

EDN: <https://elibrary.ru/xmqphr>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-150-157>

УДК 616-001.34:616.8-073.7

© Коллектив авторов, 2025

Русанова Д.В.¹, Лахман О.Л.^{1,2}, Сливницына Н.В.^{1,2}**Комплексная оценка изменений нервной системы у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации**¹ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», микрорайон 12а, 3, Ангарск, 665827;²Иркутская государственная медицинская академия последипломного образования — филиал ФГБОУ ДПО «Российская медицинская академия непрерывного профессионального образования», микрорайон Юбилейный, 100, Минздрава России, Иркутск, 664049

Введение. При влиянии производственной вибрации нарушения формируются в различных системах организма, в том числе в центральной нервной системе (ЦНС). Целесообразным для выявления изменений в структурах нервной системы является проведение электронейромиографии (ЭНМГ) с тестированием сенсорных и моторных аксонов с регистрацией F-волны, определение соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), периферическая транскраниальная магнитная стимуляция (ТКМС).

Цель исследования — дать комплексную оценку структур нервной системы (периферические нервы, нейроны спинного мозга, таламическая область, корковое представительство) у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ), связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации.

Материалы и методы. Обследованы пациенты — 36 человек с ВБ, среднего возраста $54,8 \pm 5,35$ года, среднего стажа — $17,9 \pm 2,8$ года. Результаты, полученные в ходе исследования, сравнивались с контрольной группой (КГ) — 46 человек ($48,37 \pm 4,18$ года), не контактировавших с вибрацией. Проводилась ЭНМГ с тестированием сенсорного компонента периферических нервов, с определением F-волны и регистрацией ССВП на верхних и нижних конечностях на электронейромиографе «Нейро-ЭМГ-Микро» (ООО «Нейрософт»). Выполнялась периферическая ТКМС при тестировании срединного нерва.

Результаты. В афферентных проводящих структурах выявляется снижение скорости проведения импульса по аксонам на руках и ногах, и снижение амплитуды потенциала действия — на ногах, снижается время прохождения возбуждения в области подколенной ямки, снижается возбудимость нейронов шейного и поясничного отделов позвоночника, подкорковых структур (зона таламических ядер) и в соматосенсорной зоне коры головного мозга. В эфферентных проводящих структурах установлено снижение скорости проведения импульса по нервам верхних и нижних конечностей, поражение мотонейронов первичной моторной коры, нейронов кортикоспинального тракта и на уровне поясничного и шейного отделов позвоночника.

Ограничения исследования. Ограничением исследования может считаться то, что не проводилась ТКМС при тестировании нервов нижних конечностей.

Выводы. У пациентов с ВБ, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, выявлено снижение скорости проведения импульса по афферентным аксонам на верхних конечностях, снижение потенциала действия нервного ствола — на нижних конечностях. Установлено нарушение времени проведения импульса по афферентным путям поясничного и шейного отделов позвоночника. Выявлено замедление активации нейронов афферентных проводящих структур в таламической области, в зоне соматосенсорной коры, а также замедление процессов деполяризации эфферентных нейронов первичной моторной коры и кортикоспинального тракта.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; электронейромиография; F-волна; соматосенсорные вызванные потенциалы; транскраниальная магнитная стимуляция периферическая

Этика. Заключение ЛЭК ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований» — протокол № 5 от 21.03.23 года.

Для цитирования: Русанова Д.В., Лахман О.Л., Сливницына Н.В. Комплексная оценка изменений нервной системы у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации. *Мед. труда и пром. экол.* 2025; 65(3): 150–157. <https://elibrary.ru/xmqphr> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-150-157>

Для корреспонденции: Русанова Дина Владимировна, e-mail: dina.rusanova@yandex.ru

Участие авторов:

Русанова Д.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание и оформление статьи, редактирование;

Лахман О.Л. — концепция и дизайн исследования, редактирование;

Сливницына Н.В. — сбор и обработка материала, написание статьи, редактирование;

Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 24.01.2025 / Дата принятия к печати: 23.02.2025 / Дата публикации: 07.04.2025

Dina V. Rusanova¹, Oleg L. Lakhman^{1,2}, Natalya V. Slivnitsyna^{1,2}**Comprehensive assessment of the nervous system in patients with vibration disease associated with the combined effects of local and general vibration**¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, 3, 12a Microdistrict, Angarsk, 665827;²Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, 100, Yubilejnyj Microdistrict, Irkutsk, 664049

Introduction. Under the influence of industrial vibration, disorders form in various body systems, including the central nervous system (CNS). It is advisable to detect changes in the structures of the nervous system by conducting electroneuromyography

(ENMG) with testing of sensory and motor axons with F-wave registration, determination of somatosensory evoked potentials, peripheral transcranial magnetic stimulation.

The study aims to provide a comprehensive assessment of the structures of the nervous system (peripheral nerves, spinal cord neurons, thalamic region, cortical representation) in patients with vibration disease associated with the combined effects of local and general vibration.

Materials and methods. 36 patients with vibration disease were examined, with an average age of 54.8 ± 5.35 years, and an average length of service of 17.9 ± 2.8 years. The results obtained during the study were compared with a control group (CG) of 46 people (48.37 ± 4.18 years) who had no contact with vibration. The researchers conducted an electroneuromyography (ENMG) with testing of the sensory component of peripheral nerves, with the determination of the F-wave and the registration of somatosensory evoked potentials in the upper and lower extremities on the Neuro-EMG-Micro electroneuromyograph (Neurosoft LLC). The specialists have completed peripheral transcranial magnetic stimulation during median nerve testing.

Results. In afferent conducting structures, there is a decrease in the speed of conducting an impulse along axons on the arms and legs, and a decrease in the amplitude of the action potential on the legs, the transit time of excitation in the popliteal fossa decreases, the excitability of neurons in the cervical and lumbar spine, subcortical structures (the thalamic nuclei zone) and in the somatosensory cortex decreases. In efferent conducting structures, a decrease in the rate of conduction of an impulse along the nerves of the upper and lower extremities, damage to the motor neurons of the primary motor cortex, neurons of the corticospinal tract and at the level of the lumbar and cervical spine was found.

Limitations. A limitation of the study is the fact that transcranial magnetic stimulation was not performed when testing the nerves of the lower extremities.

Conclusion. In patients with vibration disease associated with the combined effects of local and general vibration, a decrease in the rate of pulse conduction along afferent axons in the upper extremities was revealed, and a decrease in the action potential of the nerve trunk in the lower extremities. A violation of the pulse conduction time along the afferent pathways of the lumbar and cervical spine has been established. A slowdown in the activation of neurons of afferent conducting structures in the thalamic region, in the area of the somatosensory cortex, as well as a slowdown in the depolarization of efferent neurons of the primary motor cortex and the corticospinal tract was revealed.

Keywords: vibration disease; electroneuromyography; F-wave; somatosensory evoked potentials; transcranial magnetic stimulation peripheral

Ethics. The conclusion of the MEC of East Siberian Institute of Medical and Environmental Research — Protocol No. 5 dated 03/21/2013.

For citation: Rusanova D.V., Lakhman O.L., Slivnitsyna N.V. Comprehensive assessment of changes in the nervous system in patients with vibration disease associated with combined effects of local and general vibration. *Med. truda i prom. ekol.* 2025; 65(3): 150–157. <https://elibrary.ru/xmqphr> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2025-65-3-150-157> (in Russian)

For correspondence: Dina V. Rusanova, e-mail: dina.rusanova@yandex.ru

Contributions:

Rusanova D.V. — research concept and design, collection and processing of material, writing and formatting of the article, editing;

Lakhman O.L. — research concept and design, editing;

Slivnitsyna N.V. — collection and processing of material, writing an article, editing.

All co-authors — approving the final version of the article and ensuring the integrity of all parts of the article.

Funding. The study had funding.

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

Received: 24.01.2025 / Accepted: 23.02.2025 / Published: 07.04.2025

Введение. Больше половины работников, задействованных на производстве и контактировавших в своей профессиональной деятельности с вибрацией, имеют патологические изменения в центральной и периферической нервной системах [1, 2]. Особенно выраженные нарушения при вибрационной болезни (ВБ) наблюдаются в дистальных отделах верхних и нижних конечностей, далее дегенеративные изменения прогрессируют в позвоночнике. Фиксируются, в результате сложнорефлекторного влияния вибрации на центральную нервную систему (ЦНС), нарушения в головном мозге. При влиянии вибрации выявляющаяся патология определяется в различных системах организма, причём не только в зоне, на которую воздействует производственный фактор. В центральных отделах нервной системы нарушения подтверждаются функциональными исследованиями, одно из которых — регистрация соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), тестирующих афферентные (восходящие) пути, другое — транскраниальная магнитная стимуляция, определяющая состояние эфферентных (нисходящих) структур. Известно, что длительное воздействие вибрации способствует формированию очагов застойного возбуждения в различных структурах нервной системы [3]. Исходя из этого, обоснованным является проведение нейрофизиологических методов исследования.

В настоящее время одним из самых информативных специфических методов диагностики поражения периферических нервов и спинномозговых структур является электронеуромиография (ЭНМГ) — комплексный электрофизиологический метод, основанный на регистрации, анализе и оценке потенциалов, полученных при прохождении импульсов по периферическим нервным волокнам. Если стимуляционная электронеуромиография позволяет выявлять изменения в периферических структурах, то исследование F-волны (одного из ЭНМГ феноменов) определяет состояние самого проксимального участка нервного ствола, а также двигательных нейронов спинного мозга [4, 5].

Анализ результатов, получаемых при помощи соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП), позволяет выявить локализацию и выраженность изменений в афферентных структурах, формирующихся при вибрационной болезни [6, 7]. Амплитуда, латентность, длительность интервалов ССВП позволяют оценить наличие и степень выраженности нарушений в тех или иных отделах ЦНС [8]. Известно, что ССВП определяют состояние центральных восходящих структур и позволяют тестировать проводящие пути от точки Эрба до коркового представительства соматосенсорной зоны. Потенциалы данной модальности позволяют дать оценку состояния проводящих

путей задних столбов спинного мозга, стволовых структур и нейронов коры головного мозга [9, 10].

Транскраниальная магнитная стимуляция (ТКМС) является диагностической и терапевтической методикой, важной для изучения состояния моторных аксонов [11, 12]. Применение ТКМС позволяет оценивать состояние центральных (корковое представительство) и периферических эфферентных проводящих структур путём стимуляции нервной ткани электромагнитными импульсами [13, 14].

Перечисленные методы активно применяются в клинике профзаболеваний, однако авторы считают важным тестирование различных отделов нервной системы у одного отдельно взятого пациента, что позволяет дать полную характеристику изменений в состоянии центральных и периферических проводящих структур, формирующихся при воздействии производственной вибрации.

Цель исследования — дать комплексную оценку структур нервной системы (периферические нервы, нейроны спинного мозга, таламическая область, корковое представительство) у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ), связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации.

Материалы и методы. В обследование были включены пациенты (1 группа) — 36 пациентов с диагнозом ВБ, связанная с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, обследованные были водителями большегрузных машин, добывающие уголь открытым способом. Контрольная группа (КГ, 2 группа) состояла из 46 человек, не подвергавшихся воздействию производственной вибрации и не имевших острых и хронических (в стадии обострения) заболеваний на момент исследования.

Возраст обследованных составил $54,8 \pm 5,35$ года и $48,37 \pm 4,18$ года соответственно. Критерий включения пациентов в исследование — профессиональное заболевание, установленное во время работы в контакте с вибрацией. При проведении электронейромиографического обследования (ЭНМГ) тестировались сенсорные аксоны верхних и нижних конечностей (срединный, локтевой и икроножный нервы), проводилась регистрация F-волны (срединный, локтевой, большеберцовый и малоберцовый нервы), тестировалось состояние эфферентных проводящих структур [15].

Регистрация ССВП проводилась при использовании чашечковых электродов. Точка Эрба, проекция остистого отростка VII шейного позвонка, скальп в точках С3, С4,

согласно схеме 10–20%, применялись для тестирования аксонов верхних конечностей. Для изучения афферентных путей нижних конечностей стимулировался большеберцовый нерв, точки отведения — подколенная ямка, поясничный отдел позвоночника и скальп в точках С3, С4. Соответственно изучалась латентность N8, N22, N30, а также длительность интервалов N8–N22 и N22–N30 [15]. Выполнилась периферическая ТКМС, тестировался срединный нерв [16].

При проведении статистической обработки полученного материала был использован пакет программного комплекса STATISTICA 6.0 Stat Soft Inc. (США) (лицензия № AXXR004E642326FA), использовалась программа Excel. Нормальность распределения подтверждалась методом Шапиро–Уилка, полученные показатели представлены в виде медианы (Me (P25–P75)).

Результаты. При проведении исследований сенсорных аксонов у пациентов с ВБ выявлено снижение скорости проведения импульса (СПИ) на верхних конечностях (**табл. 1**). На нижних — отмечалось снижение СПИ и субпороговое снижение амплитуды невральноего потенциала *n. Suralis*.

Результаты анализа показателей ССВП приведены в **таблице 2**. У обследованных выявлено возрастание латентности компонентов N9, N10, N11, N13, N20, P25, N30.

Установлены у пациентов с ВБ нарушения в нейронах афферентных структур спинного мозга (возрастание латентного периода пиков N11, N13), подкорковой области (таламические структуры, увеличение латентности пиков N18, возрастание длительности интервала N18–N20) и соматосенсорной зоны коры головного мозга (увеличение латентного периода пиков N20, P25 и N30). Характерными изменениями, выявленными при стимуляции нижних конечностей, было замедление проведения импульса от подколенной ямки до поясничного отдела позвоночника (возрастание латентного периода пиков N8, N22 и N30) и до шейного уровня позвоночника (увеличение длительности интервала N8–N22) (**табл. 3**).

Изменения, выявленные по результатам регистрации F-волны на верхних конечностях, заключались в увеличении амплитуды срединного нерва и возрастании соотношения амплитуды M-ответа к амплитуде F-волны по локтевому и срединному нервам (**табл. 4**). Выявлено снижение максимальной, средней и минимальной скоростей проведения возбуждения на руках, возрастание количества блоков проведения импульса по срединному нерву.

Таблица 1 / Table 1

Показатели состояния сенсорного компонента периферических нервов Me (P25–P75)
Indicators of the state of the sensory component of peripheral nerves Me (P25–P75)

Показатели ЭНМГ	Тестируемые нервы		
	Срединный	Локтевой	Икроножный
Пациенты с вибрационной болезнью (n=36)			
Сенсорный ответ (мкВ)	5,27(4,02–7,35)	5,26(4,85–6,42)	4,54(2,81–5,94)*
СПИд (м/с)	47,17(42,13–50,28)*	46,37(43,18–52,45)*	46,24(43,25–49,15)*
Контрольная группа (n=46)			
Сенсорный ответ (мкВ)	7,74(5,32–10,14)	6,27(5,73–10,12)	6,32(5,31–9,74)
СПИд (м/с)	58,38(52,73–64,25)	57,72(53,79–66,14)	58,61(45,87–62,17)

Примечания: * — различия статистически значимые по сравнению с контрольной группой, $p < 0,05$; сокращения: СПИд — скорость проведения импульса в дистальном отделе нервного ствола.

Note: * — statistically significant differences compared to the control group, $p < 0.05$; abbreviations: СПИд — the rate of conduction of an impulse in the distal part of the nerve trunk.

Таблица 2 / Table 2

Показатели соматосенсорных вызванных потенциалов, полученные при стимуляции срединного нерва Me (P25–P75)

Indicators of somatosensory evoked potentials obtained by stimulation of the median nerve Me (P25–P75)

Показатели	Группы обследованных	
	Пациенты с ВБ (n=36)	Контрольная группа (n=46)
Длительность латентности, мс		
Компонент N9	8,9 (7,6–10,3)	8,2 (8,0–9,1)
Компонент N10	10,9 (9,6–12,4)**	9,9 (9,1–10,2)
Компонент N11	12,8 (11,3–14,8)**	11,4 (10,3–12,8)
Компонент N13	13,7 (12,7–15,6)**	13,2 (1,6–14,1)
Компонент N18	18,9 (16,7–21,9)	18,3 (17,4–20,6)
Компонент N20	21,6 (19,5–25,4)*	20,4 (18,1–21,3)
Компонент P25	25,8 (22,3–28,1)*	24,4 (22,0–25,6)
Компонент N30	34,7 (34,9–36,8)**	31,1 (28,4–36,0)
Длительность интервалов, мс		
N10–N13	4,6 (1,7–6,8)*	3,8 (1,2–5,0)
N11–N13	1,8 (1,2–3,6)	1,9 (1,2–3,0)
N13–N18	5,8 (3,4–6,9)*	4,6 (2,0–5,4)
N18–N20	2,6 (2,1–5,7)*	1,6 (1,0–3,4)
N13–N20	6,1 (3,8–8,2)	6,0 (3,9–7,8)

Примечания: * — различия статистически значимые по сравнению с КГ, $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.Note: * — statistically significant differences compared to control group, $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$.

Согласно анализу данных, полученных при регистрации F-волны на ногах, возрастает амплитуда максимального ответа и соотношение амплитуды M-ответа к амплитуде F-волны по малоберцовому нерву (табл. 5). Снижаются

Таблица 3 / Table 3

Показатели соматосенсорных вызванных потенциалов, полученные при стимуляции большеберцового нерва Me (P25–P75)

Indicators of somatosensory evoked potentials obtained by stimulation of the tibial nerve Me (P25–P75)

Показатели	Группы обследованных	
	Пациенты с вибрационной болезнью (n=36)	Контрольная группа (n=46)
Длительность латентности, мс		
Компонент N8	12,4 (9,3–17,1)*	10,7 (7,3–14,6)
Компонент N22	25,2 (19,4–29,6)*	21,8 (19,0–24,6)
Компонент N30	35,9 (31,6–40,4)*	33,5 (28,4–33,8)
Длительность интервалов, мс		
N8–N22	12,4 (7,7–15,8)*	9,8 (5,8–12,8)
N22–N30	11,8 (7,4–16,5)	11,4 (6,2–17,4)

Примечания: * — различия статистически значимые по сравнению с КГ, $p < 0,05$.Note: * — statistically significant differences compared to control group, $p < 0,05$.

значения максимальной, средней и минимальной скоростей проведения возбуждения на ногах, по малоберцовому нерву увеличивается количество блоков проведения импульса.

Обследование выявило наибольшие изменения в состоянии медленно- и быстропроводящих волокон аксонов нижних конечностей, заключающиеся в возрастании максимальной амплитуды F-волны и соотношения амплитуды M-ответа к амплитуде F-волны. На ногах отмечается поражение быстро- и медленнопроводящих волокон большеберцового и малоберцового нервов, увеличивается максимальная амплитуда F-волны. Все перечисленные изменения характеризуют эффективность мотонейронов формировать обратный ответ, что зависит от способности к возбудимости.

Таблица 4 / Table 4

Данные регистрации F-волны, полученной на верхних конечностях, Me (P25–P75)

F-wave registration data obtained on the upper extremities, Me (P25–P75)

Показатели	Показатели F-волны						
	Скорость мин., м/с	Скорость макс., м/с	Скорость ср., м/с	Разность, м/с	F/M (%)	Амплитуда, мкВ	Кол-во блоков, ед.
Пациенты с вибрационной болезнью (n=36)							
Срединный	41,1* (37,2–46,8)	57,8 (52,4–62,9)	45,0* (41,4–49,2)	11,4* (8,3–13,5)	14,5 (10,3–16,2)	360,2** (305,7–430,2)	14,2 (2,2–18,4)
Локтевой	40,4±3,5* (37,4–48,9)	54,2±2,7* (43,6–58,4)	44,9* (40,2–53,8)	12,4 (9,3–14,2)	13,1** (8,3–14,9)	220,7 (190,5–260,4)	10,8 (3,4–14,3)
Контрольная группа (n=46)							
Срединный	49,9 (46,4–58,3)	59,0 (53,2–62,3)	55,9 (51,2–60,3)	6,2 (3,1–7,6)	7,7±0,4 (5,3–9,2)	256,0 (220,1–310,4)	1,9 (1,1–6,7)
Локтевой	50,5 (48,6–57,4)	62,9 (58,3–66,4)	58,3 (55,3–68,4)	5,4 (2,8–6,2)	3,6 (1,2–5,3)	334,1 (240,6–380,0)	2,1 (1,4–2,9)

Примечания: * — различия по сравнению с контрольной группой статистически значимы при $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; сокращения: скорость мин. — скорость проведения в проксимальном отделе нерва минимальная, скорость макс. — скорость проведения максимальная, скорость ср. — скорость проведения средняя, разность — разность между максимальной и минимальной скоростью проведения, M/F — соотношение амплитуды F-волны и M-ответа.

Note: * — differences compared to control group are statistically significant at $p < 0,05$; ** — $p < 0,01$; abbreviations: скорость мин. — conduction velocity in the proximal nerve minimum, скорость макс. — maximum conduction velocity, скорость ср. — average conduction velocity, разность — difference between maximum and minimum conduction velocity, M/F is the ratio of the amplitude of the F-wave and the M-response.

Данные регистрации F-волны, полученной на нижних конечностях, Me (P25–P75)
F-wave registration data obtained on the lower extremities, Me (P25–P75)

Показатели	Показатели F-волны						
	Скорость мин., м/с	Скорость макс., м/с	Скорость ср., м/с	Разность, м/с	M/F (%)	Амплитуда, мкВ	Кол-во блоков, ед.
Пациенты с вибрационной болезнью (n=36)							
Б/берцовый	41,1* (38,4–44,8)	51,8* (43,6–59,2)	43,0* (38,6–45,7)	4,4 (3,8–4,9)	10,5 (5,4–11,3)	422,2* (360,3–490,3)	0,4 (0,3–1,8)
М/берцовый	37,6* (35,2–42,1)	46,2* (45,0–52,4)	42,9* (39,6–43,4)	12,3 (3,2–14,7)	23,1 (11,0–25,2)	390,3* (340,4–420,6)	16,8* (5,4–21,3)
Контрольная группа (n=46)							
Б/берцовый	49,9 (44,2–54,6)	53,0 (46,1–55,2)	51,9 (47,4–59,9)	3,1 (2,8–3,9)	6,7 (5,9–7,1)	311,0 (280,3–350,4)	0,9 (0,4–3,2)
М/берцовый	48,5 (42,4–56,6)	50,9 (44,3–54,2)	49,3 (45,4–53,8)	2,2 (1,4–2,6)	4,9 (4,1–5,3)	234,1 (210,5–290,4)	5,1 (3,8–9,4)

Примечания: * — различия статистически значимые по сравнению с контрольной группой, $p < 0,05$.
 Note: * — the differences are statistically significant compared to the control group, $p < 0,05$.

При проведении ТКМС установлено увеличение латентности коркового ответа и времени центрального коркового проведения против нормативных значений ($25,2 \pm 2,17$ мс и $9,8 \pm 1,06$ мс соответственно против $20,26 \pm 1,21$ мс и $6,02 \pm 0,86$ мс по данным литературы, $p < 0,05$ [16]). Латентный период корешкового ответа статистически значимо не отличался от нормативных значений ($15,9 \pm 1,35$ мс против $16,03 \pm 1,03$ мс).

Обсуждение. Оценка состояния афферентных проводящих структур выявила снижение скорости проведения импульса при стимуляции срединного и локтевого нервов и снижение потенциала действия — при тестировании икроножного нерва.

У пациентов нарушается состояние нейронов поясничного, шейного отделов спинного мозга, подкорковых структур (таламическая область), соматосенсорной зоны головного мозга.

Полученные нами результаты регистрации соматосенсорных ВП, подтверждаются работами по данной тематике. Методика определения коротколатентных соматосенсорных ВП для диагностирования уровня повреждения в случае травматической плечевой плексопатии, применялась Э.Т. Афиной с соавторами [17]. Установлено возрастание латентного периода и снижение амплитуды компонента N9, что можно интерпретировать как увеличение времени проведения афферентных импульсов в области плечевого сплетения, возможно, в результате демиелинизации.

В литературе описаны изменения соматосенсорных ВП у горнорабочих, которые подвергались воздействию неблагоприятных производственных факторов, таких как шум, вибрация, неблагоприятный микроклимат, тяжесть и напряжённость трудового процесса. У обследованных выявляется рассогласованность механизмов центральных и периферических уровней регуляции, результатом чего является нарушение проведения афферентной волны возбуждения по аксонам нервной системы [18]. Также описан выраженный характер изменений ССВП, заключающийся в возрастании латентного периода N11 и N13, замедлении активации нейронов соматосенсорной зоны, у работников, подвергавшихся сочетанному воздействию локальной и общей вибрации [19].

Соответствующие изменения выявляются при невропатии рук, являющейся ведущим проявлением вибрационной болезни [20]. Данный факт подтверждён результатами, полученными при проведении ЭНМГ. По данным литературы считается доказанным, что снижение тактильной и вибрационной чувствительности сопряжено с возрастанием латентности компонентов ССВП [21].

Исследование показало, что для ВБ, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, характерны нарушения в нейронах шейного и поясничного отделов позвоночника.

В данной работе не приводились результаты оценки состояния моторного компонента периферических нервов, так как этот вопрос обсуждался ранее [22]. Авторами выявлены демиелинизирующие изменения моторного компонента нервов верхних и нижних конечностей при комбинированном воздействии локальной и общей вибрации.

У обследованных установлены патологические изменения быстропроводящих и медленнопроводящих волокон периферических аксонов верхних и нижних конечностей. У пациентов возрастала максимальная амплитуда F-волны и соотношение M/F, причём показатели носили более выраженный характер на нижних конечностях. Изменения перечисленных показателей характеризуют возможность мотонейронов генерировать возвратный ответ и не зависят от состояния мышц. Амплитуда F-волны сопряжена со степенью поражения периферических аксонов в случае сохранного мотонейронального пула.

Согласно результатам, полученным при проведении ТКМС, у пациентов с диагнозом ВБ установлено возрастание времени деполяризации нейронов первичной моторной коры и времени прохождения импульса по короткоспинальным волокнам до проксимальной части корешков C4–C5.

Таким образом, проведённое исследование позволило установить ряд характерных изменений афферентных и эфферентных аксонов у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации.

Афферентные проводящие структуры: выявлено снижение скорости проведения импульса на руках и снижение потенциала действия нервного ствола на ногах; воз-

растает время возбуждения нейронов поясничного и шейного отделов позвоночника, подкорковых структур (таламические ядра), в области соматосенсорной зоны коры головного мозга.

Эфферентные проводящие структуры: установлено снижение скорости проведения импульса по аксонам верхних и нижних конечностей, поражение мотонейронов первичной моторной коры головного мозга, нейронов кортикоспинального тракта, а также шейного и поясничного отделов позвоночника.

Из вышесказанного следует, что необходимость комплексного применения нейрофизиологических методов исследования (стимуляционная электронейромиография с определением состояния сенсорного и моторного компонентов периферических нервов, регистрация F-волны, регистрация соматосенсорных ВП, проведение периферической ТКМС) обусловлена возможностями, позволяющими адекватно оценивать локализацию и выраженность изменений в нервной системе, потенцируемых воздействием вибрации на производстве, способствовать улучшению качества диагностики, в том числе, на ранних этапах заболевания.

Неинвазивность методик, хорошая воспроизводимость результатов, позволяют рекомендовать комплексный нейрофизиологический подход как эффективный тест для оценки выраженности патологических изменений у пациентов с вибрационной болезнью, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации.

Выводы:

1. У пациентов с ВБ, связанной с комбинированным воздействием локальной и общей вибрации, выявлено снижение скорости проведения импульса по афферентным аксонам на верхних конечностях, снижение потенциала действия нервного ствола — на нижних конечностях.

2. Установлено нарушение времени проведения импульса по афферентным путям поясничного и шейного отделов позвоночника.

3. Выявлено замедление активации нейронов афферентных проводящих структур в таламической области, в соматосенсорной зоне коры, а также замедление процессов деполаризации эфферентных нейронов первичной моторной коры и кортикоспинального тракта.

Список литературы

1. Бабанов С.А., Кириюшина Т.М. Электронейромиографические исследования при вибрационной болезни. *Терапевт.* 2023; 8: 29–38. <https://elibrary.ru/cvjxkl> <https://doi.org/10.33920/MED-12-2308-04>
2. Krajnak K.M. Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole-body vibration. *J. Toxicol Environ Health.* 2018; 21(5): 320–4. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
3. Борзунова Ю.М. Вызванные потенциалы головного мозга в оценке сенсорных и когнитивных функций у горнорабочих виброопасных профессий. *Вестник Уральского МАН.* 2012; 1: 61–2. <https://elibrary.ru/pbrfdd>
4. Ткаченко П.В. Межсистемные прямолинейные корреляционные взаимоотношения характеристик стимуляционной электронейромиографии симметричных нервов предплечий. *Региональный вестник.* 2019; 7(32): 2. <https://clck.ru/3Hr9UE>
5. Ткаченко П.В. Особенности внутрисистемных корреляционных взаимоотношений характеристик М-ответа и F-волны мышц и нервов предплечий, участвующих в реализации сложнскоординированных бимануальных движений. *Бюллетень медицинской науки.* 2020; 1(17): 24–28. <https://elibrary.ru/jgxvqk>
6. Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Лахман О.А., Русанова Д.В. Диагностика степени выраженности вибрационной болезни с помощью вызванных потенциалов мозга. *Известия Самарского научного центра РАН.* 2010; 1(7): 1829–1833. <https://elibrary.ru/ndygnf>
7. Sauni R., Toivo P., Paakkonen R. Work disability after diagnosis of hand-arm vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health.* 2015; 88: 1061–1068. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1034-1>
8. Алифинова В.М., Толмачев И.В., Королева Е.С., Кучерова К.С. Соматосенсорные вызванные потенциалы в оценке эффективности моторной реабилитации у пациентов с ишемическим инсультом. *Эффективность моторной реабилитации после инсульта.* 2020; 14(3): 29–36. <https://elibrary.ru/cbmrpx> <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.3.10>
9. Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А. Обнаружение и оценивание параметров вызванных потенциалов. *Информационные процессы.* 2015; 15(4): 389–401. <https://elibrary.ru/veghxd>
10. Макарова И.И., Игнатова Ю.П., Маркова К.Б. Вызванные потенциалы мозга как биоэлектрический феномен, отражающий функциональное состояние нервной системы. *Верхневолжский неврологический журнал.* 2016; 15(3): 29–36. <https://elibrary.ru/wilulf>
11. Войтенков В.Б., Скрипченко Н.В., Матюнина Н.В., Климин А.В. Характер нарушения проведения по центральному моторным путям у пациентов, перенесших серозный менингит. *Журнал инфектологии.* 2014; 6(2): 19–23. <https://elibrary.ru/gyrkcj>
12. Balytskyi O.P. Using transcranial magnetic stimulation for studying functional state of motor centers in patients with ischemic stroke. *Likars'ka Sprava.* 2013; (5): 75–80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24605637/>
13. Le Q., Qu Y., Tao Y., Zhu S. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on hand function recovery and excitability of the motor cortex after stroke: a meta-analysis. *Am. J. Phys. Med. Reha-bil.* 2014; 93: 422–30. <https://doi.org/10.1097/phm.000000000000027>
14. Kwon H.G., Choi B.Y., Chang C.H., Kim S.H., Jung Y.J., Jang S.H. Recovery of an injured corticospinal tract during a critical period in a patient with intracerebral hemorrhage. *NeuroRehabilitation.* 2016; 32(1): 27–32. <https://doi.org/10.3233/nre-130820>
15. Николаев С.Г. *Электронейромиография: клинический практикум.* Иваново: ПресСто; 2019.
16. Пирадов М.А., Бакулин И.С., Забирова А.Х., Лагода Д.Ю. *Транскраниальная магнитная стимуляция в клинической и исследовательской практике.* Горячая линия – Телеком; 2024.
17. Афина Э.Т., Надеждина М.В. Соматосенсорные вызванные потенциалы в дифференциальной диагностике уровня повреждения плечевого сплетения. *Уральский медицинский журнал.* 2014; 3: 9–14. <https://elibrary.ru/sdejyb>
18. Макогон И.С., Борзунова Ю.М., Гоголева О.И., Гусельников С.Р. Информационная ценность нейрофизиологических методов в изучении проводящих путей и функционального состояния головного мозга у шахтёров. *Фундаментальные исследования.* 2012; 10: 60–64. <https://clck.ru/3Hr9dS>
19. Лахман О.А., Русанова Д.В. Нейрофизиологические критерии диагностики вибрационной болезни. *Медицина труда и промышленная экология.* 2017; (9): 108–112. <https://elibrary.ru/zfqkgr>
20. Рукавишников В.С., Панков В.А., Лахман О.А., Боденкова Г.М., Дружинина П.Н., Кольчева И.В. и др. Общие закономерности формирования неспецифических патогенетических механизмов при воздействии на организм физических

- факторов производственной среды. *Бюллетень ВСНЦ СО РАМН*. 2001; 2: 79–85. <https://elibrary.ru/qcqxyn>
- Handford M., Lepine K., Boccia K., Ruddick F. Hand-arm vibration syndrome: Workers' experience with functional impairment and disability. *J. Hand. Ther.* 2017; 30(4): 491–9. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2016.10.010>
 - Babanov S.A., Kiryushina T.M. Electroneuromyographic studies in vibration disease. *Terapevt.* 2023; 8–9. <https://elibrary.ru/cvjklx> <https://doi.org/10.33920/MED-12-2308-04> (in Russian).
 - Krajnak K.M. Health effects associated with occupational exposure to hand-arm or whole-body vibration. *J. Toxicol. Environ. Health.* 2018; 21(5): 320–4. <https://doi.org/10.1080/10937404.2018.1557576>
 - Borzunova Y.M. Evoked potentials of the brain in assessing sensory and cognitive functions in miners of vibro-hazardous professions. *Vestnik ural'skoy meditsinskoy akademicheskoy nauki*. 2012; (1): 61–62 <https://elibrary.ru/pbrfdd> (in Russian).
 - Tkachenko P.V. Intersystem rectilinear correlation relationships of characteristics of stimulation electroneuromyography of symmetrical forearm nerves. *Regional'nyj vestnik*. 2019; 7(32): 2 <https://clck.ru/3Hr9UE> (in Russian).
 - Tkachenko P.V. Features of the intra-system correlation relationship between the characteristics of the M-response and the F-wave of the muscles and nerves of the forearms involved in the implementation of complexly coordinated bimanual movements. *Byulleten' medicinskoj nauki*. 2020; 1(17): 24–28 <https://elibrary.ru/jgxvqk> (in Russian).
 - Katamanova E.V., Kartapol'ceva N.V., Lakhman O.L., Rusanova D.V. Diagnosis of the severity of vibrational disease using evoked brain potentials. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo centra RAN*. 2010; 1(7): 1829–1833 <https://elibrary.ru/ndygnf> (in Russian).
 - Sauni R., Toivo P., Paakkonen R. Work disability after diagnosis of hand-arm vibration syndrome. *International Archives of Occupational and Environmental Health*. 2015; 88: 1061–1068. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1034-1>
 - Alifirova V.M., Tolmachev I.V., Koroleva E.S., Kucherova K.S. Somatosensory evoked potentials in evaluating the effectiveness of motor rehabilitation in patients with ischemic stroke. *Effektivnost' motornoj reabilitacii posle insul'ta*. 2020; 14(3): 29–36 <https://elibrary.ru/cbmpxc> <https://doi.org/10.25692/ACEN.2020.3.10> (in Russian).
 - Grigorev F.N., Kuznecov N.A. Detection and estimation of parameters of evoked potentials. *Informacionnye processy*. 2015; 15 (4): 389–401 <https://elibrary.ru/veghxd> (in Russian).
 - Makarova I.I., Ignatova Y.P., Markova K.B. Evoked potentials of the brain as a bioelectric phenomenon that reflects the functional state of the nervous system. *Verhnevolzhskij nevrologicheskij zhurnal*. 2016; 15(3): 29–36. <https://elibrary.ru/wiluif> (in Russian).
 - Voitenkov V.B., Skripchenko N.V., Matyunina N.V., Klimkin A.V. The nature of impaired conduction along the central motor pathways in patients with serous meningitis. *Zhurnal infektologii*. 2014; 6(2): 19–23. <https://elibrary.ru/ryrkcj> (in Russian).
 - Balytskyi O.P. Using transcranial magnetic stimulation for studying functional state of motor centers in patients with ischemic stroke. *Likars'ka Sprava*. 2013; (5): 75–80. <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/24605637/>
 - Le Q, Qu Y, Tao Y, Zhu S. Effects of repetitive transcranial magnetic stimulation on hand function recovery and excitability of the motor cortex after stroke: a meta-analysis. *Am. J. Phys. Med. Reha-bil.* 2014; 93: 422–30. <https://doi.org/10.1097/phm.0000000000000027>
 - Kwon H.G., Choi B.Y., Chang C.H., Kim S.H., Jung Y.J., Jang S.H. Recovery of an injured corticospinal tract during a critical period in a patient with intracerebral hemorrhage. *NeuroRehabilitation*. 2016; 32(1): 27–32. <https://doi.org/10.3233/nre-130820>
 - Nikolaev S.G. *Elektronejromiografiya: klinicheskij praktikum*. Ivanovo: PresSto; 2019 (in Russian)
 - Piradov M.A., Bakulin I.S., Zabirowa A.H., Lagoda D.Y. *Transcranial magnetic stimulation in clinical and research practice*. Goryachaya liniya – Telekom; 2024 (in Russian).
 - Afina E.T., Nadezhkina M.V. Somatosensory evoked potentials in differential diagnostics of the level of damage to the brachial plexus. *Ural'skij medicinskij zhurnal*. 2014; 3: 9–14 <https://elibrary.ru/sdejyb> (in Russian).
 - Makogon I.S., Borzunova Y.M., Gogoleva O.I., Gusel'nikov S.R. The informational value of neurophysiological methods in the study of pathways and the functional state of the brain in miners. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012; 10: 60–64 <https://clck.ru/3Hr9dS> (in Russian).
 - Lakhman O.L., Rusanova D.V. Neurophysiological criteria for the diagnosis of vibrational disease. *Medicina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; 9: 108 <https://elibrary.ru/zfqkgr> (in Russian).
 - Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Lakhman O.L., Bodienkova G.M., Druzhinina P.N., Kolycheva I.V., etc. General patterns of formation of nonspecific pathogenetic mechanisms under the influence of physical factors of the production environment on the body. *Byulleten' VSNC SO RAMN*. 2001; 2: 79–85 <https://elibrary.ru/qcqxyn> (in Russian).
 - Handford M., Lepine K., Boccia K., Ruddick F. Hand-arm vibration syndrome: Workers' experience with functional impairment and disability. *J. Hand. Ther.* 2017; 30(4): 491–9. <https://doi.org/10.1016/j.jht.2016.10.010>
 - Rusanova D.V., Lakhman O.L. The state of the central and peripheral conductive structures in patients with vibration disease. *Hygiene and Sanitation*. 2019; 98(10): 1085–1090 <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090> (in Russian).

References

Сведения об авторах:

Русанова Дина Владимировна

старший научный сотрудник лаборатории профессиональной и экологически обусловленной патологии ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», д-р биол. наук.

E-mail: dina.rusanova@yandex.ru

<https://orcid.org/0000-0003-1355-3723>

Лакман Олег Леонидович

директор ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»; зав. кафедрой профпатологии и гигиены Иркутской государственной медицинской академии последипломного образования — филиала ФГБОУ ДПО РМАНПО Минздрава России, д-р мед. наук, профессор, профессор РАН.

E-mail: lakhman_o_l@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0013-8013>

Сливницына Наталья Валерьевна заведующая неврологическим отделением клиники ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», канд. мед. наук.
E-mail: knvspi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8984-2452>

About the authors:

Dina V. Rusanova Senior Researcher, Laboratory of Occupational and Environmentally Conditioned Pathology, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Dr. of Sci. (Biol.).
E-mail: dina.rusanova@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0003-1355-3723>

Oleg L. Lakhman Director, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research; Head of the Department of Occupational Pathology and Hygiene, Irkutsk State Medical Academy of Postgraduate Education — Branch Campus of Russian Medical Academy of Continuing Professional Education, Dr. of Sci. (Med.), Professor, Professor of the Russian Academy of Sciences.
<https://orcid.org/0000-0002-0013-8013>
E-mail: lakhman_o_l@mail.ru

Natalya V. Slivnitsyna Head of the Neurological Department of the Clinic, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Cand. of Sci. (Med.).
E-mail: knvspi@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0002-8984-2452>
