11,8 \pm 2,8$	$11,2 \pm 2,5$	$9,2 \pm 1,7$	0,119	0,367	<0,001	0,576	<0,001	0,003	<0,001
$F_{\text{дл макс.}}, \text{мс}$	$23,0 \pm 4,5$	$18,6 \pm 3,2$	$21,5 \pm 3,4$	$18,8 \pm 3,2$	$15,7 \pm 2,2$	0,001	0,316	<0,001	0,073	<0,001	<0,001	<0,001
$F_{\text{дл ср.}}, \text{мс}$	$18,4 \pm 3,6$	$14,9 \pm 2,1$	$17,2 \pm 3,1$	$14,9 \pm 2,8$	$12,8 \pm 2,2$	0,001	0,399	<0,001	0,076	<0,001	0,012	<0,001
$F_{\text{дл комплекса}}, \text{мс}$	$23,7 \pm 4,6$	$18,8 \pm 3,4$	$22,7 \pm 3,7$	$19,3 \pm 2,9$	$16,4 \pm 2,2$	0,001	0,610	<0,001	0,026	0,002	0,001	<0,001

Примечание. * – поврежденная сторона, ** – неповрежденная сторона, $F_{\text{мин}}$, $F_{\text{макс}}$, $F_{\text{ср}}$ – минимальная, максимальная и средняя латентность F-волны, $F_{\text{хр}}$ – хронодисперсия F-волны, $F_{\text{дл}}$ – длительность, $F_{\text{дл комплекс}}$ – общая длительность всего комплекса серии F-волн.

Проведение ROC-анализа для сравнения показателей длительности и латентности F-волн в подгруппах пациентов (табл. 3) показало, что наибольшее значение площади под кривой (AUC) было у показателей длительности F-волны на стороне повреждения как в группе пациентов с А-волной ($AUC F_{\text{дл ср.}} = 0,92$, $AUC F_{\text{дл комплекс}} = 0,9$), так и в группе пациентов без А-волны ($AUC F_{\text{дл ср.}} = 0,91$, $AUC F_{\text{дл комплекс}} = 0,94$). Несколько худшие результаты продемонстрировал показатель $F_{\text{мин}}$ на стороне повреждения в группе пациентов с А-волной ($AUC = 0,82$). Еще хуже был результат у показателя $F_{\text{мин}}$ на стороне повреждения в группе пациентов без А-волны ($AUC = 0,66$).

Таким образом, нами выявлено, во-первых, наличие А-волны, локализующейся перед F-волной; во-вторых, пролонгирование длительности F-волны; в-третьих, снижение амплитуды или отсутствие Н-рефлекса; в-четвертых, субклиническое вовлечение в патологический процесс спинномозгового корешка S1 с противоположной, неповрежденной стороны. Кроме того, количество пациентов с наличием А-волны не отличалось от количества пациентов с увеличенной длительностью F-волны или измененным Н-рефлексом ($p > 0,05$). Группа пациентов с наличием А-волны имела достоверно большие изменения параметров нервной проводимости F-волны ($F_{\text{мин}}$ и $F_{\text{дл}}$) по сравнению с группой без А-волны, что позволяет предположить ее роль в патогенезе забо-

левания, в частности локального демиелинизирующего повреждения нервного корешка. Этот вывод согласуется с результатами исследования, которое показало, что показатель $F_{\text{макс}}$ как наиболее значимый параметр изменялся как на поврежденной, так и на неповрежденной стороне, но не между сторонами [4].

Таблица 3. Результаты ROC-анализа параметров латентности и длительности F-волны по отношению к контрольной группе

Table 3. Results of the ROC analysis of latency and duration parameters of the F-wave in relation to the control group

Показатель	AUC	Se	Sp	Порог отсечения	<i>p</i>
$F_{\text{мин}}$:					
контроль-1А*	0,82	0,8	0,78	29,43	<0,0001
контроль-2А*	0,66	0,83	0,48	27,34	0,07
контроль-1Б**	0,83	0,8	0,72	29,0	<0,0001
контроль-2Б**	0,53	0,83	0,32	27,06	0,756
$F_{\text{дл}}$:					
контроль-1А*	0,92	0,75	1	17,15	<0,001
контроль-2А*	0,91	0,92	0,8	14,56	<0,0001
контроль-1Б**	0,76	0,75	0,78	14,47	<0,0001
контроль-2Б**	0,72	0,75	0,65	13,35	0,01
$F_{\text{дл}}$ комплекс:					
контроль-1А*	0,9	0,75	0,98	19,65	<0,0001
контроль-2А*	0,94	0,83	0,98	19,85	<0,0001
контроль-1Б**	0,72	0,5	1,0	20,25	0,008
контроль-2Б**	0,78	0,5	1,0	20,2	<0,0001

Примечание. * – поврежденная сторона (А), ** – неповрежденная сторона (Б) в группах 1 и 2, $F_{\text{мин}}$ – минимальная латентность F-волны, $F_{\text{дл}}$ – средняя длительность, $F_{\text{дл}}$ комплекс – длительность всего комплекса серии F-волн. AUC – площадь под ROC-кривой, Se – чувствительность, Sp – специфичность.

В патогенезе радикулопатии участвует несколько факторов, включая давление, воспаление и иммунный ответ [4]. Эти факторы могут влиять как на чувствительные волокна, которые представляют собой наибольший объем корешков спинномозговых нервов, так и на двигательные волокна. Из-за меньшего содержания коллагена в нервных корешках по сравнению с периферическими нервами первые структуры более подвержены деформирующим нагрузкам. Все эти факторы приводят не только к воспалению нервных корешков и болевым реакциям, но и к разрушению миелиновой оболочки двигательных и чувствительных волокон. В этих условиях может произойти отражение импульса от места повреждения или обусловленный эфаптической передачей переход потенциала действия от одного нервного волокна к другому и, как следствие, его возвращение к мышце в виде А-волны. Кроме того, конвергенция различных механизмов может привести к появлению А-волн. Следовательно, нейрофизиологические проявления клинической или субклинической двигательной дисфункции могут наблюдаться в виде наличия А-волны.

Заключение. Исследования поздних ответов играют важную роль в электрофизиологической оценке при радикулопатии S1. Среди этих ответов значимую диагностическую ценность представляют такие характеристики, как выявление А-волны, пролонгирование длительности F-волны и отсутствие или снижение амплитуды Н-рефлекса при исследовании большеберцового нерва. А-волна достоверно чаще выявлялась у пациентов с положительными тестами на раздражение спинномозгового корешка. Снижение амплитуды или отсутствие Н-рефлекса чаще выявлялось у пациентов с отсутствием ахиллова рефлекса. Локализация А-волны перед F-волной – характерная особенность при этой патологии. Пациенты с наличием А-волны имели более выраженные изменения длительности и латентности F-волны как на поврежденной, так и неповрежденной стороне. Таким образом, включение полученных результатов в клинические и нейро-

визуализационные данные может быть полезно не только для диагностики, скрининга и прогнозирования развития патологического процесса на корешковом S1 уровне, но и для изучения механизмов повреждения нервной ткани.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Список использованных источников

1. Fisher, M. A. Electrophysiology of radiculopathies / M. A. Fisher // *Clin. Neurophysiol.* – 2002. – Vol. 113, N 3. – P. 317–335. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00018-4)
2. Panayiotopoulos, C. P. F-waves in clinical neurophysiology / C. P. Panayiotopoulos, E. Chroni // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1996. – Vol. 101, N 5. – P. 365–374. [https://doi.org/10.1016/0924-980X\(96\)95635-0](https://doi.org/10.1016/0924-980X(96)95635-0)
3. Mauricio, E. A. Utility of minimum F-wave latencies compared with F-estimates and absolute reference values in S1 radiculopathies: are they still needed? / E. A. Mauricio, E. L. Dimberg, D. I. Rubin // *Muscle Nerve.* – 2014. – Vol. 49, N 6. – P. 809–813. <https://doi.org/10.1002/mus.23992>
4. Nerve conduction studies in patients with lumbosacral radiculopathy caused by lumbar intervertebral disc herniation / S. Yousif [et al.] // *Adv. Orthop.* – 2020. – Vol. 2020. – Art. ID 8882387. <https://doi.org/10.1155/2020/8882387>
5. Ходулев, В. И. Клиническая и электронейромиографическая характеристика пациентов с изолированной радикулопатией S1 / В. И. Ходулев, О. В. Кобылко, А. А. Ковалев // *Мед. новости.* – 2023. – Т. 347, № 8. – С. 54–57.
6. Various aspects of F-wave values in a healthy population / J. A. M. Nobrega [et al.] // *Clin. Neurophysiol.* – 2004. – Vol. 115, N 10. – P. 2336–2342. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.05.011>
7. F-waves of peroneal and tibial nerves in the differential diagnosis and follow-up evaluation of L5 and S1 radiculopathies / C. Zheng [et al.] // *Eur. Spine J.* – 2018. – Vol. 27, N 8. – P. 1734–1743. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5650-9>
8. Toyokura, M. F wave duration in mild S1 radiculopathy / M. Toyokura, T. Furukawa // *Clin. Neurophysiol.* – 2002. – Vol. 113, N 8. – P. 1231–1235. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00148-7)
9. Puksa, L. Occurrence of A-waves in F-wave studies of healthy nerves / L. Puksa, E. Stålberg, B. Falck // *Muscle Nerve.* – 2003. – Vol. 28, N 5. – P. 626–629. <https://doi.org/10.1002/mus.10448>
10. A retrospective study of the characteristics and clinical significance of A-waves in amyotrophic lateral sclerosis / J. Fang [et al.] // *Front Neurol.* – 2017. – Vol. 8. – Art. 515. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00515>
11. Significance of A-waves recorded in routine motor nerve conduction studies / C. Bischoff [et al.] // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1996. – Vol. 101, N 6. – P. 528–533. [https://doi.org/10.1016/S0921-884X\(96\)96553-4](https://doi.org/10.1016/S0921-884X(96)96553-4)
12. A-waves increase the risk of developing neuropathy / I. Srotova [et al.] // *Brain Behav.* – 2017. – Vol. 7, N 8. – P. e00760. <https://doi.org/10.1002/brb3.760>
13. Magistris, M. R. Motor axon reflex and indirect double discharge: ephaptic transmission? A reappraisal / M. R. Magistris, G. Roth // *Electroencephalogr. Clin. Neurophysiol.* – 1992. – Vol. 85, N 2. – P. 124–130. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(92\)90078-P](https://doi.org/10.1016/0168-5597(92)90078-P)
14. Further insight on A-wave in acute and chronic demyelinating neuropathies / F. Sartucci [et al.] // *Neurol. Sci.* – 2010. – Vol. 31, N 5. – P. 609–616. <https://doi.org/10.1007/s10072-010-0354-x>
15. Khodulev, V. A-wave as a sign of peripheral nervous system demyelination / V. Khodulev, G. Ovsiankina, G. Zobnina // *Eur. J. Neurol.* – 1998. – Vol. 5, suppl. 3. – P. S46. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.1998.tb00464.x>
16. Khodulev, V. Significance of A-waves in isolated calf pain as a manifestation of radicular pain during F-wave studies: a case report / V. Khodulev, A. Kabyłka, A. Klimko // *Cureus.* – 2023. – Vol. 15, N 2. – P. e35254. <https://doi.org/10.7759/cureus.35254>
17. Rowin, J. Electrodiagnostic significance of supramaximally stimulated A-waves / J. Rowin, M. N. Meriggioli // *Muscle Nerve.* – 2000. – Vol. 23, N 7. – P. 1117–1120. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200007\)23:7<1117::AID-MUS16>3.0.CO;2-#](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200007)23:7<1117::AID-MUS16>3.0.CO;2-#)
18. A waves in electroneurography: differential diagnosis with other late responses / L. Rampello [et al.] // *Neurol. Sci.* – 2020. – Vol. 41, N 12. – P. 3537–3545. <https://doi.org/10.1007/s10072-020-04649-2>
19. Diagnostic value of electrophysiological tests in patients with sciatica / M. J. Albeck [et al.] // *Acta Neurol. Scand.* – 2000. – Vol. 101, N 4. – P. 249–254. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.2000.09005.x>
20. Ходулев, В. И. Объединенная длительность составной популяции F-волны – новый электронейромиографический параметр при исследовании радикулопатий / В. И. Ходулев, О. В. Кобылко // *Клиническая нейрофизиология и нейрореабилитация: материалы Восьмой науч.-практ. конф. с междунар. участием, СПб., 12–13 нояб. 2020 г. / ред.: В. Б. Войтенков, Н. В. Скрипченко.* – СПб., 2020. – С. 132–133.
21. Espiritu, M. G. Motoneuron excitability and the F wave / M. G. Espiritu, C. S.-Y. Lin, D. Burke // *Muscle Nerve.* – 2003. – Vol. 27, N 6. – P. 720–727. <https://doi.org/10.1002/mus.10388>

References

1. Fisher M. A. Electrophysiology of radiculopathies. *Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, no. 3, pp. 317–335. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00018-4](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00018-4)
2. Panayiotopoulos C. P., Chroni E. F-waves in clinical neurophysiology. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1996, vol. 101, no. 5, pp. 365–374. [https://doi.org/10.1016/0924-980X\(96\)95635-0](https://doi.org/10.1016/0924-980X(96)95635-0)
3. Mauricio E. A., Dimberg E. L., Rubin D. I. Utility of minimum F-wave latencies compared with F-estimates and absolute reference values in S1 radiculopathies: are they still needed? *Muscle and Nerve*, 2014, vol. 49, no. 6, pp. 809–813. <https://doi.org/10.1002/mus.23992>

4. Yousif S., Ahmed A., Abdelhai A., Musa A. Nerve conduction studies in patients with lumbosacral radiculopathy caused by lumbar intervertebral disc herniation. *Advances in Orthopedics*, 2020, vol. 2020, art. ID 8882387. <https://doi.org/10.1155/2020/8882387>
5. Khodulev V. I., Kobylko O. V., Kovalev A. A. Clinical and electroneuromyographic characteristics of patients with isolated S1 radiculopathy. *Meditsinskie novosti* [Medical news], 2023, vol. 347, no. 8, pp. 54–57 (in Russian).
6. Nobrega J. A. M., Pinheiro D. S., Manzano G. M., Kimura J. Various aspects of F-wave values in a healthy population. *Clinical Neurophysiology*, 2004, vol. 115, no. 10, pp. 2336–2342. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2004.05.011>
7. Zheng C., Liang J., Nie C., Yu Z., Feizhou L., Jianyuan J. F-waves of peroneal and tibial nerves in the differential diagnosis and follow-up evaluation of L5 and S1 radiculopathies. *European Spine Journal*, 2018, vol. 27, no. 8, pp. 1734–1743. <https://doi.org/10.1007/s00586-018-5650-9>
8. Toyokura M., Furukawa T. F wave duration in mild S1 radiculopathy. *Clinical Neurophysiology*, 2002, vol. 113, no. 8, pp. 1231–1235. [https://doi.org/10.1016/S1388-2457\(02\)00148-7](https://doi.org/10.1016/S1388-2457(02)00148-7)
9. Pukša L., Stålberg E., Falck B. Occurrence of A-waves in F-wave studies of healthy nerves. *Muscle and Nerve*, 2003, vol. 28, no. 5, pp. 626–629. <https://doi.org/10.1002/mus.10448>
10. Fang J., Cui L., Liu M., Guan Y., Ding Q., Shen D., Li D., Tai H. A retrospective study of the characteristics and clinical significance of A-waves in amyotrophic lateral sclerosis. *Frontiers in Neurology*, 2017, vol. 8, art. 515. <https://doi.org/10.3389/fneur.2017.00515>
11. Bischoff C., Stålberg E., Falck B., Pukša L. Significance of A-waves recorded in routine motor nerve conduction studies. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1996, vol. 101, no. 6, pp. 528–533. [https://doi.org/10.1016/S0921-884X\(96\)96553-4](https://doi.org/10.1016/S0921-884X(96)96553-4)
12. Srotova I., Vlckova E., Dusek L., Bednarik J. A-waves increase the risk of developing neuropathy. *Brain and Behavior*, 2017, vol. 7, no. 8, p. e00760. <https://doi.org/10.1002/brb3.760>
13. Magistris M. R., Roth G. Motor axon reflex and indirect double discharge: ephaptic transmission? A reappraisal. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 1992, vol. 85, no. 2, pp. 124–130. [https://doi.org/10.1016/0168-5597\(92\)90078-P](https://doi.org/10.1016/0168-5597(92)90078-P)
14. Sartucci F., Bocci T., Borghetti D., Orlandi G., Manfredonia F., Murri L., Giannini F., Rossi A. Further insight on A-wave in acute and chronic demyelinating neuropathies. *Neurological Sciences*, 2010, vol. 31, no. 5, pp. 609–616. <https://doi.org/10.1007/s10072-010-0354-x>
15. Khodulev V., Ovsiankina G., Zobnina G. A-wave as a sign of peripheral nervous system demyelination. *European Journal of Neurology*, 1998, vol. 5, suppl. 3, p. S46. <https://doi.org/10.1111/j.1468-1331.1998.tb00464.x>
16. Khodulev V., Kabyłka A., Klimko A. Significance of A-waves in isolated calf pain as a manifestation of radicular pain during F-wave studies: a case report. *Cureus*, 2023, vol. 15, no. 2, p. e35254. <https://doi.org/10.7759/cureus.35254>
17. Rowin J., Meriggioli M. N. Electrodiagnostic significance of supramaximally stimulated A-waves. *Muscle and Nerve*, 2000, vol. 23, no. 7, pp. 1117–1120. [https://doi.org/10.1002/1097-4598\(200007\)23:7<1117::AID-MUS16>3.0.CO;2-#](https://doi.org/10.1002/1097-4598(200007)23:7<1117::AID-MUS16>3.0.CO;2-#)
18. Rampello L., Rampello L., Arcidiacono A., Patti F. A waves in electroneurography: differential diagnosis with other late responses. *Neurological Sciences*, 2020, vol. 41, no. 12, pp. 3537–3545. <https://doi.org/10.1007/s10072-020-04649-2>
19. Albeck M. J., Taher G., Lauritzen M., Trojaborg W. Diagnostic value of electrophysiological tests in patients with sciatica. *Acta Neurologica Scandinavica*, 2000, vol. 101, no. 4, pp. 249–254. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0404.2000.09005.x>
20. Khodulev V. I., Kobylko O. V. The combined duration of the composite F-wave population is a new electroneuromyographic parameter in the study of radiculopathies. *Klinicheskaya neirofiziologiya i neiroreabilitatsiya: materialy Vos'moi nauchno-prakticheskoi konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem, Sankt-Peterburg, 12–13 noyabrya 2020 goda* [Clinical neurophysiology and neurorehabilitation: Proceedings of the Eighth scientific and practical conference with international participation, St. Petersburg, November 12–13, 2020]. St. Petersburg, 2020, pp. 132–133 (in Russian).
21. Espiritu M. G., Lin C. S.-Y., Burke D. Motoneuron excitability and the F wave. *Muscle and Nerve*, 2003, vol. 27, no. 6, pp. 720–727. <https://doi.org/10.1002/mus.10388>

Інформація об авторах

Ходулев Василь Іосифович – д-р мед. наук, заведуючий відділенням. Республіканський науково-практичний центр неврології та нейрохірургії (ул. Скорини, 24, 220114, г. Мінськ, Республіка Білорусь). <https://orcid.org/0000-0002-0427-0601>. E-mail: khodulev@tut.by

Кобылко Олег Вікторович – лікар-невролог. Гомельська обласна клінічна лікарня (ул. Братів Лизюкових, 5, г. Гомель, Республіка Білорусь). E-mail: kobylko-ol@mail.ru

Ковалев Олександр Олександрович – ст. викладач. Гомельський державний медичний університет (ул. Ланге, 5, 246000, г. Гомель, Республіка Білорусь). E-mail: kovalev.data.analysis.gsmu@yandex.by

Information about the authors

Vasily I. Khodulev – D. Sc. (Med.), Head of the Department. Republican Research and Clinical Center of Neurology and Neurosurgery (24, F. Skoriny, 220114, Minsk, Republic of Belarus). <https://orcid.org/0000-0002-0427-0601>. E-mail: khodulev@tut.by

Aleh V. Kabyłka – neurologist. Gomel Regional Clinical Hospital (5, Brothers Lizyukov Str., Gomel, Republic of Belarus). E-mail: kobylko-ol@mail.ru

Aleksey A. Kovalev – Senior Lecturer. Gomel State Medical University (5, Lange Str., 246000, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: kovalev.data.analysis.gsmu@yandex.by