

DOI: <https://doi.org/10.22263/2312-4156.2024.2.41>

## **Нейрофизиологическая диагностика нарушений спинного мозга при вертеброгенной цервикальной миелопатии**

**И.С. Хомушко, И.А. Ильясевич, А.Н. Мазуренко**

Республиканский научно-практический центр травматологии и ортопедии, г. Минск, Республика Беларусь

Вестник ВГМУ. – 2024. – Том 23, №2. – С. 41-50.

## **Neurophysiological diagnosis of spinal cord disorders in vertebrogenic cervical myelopathy**

**I.S. Khomushka, I.A. Ilyasevich, A.N. Mazurenko**

Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, Minsk, Republic of Belarus

Vestnik VGMU. 2024;23(2):41-50.

---

### **Резюме.**

Проблема диагностики уровня и масштаба неврологических нарушений у пациентов с вертеброгенной цервикальной миелопатией остается актуальной.

Цель - определить информативность нейрофизиологических критериев при оценке нарушений функций спинного мозга у пациентов с вертеброгенной цервикальной миелопатией.

Материал и методы. На этапе предоперационной подготовки методами клинико-лучевой и нейрофизиологической диагностики обследованы 103 пациента с дегенеративным полисегментарным стенозом шейного отдела позвоночного канала. Нейрофизиологическое исследование включало методы суммарной и стимуляционной электромиографии, регистрацию моторного ответа мышц при воздействии транскраниальной магнитной стимуляции. Результаты. По результатам анализа клинико-рентгенологических и нейрофизиологических данных среди лиц с полисегментарным шейным стенозом (n=103) были выделены пациенты (n=51) с признаками миелопатии. При проведении суммарной электромиографии у пациентов с миелопатией выявлены признаки общего и асимметричного (на 40-90%) снижения амплитуды биоэлектрической активности мышц верхних конечностей, у 25% выявлены признаки изменения структуры электромиограмм, свидетельствующие о переднероговой перестройке двигательных единиц мышц. Анализ данных F-волны показал снижение ее амплитуды у 56% лиц, у 48% – удлинение времени проведения импульса на проксимальном участке периферического нерва. При проведении транскраниальной магнитной стимуляции пациенты с цервикальной миелопатией были разделены на 3 группы в зависимости от преимущественной локализации очагового поражения (I группа – C3-C4; II группа – C5-C6 и III группа – C6-C7). Выявлено статистически значимое удлинение латентного времени кортикальных моторных ответов мышц кисти и времени центрального моторного проведения у пациентов в каждой из трех групп.

Заключение. Комплексное нейрофизиологическое исследование является информативным и обоснованным способом дифференцированной оценки спинального и радикулярного поражения шейных сегментов спинного мозга, а также выявления субклинических признаков неврологического нарушения, что определяет выбор оптимальной тактики лечения при вертеброгенной цервикальной миелопатии.

*Ключевые слова: нейрофизиологические методы, спинной мозг, мышца, миелопатия, транскраниальная магнитная стимуляция, спинальный стеноз.*

### **Abstract.**

The problem of diagnosing the level and extent of neurologic disorders in patients with vertebrogenic cervical myelopathy remains relevant.

Objectives. To determine the informativeness of neurophysiological criteria in the evaluation of spinal cord disorders in patients with vertebrogenic cervical myelopathy.

**Material and methods.** At the stage of preoperative preparation, 103 patients with degenerative multisegmental stenosis of the cervical section of the vertebral canal were examined by the clinical, radiological and neurophysiological methods. The neurophysiological study included methods of surface electromyography, nerve conduction study, registration of the motor response of muscles under the exposure of transcranial magnetic stimulation.

**Results.** According to the analysis results of clinical, radiological and neurophysiological data, patients (n=51) with the signs of myelopathy were singled out among those who suffered from multisegmental cervical stenosis (n=103). Surface electromyography in patients with myelopathy revealed the signs of general and asymmetric (by 40-90%) decrease in the amplitude of bioelectric activity of the upper limb muscles, in 25% there were signs of structure changes indicating the lesion of motor neurons in the anterior horns. The analysis of F-wave data showed a decrease in its amplitude in 56% of subjects, in 48% – prolongation of the impulse conduction time on the proximal region of the peripheral nerve. On transcranial magnetic stimulation, patients with cervical myelopathy were divided into three groups depending on the predominant localization of focal lesions (group I – C3-C4; group II – C5-C6 and group III – C6-C7). Statistically significant elongation of the latent time of cortical motor responses of the hand muscles and central motor conduction time in patients in each of the three groups was revealed.

**Conclusions.** Complex neurophysiological study is an informative and reasonable method of differentiated assessment of spinal and radicular lesions of cervical segments of the spinal cord, as well as identification of subclinical signs of neurological disorder, which determines the choice of optimal treatment tactics in vertebrogenic cervical myelopathy.

**Keywords:** *neurophysiological methods, spinal cord, muscle, myelopathy, transcranial magnetic stimulation, spinal stenosis.*

## Введение

Одним из тяжелейших осложнений дегенеративного поражения шейного отдела позвоночника является вертеброгенная цервикальная миелопатия (ВЦМ). Заболевание вызывается статическими и динамическими факторами, возникающими вследствие таких патологических процессов, как дегенеративные изменения межпозвоночного диска, узкий позвоночный канал, оссификация связок и артроз фасеточных суставов. Патологическое изменение костных и мягкотканых структур шейного отдела позвоночника может приводить к стенозу позвоночного канала (ПК), вызывающему сдавление спинного мозга (СМ) и кровоснабжающих его сосудов [1, 2]. Стеноз шейного отдела ПК является важнейшим патогенетическим фактором цервикальной миелопатии и/или радикулярных поражений, которые рассматриваются как регионарный компрессионный синдром СМ и корешково-сосудистого комплекса [3]. Медико-социальная значимость ВЦМ определяется высокими экономическими потерями, связанными с утратой здоровья наиболее трудоспособной части населения, процентом инвалидизации от вертебральных осложнений (28,7%), снижением качества жизни пациентов [4]. В последнее десятилетие рост заболеваемости дегенеративно-дистрофическими поражениями увеличивается, при этом из 10 000 операций по поводу дегенеративно – дистрофических заболе-

ваний позвоночника 19% проводятся по поводу ВЦМ [5]. По данным литературы отмечено, что в индустриально развитых странах среди лиц старше 40 лет распространенность миелопатий различного генеза достигает 1,9%. Всего около 50 млн. человек планеты страдают миелопатиями, и по прогнозам это число увеличится вдвое к 2030 году [6].

Проблемы высокой распространенности заболевания и необходимости поиска новых эффективных способов лечения выдвигают в число важнейших задач современной медицины вопросы точной и объективной диагностики. Ведущую роль в определении масштаба и уровня локализации ишемического очага при полисегментарной спондилогенной компрессии СМ выполняют методы компьютерной томографии и магнитно-резонансной томографии (МРТ), а также тщательный неврологический осмотр [7]. Однако степень компрессии нервных структур СМ по данным нейровизуализации и выраженность клинических симптомов не всегда хорошо коррелируют, что вызывает затруднения в диагностике сегментарных и радикулярных нарушений [8, 9].

В последние годы при оценке состояния функций СМ у пациентов с ВЦМ отмечено прогрессивное направление в развитии диагностических методик, связанных с применением электронейромиографии (ЭНМГ) и регистрации вызванных потенциалов и моторных ответов [10]. В этих работах показана эффективность

диагностики при использовании сравнительного анализа данных нейровизуализации и электрофизиологического исследования функций СМ, что позволяет дополнить и уточнить результаты оценки степени нейродеструкции и уровня локализации сегментарного поражения. Так, метод транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) с регистрацией моторного ответа (МО) нужной мышцы может рассматриваться как информативный, безболезненный и неинвазивный способ для скрининга функции нервных структур на уровне шейных сегментов СМ [11]. В ряде случаев данные ТМС дают объективную информацию о степени функционального поражения СМ, а также позволяют прогнозировать функциональный исход [12, 13]. Известны работы, в которых показано, что благодаря высокой чувствительности и специфичности электрофизиологических тестов, опережающих клинические проявления миелопатии, субклинические признаки неврологической симптоматики были выявлены у 20% пациентов с миелопатией, клинически подтвержденной в дальнейшем [14].

Электрофизиологические тесты количественной оценки нарушений функций нервных проводников СМ основаны на комплексном использовании электрофизиологической регистрации МО при ТМС, регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП) и данных электромиографии (ЭМГ). В целом, нейрофизиологическое исследование позволяет оценить проводниковую функцию СМ и его корешков в условиях дегенеративной спондилогенной компрессии, объективизировать выраженность функциональных нарушений, исключить патологию периферического нерва [15]. Для минимизации хирургической интервенции используется метод вызванных потенциалов, зарегистрированных при эпидуральной или транскраниальной стимуляции с помощью игольчатых электродов во время хирургического вмешательства на позвоночнике [16]. Способ позволяет определять сегментарный уровень блока моторной или сенсорной функций нервных трактов при травматическом повреждении позвоночника и СМ. Известны работы, в которых авторы [17] рассматривают относительно новый нейрофизиологический способ регистрации тепловых вызванных потенциалов (СНЕРs – Contact Heat Evoked Potentials) как более чувствительный к повреждениям отдельных спинномозговых сегментов. В отличие от ССВП, СНЕРs дают возможность проводить первичную оценку

функций нервных трактов СМ путем тестирования определенных дерматомов. Тем не менее, задача поиска и разработки новых малоинвазивных диагностических технологий для оценки степени и уточнения локализации доминирующего очага СМ остается актуальной [18]. Решение этой задачи имеет важное значение для практической медицины, поскольку полисегментарное дегенеративное поражение позвоночника встречается гораздо чаще (60%-85%), чем моносегментарное (15-40%) [19].

Цель исследования – определить информативность нейрофизиологических критериев при оценке нарушений функций спинного мозга у пациентов с вертеброгенной цервикальной миелопатией.

## Материал и методы

Нейрофизиологическое исследование в стандартных условиях было выполнено 103 пациентам: 70 (67%) мужчин (средний возраст  $56 \pm 9,6$  года) и 33 (33%) женщины (средний возраст  $51 \pm 7,2$  года), с дегенеративным полисегментарным стенозом шейного отдела ПК (на уровне С3-С4-С5-С6-С7 позвонков), верифицированным по данным МРТ. Клинически у всех пациентов монолатерально или с обеих сторон определялись симптомы поражения шейных спинномозговых сегментов и/или корешков. Критериями не включения в исследование являлись травматические повреждения шейного отдела СМ, дегенеративные заболевания мотонейрона, периферические невропатии у обратившихся со сходной клинической картиной. Контрольную группу составили 30 здоровых лиц, без клинических и МРТ-признаков стеноза шейного отдела ПК.

Комплексное исследование включало оценку величины и степени асимметрии амплитуды и частоты поверхностной (суммарной) ЭМГ, а также визуальный анализ ее структуры. С помощью накожных электродов производили регистрацию биоэлектрической активности (БА) мышц кисти (С6-Th1) – *m. abductor pollicis brevis* (АРВ), *m. abductor digiti minimi* и плеча (С5-С6) – *mm. biceps brachii*, *triceps brachii*, *deltoides*.

С помощью электронейромиографии (ЭНМГ) осуществляли регистрацию и анализ центральной F-волны при электрическом раздражении *n. medianus*. Определяли амплитуду и латентное время полученных потенциалов. Рассчитывали время периферического проведения

(ВПП) импульса на проксимальном участке п. medianus по формуле (1):

$$\text{ВПП} = \frac{1}{2} (\text{лат F} + \text{лат M} - 1), \quad (1)$$

где:

лат F – латентность F-волны,

лат M – латентность M-ответа,

1 мс – время, необходимое для деполяризации переднероговых мотонейронов.

Состояние нисходящих моторных путей СМ и двигательных корешков оценивали по данным транскраниальной магнитной стимуляции (ТМС) и сегментарной (корешковой, КМС) магнитной стимуляции с регистрацией моторных ответов (МО) мышц кисти (АРВ, С6-С7), использовали накожные электроды. Величина стимула переменного магнитного поля – 100% от максимального выхода мощности магнитного стимулятора. По разности латентного времени МО, зарегистрированных в одной и той же мышце кисти при транскраниальной и сегментарной магнитной стимуляции, рассчитывали время центрального моторного проведения (ВЦМП) импульса по нисходящим кортико-спинальным трактам СМ (КСТ).

**Оборудование.** Электронейромиограф «Nicolet Viking Select» (Natus, USA) в комплексе с магнитным стимулятором «Magstim-200» (Magstim Company Ltd, Britain). Электронейромиограф 4-канальный «Нейро-МВП», магнитный стимулятор «Нейро-MS» (Нейрософт, РФ).

Для обработки полученных данных применяли пакет статистического анализа «R», версия 4.3. На первоначальном этапе проводился анализ соответствия вида распределения количественных показателей закону нормального распределения (критерий Шапиро-Уилка). Все показатели исследования отклонялись от нормального распределения и представлены медианой и квартилями в виде Me [Q25; Q75]. Сравнительный анализ по количественным признакам между двумя независимыми группами проводили с применением U-критерия Манна-Уитни. Для выявления общей неоднородности в четырех независимых группах использовался ранговый дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса. При наличии неоднородности по критерию Крускала-Уоллиса проводились апостериорные парные сравнения между группами по критерию Манна-Уитни с поправкой Хольма на множественные сравнения. Результаты анализа считались статистически значимыми при  $p < 0,05$ . Качественные данные представлены в виде абсолютных величин и процентов.

## Результаты и обсуждение

При анализе анамнестических данных 103 пациентов с полисегментарным дегенеративным стенозом шейного отдела ПК, а также результатов, полученных при проведении инструментальных исследований, у 51 из них (49%) были выявлены клинические, нейровизуализационные и нейрофизиологические признаки миелопатии разной степени выраженности. У 44 (42%) человек при осмотре и по данным нейрофизиологического исследования определялись признаки функциональной недостаточности спинномозговых корешков, что при условии дальнейшего прогрессирования компрессионного воздействия на нервные ткани может приводить к нарушению функции СМ [20]. У 8 (9%) пациентов, имевших МРТ – признаки сужения шейного отдела ПК за счет дегенеративных изменений позвоночника, а также жалобы на боль в шее и/или руках, значимые нейрофизиологические изменения, свидетельствующие о нарушении функции корешков и сегментов СМ, не обнаружены.

Анализ нейровизуализационных данных, полученных у 51 пациента с миелопатией, показал, что у 34 (66%) человек на МРТ-снимках четко определялись характерные очаговые участки измененной интенсивности сигнала в проекции нервной ткани шейного отдела СМ. У остальных 17 (33%) пациентов МРТ-признаки, свидетельствующие о морфологических нарушениях в структуре СМ, не обнаружены. Однако по данным нейровизуализации были выявлены другие изменения, характерные для вертебро-медулярного конфликта: сужение абсолютного диаметра ПК, измеренного в сагиттальной плоскости, до 12 мм и менее [21]; деформация переднего контура дурального мешка и облитерация ликворопроводящих пространств.

Клиническая картина у пациентов с ВЦМ характеризовалась широким диапазоном типичных неврологических проявлений. В таблице 1 указаны наиболее часто выявляемые функциональные расстройства.

Кроме того, в некоторых случаях было обнаружено снижение сухожильных рефлексов и появление патологических рефлексов в верхних конечностях, нередко наблюдали гипотрофии мышц, преимущественно в области кисти. У 4-х пациентов выявлено нарушение функции тазовых органов, у 2-х – головокружение, один пациент предъявлял жалобы на трудности при глотании.

Таблица 1 – Частота выявления основных неврологических симптомов у пациентов с вертеброгенной цервикальной миелопатией

Клинические симптомы	Количество пациентов (%)
Боль в шее (часто с иррадиацией в одну или обе руки)	32 (62)
Нарушение чувствительности в руках	21 (41)
Снижение силы мышц рук	16 (31)
Повышение сухожильных рефлексов с ног	16 (31)
Слабость в ногах, изменение походки	14 (27)

Примечание: суммарная частота встречаемости симптомов не совпадает с количеством человек в выборке (n=51), поскольку у большинства пациентов они были представлены не изолированно, а в комплексе.

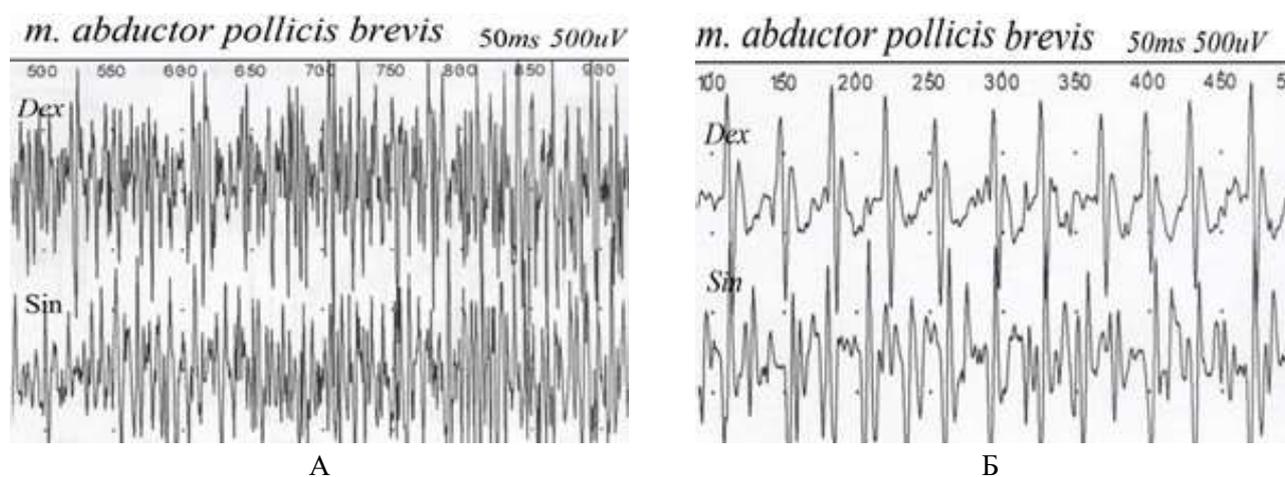


Рисунок 1 – Интерференционная (А) и «переднероговая» (Б) структуры ЭМГ (тип II по Юсевич Ю.С.)

### Нейрофизиологическое исследование

**Суммарная ЭМГ.** При произвольном напряжении мышц верхних конечностей регистрировали электромиограммы, которые характеризовались общим и асимметричным снижением амплитуды БА от умеренной (на 20-30%) до значительной степени (70-90%), вплоть до критического угнетения в виде единичных низкоамплитудных потенциалов, что преимущественно отмечалось на ЭМГ мышц симптомной конечности. Эти исследования рассматривались как продолжение клинического осмотра пациентов. Они позволяли объективизировать степень пареза мышц и выраженность латерализации поражения, выявить признаки переднероговой перестройки в деятельности двигательных единиц мышц. Наиболее выраженные изменения параметров ЭМГ были зафиксированы в мышцах кистей по сравнению с сегментами плеча и предплечий, что коррелировало с клиническими данными и свидетельствовало о доминировании дегенеративных процессов в мышцах дистальных сегментов конечностей. У 13 (25%) пациентов с ВЦМ электромиограммы

мышц кисти имели ряд специфических особенностей (рис. 1).

Наблюдалась разреженная ЭМГ с наличием укрупненных пиков (рис. 1Б). Указанная модификация структуры БА соответствовала переднероговому типу ЭМГ (тип II по классификации Ю.С. Юсевич) [22]. В некоторых случаях изменения структуры ЭМГ, зарегистрированной в состоянии физиологического «покоя», сопровождались генерацией спонтанных денервационных потенциалов, что свидетельствовало о нейродеструктивных процессах в области переднероговых ядер шейных сегментов СМ.

**Стимуляционная ЭНМГ.** При стимуляции срединных нервов у 64% пациентов с ВЦМ отмечалось снижение амплитуды периферических М-ответов АРВ. Характерной особенностью электрофизиологических показателей было общее, чаще асимметричное снижение амплитуды F-волны менее 200-250 мкВ, наличие блоков F-волны от 40 до 70% у части пациентов (56%). У 48% пациентов выявлено превышение времени проведения импульса на проксимальном участке n. medianus до 19,2 [15,2; 21,1] мс, при норме 15,6 [14,5; 16,7] мс. Получен-

Таблица 2 – Параметры моторного ответа мышц кисти при транскраниальной и сегментарной магнитной стимуляции у пациентов с вертеброгенной цервикальной миелопатией в сравнении с контрольной группой

Показатель (единица измерения)	Значения показателей		Уровень значимости $P_{\text{Манна-Уитни}}$
	Пациенты с ВЦМ (n=51)	Контроль (n=30)	
	Me [Q25; Q75]	Me [Q25; Q75]	
Амплитуда МО при ТМС (мВ)	1,5 [0,94; 2,2]	2,0 [1,1; 3,0]	0,14
Латентное время МО при ТМС (мс)	26,4 [24,3; 29,5]	21,1 [20,3; 22,6]	<0,01
Амплитуда МО при КМС (мВ)	2,1 [1,1; 3,8]	1,4 [0,9; 3,3]	0,3
Латентное время МО при КМС (мс)	14,5 [13,5; 15,5]	12,7 [12,1; 13,8]	<0,01
ВЦМП (мс)	11,4 [10,0; 14,5]	8,5 [7,9; 8,9]	<0,01

Примечание: МО – моторный ответ; ТМС – транскраниальная магнитная стимуляция; КМС – корешковая (сегментарная) магнитная стимуляция; ВЦМП – время центрального моторного проведения.

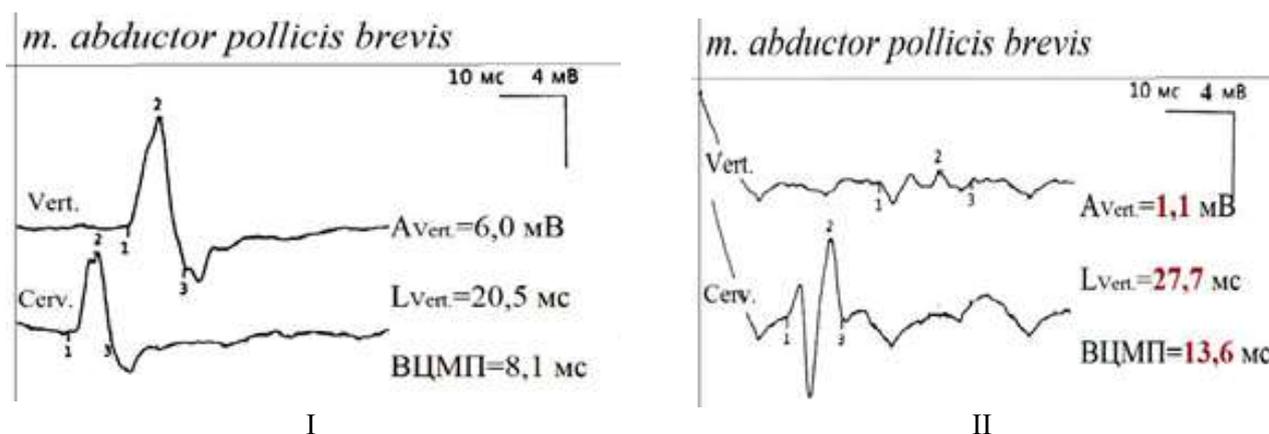


Рисунок 2 – Параметры (А – амплитуда; L- латентное время; ВЦМП – время центрального моторного проведения) моторного ответа мышц кисти при транскраниальной магнитной стимуляции в норме (I) и у пациента с цервикальной миелопатией на уровне сегментов С4-С5 (II)

ные данные свидетельствовали о снижении моторной функции проксимальной части периферических нервов верхних конечностей.

Функциональное состояние нисходящих (моторных) путей СМ тестировали с помощью ТМС. В таблице 2 представлена сравнительная характеристика параметров МО АРВ, полученных при транскраниальной и сегментарной магнитной стимуляции у пациентов с ВЦМ и в группе контроля.

Сравнительный анализ амплитудных параметров МО при КМС не показал статистически значимых различий по сравнению с группой контроля, также как и амплитуда МО при ТМС, однако

последний показатель имел явную тенденцию к снижению. Кроме того, у пациентов с миелопатией наблюдали изменение других параметров кортикальных и сегментарных МО, а именно: увеличение временной дисперсии и длительности, а также модификацию двухфазной формы МО на полифазную (рис. 2)

Латентное время всех МО было статистически значимо увеличено относительно контроля. Эти данные свидетельствовали о снижении функции моторной проводимости спинномозговых корешков и КСТ, что особенно четко демонстрировалось увеличением индекса ВЦМП

как критерия проводниковой функции моторных трактов шейного отдела СМ.

На следующем этапе, для выявления зависимости степени снижения функции в шейном отделе СМ от уровня сегментарной локализации очага, выполнили анализ параметров МО в одной и той же мышце кисти, являющейся мишенью для количественной оценки функции СМ у пациентов с различным уровнем его поражения. Анализ проводили в 3-х группах пациентов, сформированных в соответствии с локализацией компримированного сегмента: I группа – 20 человек (39%) с поражением С3-С4-С5 сегментов; II группа – 15 (29%) пациентов с признаками компрессии СМ на уровне С5-С6; III группа – 16 (32%) пациентов, у которых локализацию очага определяли на уровне С6-С7 сегментов.

Проводили статистический анализ средних данных по сравнению с контролем и сравнительный межгрупповой анализ параметров МО АРВ, зарегистрированных в каждой группе (табл. 3). При анализе цифрового материала использовали критерий Крускала-Уоллиса и в случае выявления общей неоднородности в группах по представленным параметрам проводили парные сравнения между группами по критерию Манна-Уитни с поправкой Хольма.

Как видно из таблицы 3, количественные величины амплитуды МО мышцы кисти, зарегистрированного в каждой из трех групп, не показали неоднородности распределения цифровых данных. Однако четко определялась тенденция к снижению амплитуды МО мышц кисти у пациентов II и III групп, у которых локализация оча-

Таблица 3 – Характеристика параметров моторных мышц кисти у пациентов с различным сегментарным уровнем локализации очага поражения при цервикальной миелопатии

Показатель (единица измерения)	Значения показателей, Ме [Q25; Q75]				Уровень значимости <i>P</i>
	Группа I (I) (n=20)	Группа II (II) (n=15)	Группа III (III) (n=16)	Контроль (к) (n=30)	
Латентное время МО при ТМС (мс)	26,8 [24,6; 28,1]	25,0 [24,2; 27,4]	28,5 [24,8; 29,8]	21,1 [20,3; 22,6]	<0,001 <sup>a</sup> I-к <0,001 <sup>b</sup> II-к <0,001 <sup>b</sup> III-к <0,001 <sup>b</sup> I-II >0,99 <sup>b</sup> I-III >0,99 <sup>b</sup> II-III >0,99 <sup>b</sup>
Латентное время МО при КМС (мс)	14,5 [13,5; 17,0]	15,0 [13,5; 15,7]	14,1 [13,7; 14,8]	12,7 [12,1; 13,8]	<0,001 <sup>a</sup> I-к =0,022 <sup>b</sup> II-к =0,016 <sup>b</sup> III-к =0,019 <sup>b</sup> I-II >0,99 <sup>b</sup> I-III >0,99 <sup>b</sup> II-III >0,99 <sup>b</sup>
ВЦМП (мс)	12,5 [10,5; 13,5]	10,7 [9,7; 11,5]	13,0 [10,8; 15,4]	8,5 [7,9; 8,9]	<0,001 <sup>a</sup> I-к <0,001 <sup>b</sup> II-к <0,001 <sup>b</sup> III-к <0,001 <sup>b</sup> I-II >0,99 <sup>b</sup> I-III >0,99 <sup>b</sup> II-III >0,99 <sup>b</sup>
Амплитуда МО при ТМС (мВ)	1,8 [1,4; 3,0]	1,3 [0,9; 2,1]	1,5 [0,6; 2,0]	2,0 [1,1; 3,0]	0,098 <sup>a</sup>
Амплитуда МО при КМС (мВ)	3,1 [2,0; 4,0]	1,0 [0,8; 3,0]	2,1 [1,6; 3,2]	1,4 [0,9; 3,3]	0,080 <sup>a</sup>

Примечания: МО – моторный ответ; ТМС – транскраниальная магнитная стимуляция; КМС – корешковая (сегментарная) магнитная стимуляция; ВЦМП – время центрального моторного проведения; а - ранговый дисперсионный анализ Крускала-Уоллиса; b - критерий Манна-Уитни с поправкой Хольма на множественные сравнения.

га на уровне средне- и нижнешейных сегментов СМ совпадала с зоной двигательной иннервации АРВ. Анализ временных параметров МО, зарегистрированных при кортикальной и сегментарной стимуляции, показал в каждой группе пациентов статистически значимые различия по сравнению с контролем. Наиболее выраженное увеличение латентного времени кортикальных МО и индекса ВЦМП обнаружено у пациентов III группы с локализацией очага на уровне нижнешейных сегментов СМ. Межгрупповой анализ данных пациентов с различным уровнем локализации ВЦМ статистически значимых различий параметров МО мышцы кисти не обнаружил.

Полученные данные свидетельствовали о высокой информативности критериев МО мышц кисти для диагностики нарушений спинальной функции у пациентов с ВЦМ. Указанная методика может использоваться в качестве универсального электрофизиологического теста в диагностике моторной проводимости кортико-цервикального тракта при локализации очага ВЦМ на уровне различных шейных сегментов СМ: верхних, средних и нижних [23].

### Заключение

Таким образом, комплексное нейрофизиологическое исследование у пациентов с ВЦМ на фоне полисегментарного дегенеративного стеноза шейного отдела ПК является информативным и обоснованным методом оценки неврологических нарушений. Метод регистрации МО при ТМС позволяет количественно оценивать степень моторной недостаточности кортико-цервикальных трактов, уточнять локализацию очага в пределах шейного отдела СМ, а при отсутствии МРТ-признаков нейродеструкции структур СМ – выявлять субклинические признаки нарушения его функции. Параметры электрофизиологического паттерна МО АРВ, используемой в качестве мышцы-мишени в диагностике ВЦМ, являются объективным информативным критерием оценки моторной недостаточности нервных трактов шейного отдела СМ.

Результаты исследований методами суммарной и стимуляционной ЭМГ у пациентов с ВЦМ дают общую информацию о состоянии двигательной активности определенных миотомов в зоне иннервации шейных сегментов СМ, косвенно отражая степень вовлеченности в патологический процесс определенных спинномозговых структур.

Применение комплексного нейрофизиологического исследования имеет важное практическое значение для решения вопроса о необходимости хирургического вмешательства при ВЦМ, оптимизации объема декомпрессии СМ при полисегментарном стенозе ПК, снижении ее травматичности, а также для контроля функционального состояния нервных структур СМ на этапах реабилитации после оперативного лечения.

***Благодарность.** Выражаем благодарность анонимным рецензентам за время, посвященное нашей научной статье.*

***Acknowledgements.** The authors express their gratitude to the anonymous reviewers for the time dedicated to their scientific article.*

***Источник финансирования.** Работа выполнялась в рамках ГПНИ «Фундаментальные и прикладные науки – медицине», подпрограмма «Диагностика и терапия заболеваний», задание 2.103 «Установить количественные электрофизиологические критерии степени нарушений функций спинного мозга при полисегментарном стенозе шейного отдела позвоночника», № государственной регистрации 20190454.*

***Source of financing.** The research was carried out within the frames of the State Research Program (GPNI) “Basic and Applied Sciences – to Medicine”, subprogram “Diagnosis and Therapy of Diseases”, task 2.103 “To establish quantitative electrophysiological criteria for the degree of spinal cord functions impairments in polysegmental stenosis of the cervical spine”, State Registration No. 20190454.*

### Литература

1. Нурмиева, Ч. Р. Клинико-неврологическая и МРТ-томографическая диагностика стеноза цервикального отдела позвоночного канала / Ч. Р. Нурмиева, Э. И. Богданов // *Практ. медицина. Иннов. технологии в медицине.* 2015. Т. 2, № 4. С. 82–85.
2. Дифференциальная диагностика миелопатии на уровне шейного отдела спинного мозга / Р. А. Гапешин [и др.] // *Поленовские чтения : сб. материалов XVII Всерос. науч.-практ. конф., 23-25 апр. 2018 г., Санкт-Петербург* / гл. ред. В. П. Берсенев. Санкт-Петербург, 2018. С. 55.
3. Хабилов, Ф. А. Руководство по клинической неврологии позвоночника / Ф. А. Хабилов. Казань : Медицина, 2006. 520 с.
4. Попелянский, Я. Ю. Болезни периферической нервной системы / Я. Ю. Попелянский. Москва : Медицина,

2003. 464 с.
5. Complications and mortality associated with cervical spine surgery for degenerative disease in the United States / M. C. Wang [et al.] // *Spine*. 2007 Feb. Vol. 32, № 3. P. 342–347. doi: 10.1097/01.brs.0000254120.25411.ae2
  6. Degenerative cervical myelopathy: epidemiology, genetics, and pathogenesis / A. Nouri [et al.] // *Spine*. 2015 Jun. Vol. 40, N 12. P. E675–E693. doi: 10.1097/BRS.0000000000000913
  7. Neurologic level diagnosis of cervical stenotic myelopathy / A. Seichi [et al.] // *Spine*.—2006 May. Vol. 31, N 12. P. 1338–1343. doi: 10.1097/01.brs.0000219475.21126.6b
  8. Feinberg, J. H. Cervical Radiculopathy vs Parsonage – Turner Syndrome: a Case Report / J. H. Feinberg, A. D. David // *HSS J*. 2007 Feb. Vol. 3, N 1. P. 106–111. doi: 10.1007/s11420-006-9028-x
  9. Комплексная диагностика стеноза шейного отдела позвоночного канала и вторичных неврологических нарушений / Э. Б. Пачулия [и др.] // *Рос. семейн. врач*. 2006. Т. 10, № 3. С. 28–32..
  10. Третьякова, А. И. Поэтапное использование нейрофизиологических методов в диагностике вертеброгенной шейной миело- и радикулопатии / А. И. Третьякова, Л. Л. Чеботарева // *Укр. нейрохирург. журн*. 2015. № 2. С. 77–83.
  11. Lo, Y.-L. The role of electrophysiology in the diagnosis and management of cervical spondylotic myelopathy / Y.-L. Lo // *Ann. Acad. Med. Singap.* 2007 Nov. Vol. 36, N 11. P. 886–893.
  12. Utility of the central motor conduction time recorded from the abductor pollicis brevis and the abductor digiti minimi muscles in patient with C6-7 myelopathy / Y. Imajo [et al.] // *J. Spinal. Cord. Med*. 2018 Mar. Vol. 41, N 2. P. 182–191. doi: 10.1080/10790268.2017.1322673
  13. Transcranial magnetic stimulation but not MRI predicts long-term clinical status in cervical spondylosis: a case series / S. N. Deftereos [et al.] // *Spinal. Cord*. 2015 Mar. Vol. 53, suppl. 1. P. S16–S18. doi: 10.1038/sc.2014.220
  14. Prevalence of physical sign sin cervical myelopathy: a prospective, controlled study / J. M. Rhee [et al.] // *Spine*. 2009 Apr. Vol. 34, N 9. P. 890–895. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819c944b
  15. Cervical Spondylotic Myelopathy: Natural Course and the Value of Diagnostic Techniques – WFNS Spine Committee Recommendations / M. Zileli [et al.] // *Neurospine*. 2019 Sep. Vol. 16, 3. P. 386–402. doi: 10.14245/ns.1938240.120
  16. Localization of the primary sites of involvement in the spinal sensory and motor pathways for multilevel MRI abnormalities in degenerative cervical myelopathy / N. Tadokoro [et al.] // *Spinal. Cord*. 2018 Feb. Vol. 56, N 2. P. 117–125. doi: 10.1038/s41393-017-0011-9
  17. Normative data for the segmental acquisition of contact heat evoked potentials in cervical dermatomes / C. R. Jutzeler [et al.] // *Sci. Rep*. 2016 Oct. Vol. 6. Art. 34660. doi: 10.1038/srep34660
  18. Kasahata, N. Level Diagnosis of Cervical Compressive Myelopathy: Signs, Symptoms, and Lesions Levels / N. Kasahata // *J. Neurol. Res*. 2013 Oct. Vol. 3, N 5. P. 135–141. doi: 10.4021/jnr236w
  19. Brain, W. R. The neurological manifestations of cervical spondylosis / W. R. Brain, D. Nortfield, M. Wilkinson // *Brain*. 1952 Jun. Vol. 75, N 2. P. 187–225. doi: 10.1093/brain/75.2.187
  20. Ахадов, Т. А. Магнитно-резонансная томография позвоночного и спинного мозга / Т. А. Ахадов, В. О. Панов, У. М. Айхофф. Москва, 2000. 747 с.
  21. Мазуренко, Е. В. Диагностика стеноза шейного отдела позвоночного канала и вертеброгенной цервикальной миелопатии / Е. В. Мазуренко, А. Н. Мазуренко // *Мед. новости*. 2022. № 11. С. 26–30.
  22. Юсевич, Ю. С. Электромиография в клинике нервных болезней / Ю. С. Юсевич. Москва : Медгиз, 1958. 128 с.
  23. Хомушко, И. С. Нейрофизиологическая оценка функционального состояния проводящих путей спинного мозга при стенозе шейного отдела позвоночного канала / И. С. Хомушко, И. А. Ильясевич, В. А. Кульчицкий // *Новости мед.-биол. наук*. 2022. Т. 22, № 3. С. 195–202.

Поступила 29.02.2024 г.

Принята в печать 22.04.2024 г.

## References

1. Nurmieva ChR, Bogdanov EI. Clinical, neurologic and MR tomographic diagnosis of cervical spinal canal stenosis. *Prakt Meditsina Inovats Tekhnologii Meditsine*. 2015;2(4):82-5. (In Russ.)
2. Gapeshin RA, Smochilin AG, Yakovlev AA, Tarabanova ES. Differential diagnosis of myelopathy at the level of the cervical spinal cord. V: Bersenev VP, red. *Polenovskie chteniya: sb materialov XVII Vseros nauch-prakt konf, 23-25 apr 2018 g, Sankt-Peterburg. St. Petersburg, RF; 2018. P. 55. (In Russ.)*
3. Khabirov FA. Handbook of clinical spinal neurology. Kazan, RF: Meditsina; 2006. 520 p. (In Russ.)
4. Popelyanskiy YaYu. *Bolezni perifericheskoi nervnoi sistemy*. Moscow, RF: Meditsina; 2003. 464 p. (In Russ.)
5. Wang MC, Chan L, Maiman DJ, Kreuter W, Deyo RA. Complications and mortality associated with cervical spine surgery for degenerative disease in the United States. *Spine*. 2007 Feb;32(3):342-7. doi: 10.1097/01.brs.0000254120.25411.ae
6. Nouri A, Tetreault L, Singh A, Karadimas SK, Fehlings MG. Degenerative cervical myelopathy: epidemiology, genetics, and pathogenesis. *Spine*. 2015 Jun 15;40(12):E675-93. doi: 10.1097/BRS.0000000000000913
7. Seichi A, Takeshita K, Kawaguchi H, Matsudaira K, Higashikawa A, Ogata N, et al. Neurologic level diagnosis of cervical stenotic myelopathy. *Spine*. 2006 May;31(12):1338-43. doi: 10.1097/01.brs.0000219475.21126.6b
8. Feinberg JH, David AD. Cervical Radiculopathy vs Parsonage – Turner Syndrome: a Case Report. *HSS J*. 2007 Feb;3(1):106-11. doi: 10.1007/s11420-006-9028-x
9. Pachuliya EB, Zhulev NM, Trofimova TN, Polyakova LA, Zhulev SN, Lalayan TV, i dr. Comprehensive diagnosis of cervical spinal canal stenosis and secondary neurologic disorders. *Ros Semein Vrach*. 2006;10(3):28-32. (In Russ.)
10. Tretyakova AI, Chebotareva LL. Stepwise use of neurophysiologic methods in the diagnosis of vertebragenic cervical myelo- and radiculopathy. *Ukr Neirokhirurg Zhurn*. 2015;(2):77-83. (In Russ.)

11. Lo YL. The role of electrophysiology in the diagnosis and management of cervical spondylotic myelopathy. *Ann Acad Med Singap.* 2007 Nov;36(11):886-93.
12. Imajo Y, Kanchiku T, Suzuki H, Funaba M, Nishida N, Taguchi T. Utility of the central motor conduction time recorded from the abductor pollicis brevis and the abductor digiti minimi muscles in patient with C6-7 myelopathy. *J Spinal Cord Med.* 2018 Mar;41(2):182-91. doi: 10.1080/10790268.2017.1322673
13. Deftereos SN, Kechagias E, Ioakeimidou C, Georgonikou D. Transcranial magnetic stimulation but not MRI predicts long-term clinical status in cervical spondylosis: a case series. *Spinal Cord.* 2015 Mar;53 Suppl 1:S16-8. doi: 10.1038/sc.2014.220
14. Rhee JM, Heflin JA, Hamasaki T, Freedman B. Prevalence of physical sign sin cervical myelopathy: a prospective, controlled study. *Spine.* 2009 Apr;34(9):890-5. doi: 10.1097/BRS.0b013e31819c944b
15. Zileli M, Borkar SA, Sinha S, Reinas R, Alves ÓL, Kim SH, et al. Cervical Spondylotic Myelopathy: Natural Course and the Value of Diagnostic Techniques – WFNS Spine Committee Recommendations. *Neurospine.* 2019 Sep;16(3):386-402. doi: 10.14245/ns.1938240.120
16. Tadokoro N, Tani T, Kida K, Kiyasu K, Kasai Y, Kumon M, et al. Localization of the primary sites of involvement in the spinal sensory and motor pathways for multilevel MRI abnormalities in degenerative cervical myelopathy. *Spinal Cord.* 2018 Feb;56(2):117-25. doi: 10.1038/s41393-017-0011-9
17. Jutzeler CR, Rosner J, Rinert J, Kramer JLK, Curt A. Normative data for the segmental acquisition of contact heat evoked potentials in cervical dermatomes. *Sci Rep.* 2016 Oct;6:34660. doi: 10.1038/srep34660
18. Kasahata N. Level Diagnosis of Cervical Compressive Myelopathy: Signs, Symptoms, and Lesions Levels. *J Neurol Res.* 2013 Oct;3(5):135-41. doi: 10.4021/jnr236w
19. Brain WR, Nortfield D, Wilkinson M. The neurological manifestations of cervical spondylosis. *Brain.* 1952 Jun;75(2):187-225. doi: 10.1093/brain/75.2.187
20. Akhadov TA, Panov VO, Aykhoff UM. Magnetic resonance imaging of the spine and spinal cord. Moscow, RF; 2000. 747 p. (In Russ.)
21. Mazurenko EV, Mazurenko AN. Diagnosis of cervical spinal canal stenosis and vertebrogenic cervical myelopathy. *Med Novosti.* 2022;(11):26-30. (In Russ.)
22. Yusevich YuS. Electromyography in the clinic of nervous diseases. Moscow, RF: Medgiz; 1958. 128 p. (In Russ.)
23. Khomushko IS, Ilyasevich IA, Kulchitskiy VA. Neurophysiologic assessment of the functional state of spinal cord conduction pathways in cervical spinal canal stenosis. *Novosti Med-biol Nauk.* 2022;22(3):195-202. (In Russ.)

*Submitted 29.02.2024*

*Accepted 22.04.2024*

#### **Сведения об авторах:**

И.С. Хомушко – аспирант, старший научный сотрудник лаборатории клинической электрофизиологии, РНПЦ травматологии и ортопедии, <http://orcid.org/0000-0001-9649-134X>,

e-mail: [I.Khomushka@gmail.com](mailto:I.Khomushka@gmail.com) – Хомушко Ирина Сергеевна;

И.А. Ильясевич – д.б.н., доцент, зав. лабораторией клинической электрофизиологии, РНПЦ травматологии и ортопедии;

А.Н. Мазуренко – к.м.н., доцент, зав. нейрохирургическим отделением №2, РНПЦ травматологии и ортопедии.

#### **Information about authors:**

I.S. Khomushka – postgraduate, senior research officer of the Clinical Electrophysiology Laboratory, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics, <http://orcid.org/0000-0001-9649-134X>,

E-mail: [I.Khomushka@gmail.com](mailto:I.Khomushka@gmail.com) – Irina S. Khomushka;

I.A. Ilyasevich – Doctor of Biological Sciences, associate professor, head of the Clinical Electrophysiology Laboratory, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics;

A.N. Mazurenka – Candidate of Medical Sciences, associate professor, head of the neurosurgery department No. 2, Republican Scientific and Practical Centre of Traumatology and Orthopedics.