

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2020

Васильева Л.С., Русанова Д.В., Сливницына Н.В., Лахман О.Л.

Особенности поражения нервной системы, выявляемые при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с вибрационной болезнью

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований»,
665827, Ангарск

Введение. Объективные данные о локализации и выраженности изменений в афферентных проводящих структурах получают при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП).

Цель – выявление нейрофизиологических особенностей при регистрации ССВП при стимуляции срединного и большеберцового нервов у пациентов с вибрационной болезнью (ВБ).

Материал и методы. Обследованы 140 человек: 1-я группа – 50 пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации (возраст $48,7 \pm 3,1$ года); 2-я группа – 50 пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации (возраст $48,9 \pm 2,8$ года); 3-я группа – контрольная (40 относительно здоровых мужчин, не контактирующих с вибрацией, возраст $49,1 \pm 2,5$ года). Статистическую обработку результатов проводили с использованием программы «Statistica 10.0» (StatSoft, USA, 2011). Оценивали различие средних с помощью критерия Вилкоксона.

Результаты. При стимуляции срединного нерва возрастала латентность компонентов ССВП: для 1-й группы – N9, N10, N11, N13, N20, P25, N30, для 2-й – N10, N11, N13, N30. Выявлено увеличение латентности и интервалов выявлено в 1-й группе. При стимуляции большеберцового нерва в 1-й группе выявлено статистически значимое возрастание латентности N18, N22, N30, то есть замедление проведения от области подколенной ямки до поясничного и шейного уровней позвоночника.

Заключение. Изменения в состоянии нейронов центральных проводящих структур у пациентов заключались в более выраженных функциональных изменениях на уровне шейного отдела спинного мозга и соматосенсорной коры в 1-й группе. При стимуляции большеберцового нерва отмечали замедление проведения афферентной волны возбуждения от дистальных отделов и далее по восходящим путям спинного мозга до задних столбов шейного отдела.

К л ю ч е в ы е с л о в а : вибрационная болезнь; соматосенсорные вызванные потенциалы; афферентные проводящие пути

Для цитирования: Васильева Л.С., Русанова Д.В., Сливницына Н.В., Лахман О.Л. Особенности поражения нервной системы, выявляемые при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов у пациентов с вибрационной болезнью. Гигиена и санитария. 2020; 99 (10): 1073-1078. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078>

Для корреспонденции: Васильева Лариса Сергеевна, аспирант, врач-невролог клиники ФГБНУ ВСИМЭИ, 665827, Ангарск. E-mail: lorik.shalamova@yandex.ru

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Работа выполнена в рамках средств, выделенных для осуществления государственного задания ФГБНУ ВСИМЭИ.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, утверждение окончательного варианта – Васильева Л.С.; концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, утверждение окончательного варианта – Русанова Д.В.; концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование, утверждение окончательного варианта – Сливницына Н.В.; концепция и дизайн исследования, редактирование, утверждение окончательного варианта – Лахман О.Л.

Поступила 01.07.2020
Принята к печати 18.09.2020
Опубликована 30.11.2020

Larisa S. Vasileva, Dina V. Rusanova, Natalya V. Slivnitsyna, Oleg L. Lakhman

Features of the nervous system damage in the registration of somatosensory-evoked potentials in patients with vibration disease

East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation

Introduction. Objective data necessary for acquiring information about the localization and severity of the pathological process in afferent conductive structures can be obtained by registering somatosensory evoked potentials (SSEP).

The goal is to identify neurophysiological features during the registration of SSEPs during stimulation of the median and tibial nerves in patients with the vibrational disease (VD).

Material and methods. 140 people were examined: group 1 - 50 patients with VD associated with the combined effects of local and general vibration (aged 48.7 ± 3.1 years); Group 2 - 50 patients with VD associated with exposure to local vibration (aged 48.9 ± 2.8 years); Group 3 - control, including 40 relatively healthy men without the exposure to vibration (aged 49.1 ± 2.5 years). Registration of SSEP was carried out with stimulation of the median and tibial nerves. Statistical processing of the results is "Statistica 10.0" (StatSoft, USA, 2011). The differences in the mean values in the samples were estimated using the Wilcoxon criterion. The differences were considered statistically significant at $p < 0.05$ and 0.01 .

Results. When the median nerve was stimulated, the latency of the SSVP components increased: for group 1 - indices N9, N10, N11, N13, N20, P25, N30, for group 2 - components N10, N11, N13, N30. A marked increase in latency and intervals was found in group 1. When the tibial nerve was stimulated in group 1, a statistically significant increase in the latency of components N18, N22, N30, characterizing the conduction from the popliteal fossa to the lumbar and then to the cervical level of the spine was revealed.

Discussion. The results of the study are consistent with data from previous studies on SSEPs with stimulation of the median nerve. For the first time, it was revealed that in patients of group 1, the registration of SSEP during stimulation of the tibial nerve gives an increase in the time of the impulse at the peripheral level in the popliteal fossa.

Conclusion. The SSVP registration method expands the state of afferent pathways. Changes in the state of neurons of the central afferent conducting structures in patients of groups 1 and 2 consisted of more pronounced functional changes at the level of the cervical spinal cord and somatosensory cortex in group 1. During stimulation of the tibial nerve, a slowing down of the afferent excitation wave from the distal sections and further along the ascending paths of the spinal cord to the posterior pillars of the cervical region was noted.

К е у о р д с : vibration disease; somatosensory evoked potentials; afferent pathways

For citation: Vasileva L.S., Rusanova D.V., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Features of the nervous system damage in the registration of somatosensory-evoked potentials in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2020; 99 (10): 1073-1078. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2020-99-10-1073-1078> (In Russ.)

For correspondence: Larisa S. Vasileva, MD, postgraduate student, neurologist, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation. E-mail: lorik.shalamova@yandex.ru

Information about the authors:

Vasileva L.S., <https://orcid.org/0000-0002-5643-441X>; Rusanova D.V., <https://orcid.org/0000-0003-1355-3723>
Slivnitsyna N.V., <https://orcid.org/0000-0002-8984-2452>; Lakhman O.L., <https://orcid.org/0000-0002-0013-8013>

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

Acknowledgment. The work was performed within the funds allocated for the implementation of the state task East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research.

Contribution: Vasileva L.S. – research concept and design, material collection and processing, statistical processing, text writing. Rusanova D.V. – concept and design of the research, collection, and processing of the material, writing the text. Slivnitsyna N.V. – concept and design of the research, collection, and processing of the material, writing the text, editing. Lakhman O.L. – research concept and design, editing. All coauthors – approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

Received: July 01, 2020

Accepted: September 18, 2020

Published: November 30, 2020

Введение

Более чем у 50% рабочих, контактировавших в своей производственной деятельности с вибрацией, отмечаются функциональные нарушения в центральной нервной системе (ЦНС) [1–4]. Поэтому существует необходимость углублённого исследования центральных проводящих структур, в том числе подкорковых и нижних отделов ствола мозга. Объективные данные, которые необходимы для приобретения более точных сведений о локализации и степени выраженности патологического процесса в афферентных проводящих структурах, можно получить при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов (ССВП). Вызванные потенциалы позволяют определить наличие и степень повреждения, используя изменения амплитуды или латентности отдельных компонентов, которые соответствуют различным отделам сенсорной системы [5].

Нейрофизиологами в настоящее время установлено, что ССВП регистрируются на всём протяжении восходящих афферентных структур – от точки стимуляции до корковых отделов соматосенсорной зоны. Вызванные потенциалы данной модальности отражают проведение волны возбуждения по путям, проходящим в задних столбах спинного мозга, через стволовые структуры и далее в кору, то есть по путям общей чувствительности [6–8].

Воздействие вибрации на организм человека является мощным стрессовым фактором. Под влиянием вибрации, в том числе производственной, снижается не только работоспособность, но и в целом трудоспособность человека, что требует длительного лечения и восстановления [9–13]. Необходимо разработка критериев, позволяющих выявлять не только ранние стадии нарушений, но и начальные признаки возникновения вибрационной болезни (ВБ), что позволит затрачивать меньше времени и средств на лечение, реабилитацию, осуществлять рациональное трудоустройство работающих. Известно, что при анализе основных параметров вызванных потенциалов, в том числе соматосенсорных, возможно выявление субклинического замедления проведения импульса, указывающего на поражение той или иной проводящей структуры ЦНС. Данный факт является актуальным для донозологической диагностики, при проведении плановых медицинских осмотров стажированных работающих, чья работа связана с профессиональной вредностью [14–16].

В научных работах сотрудников института ФГБНУ ВСИ-МЭИ [17–22] отражены результаты исследования параметров ССВП при стимуляции нервов верхних конечностей у паци-

ентов с диагнозом ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации и сочетанным воздействием локальной и общей вибрации. При ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, отмечали демиелинизирующие изменения не только на периферическом уровне (при стимуляции нейронов плечевого сплетения), но и в зоне корковых отделов головного мозга. У пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, помимо перечисленных нарушений отмечали возрастание времени центрального проведения [23, 24].

В литературе имеются многочисленные публикации, посвящённые изучению патологических процессов, развивающихся при воздействии на организм вибрации и локализованных на уровне церебральных структур, однако характер этих нарушений описан недостаточно полно.

Цель исследования – выявление нейрофизиологических особенностей при регистрации ССВП при стимуляции срединного и большеберцового нервов у пациентов с ВБ.

Полученные при анализе основных параметров ССВП особенности значительно расширяют представления о состоянии проводящих структур спинного и головного мозга у пациентов, контактировавших в своей трудовой деятельности с вибрацией [25, 26].

Материал и методы

Обследованы 140 человек, разделённых на 3 группы. В 1-ю группу вошли 50 пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации (средний возраст пациентов составил $48,7 \pm 3,1$ года). Среди обследованных машинистов бульдозеров, машинистов экскаваторов, трактористов у 22 человек установлена ВБ I степени, у 28 человек – ВБ II степени.

Во 2-ю группу вошли 50 пациентов с диагнозом ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации (средний возраст – $48,9 \pm 2,8$ года). Среди обследованных были сборщики-клепальщики, горнорабочие очистного забоя, у 19 человек – ВБ I степени, у 31 человека – ВБ II степени.

Третью группу (контрольную) составили 40 условно здоровых мужчин, не контактирующих с вибрацией (средний возраст $49,1 \pm 2,5$ года).

При отборе пациентов критериями исключения являлись: тяжёлая сопутствующая патология, перенесённые черепно-мозговые травмы, острые нарушения мозгового кровообращения в анамнезе, операции на позвоночнике, травмы конечностей.

Для анализа основных параметров ССВП регистрацию проводили при стимуляции срединного нерва в области запястья. Использовали следующие точки отведения — точка Эрба, шейный отдел спинного мозга (проекция остистого отростка VII шейного позвонка), со скальпа — точки С3, С4, согласно схеме 10–20% [27–29]. Для анализа показателей, полученных при стимуляции срединного нерва, изучали латентный период пиков N9, N10, N13, N18, N20, P25 и N30; длительность межпиковых интервалов N10–N13, N11–N13, N13–N18, N13–N20. При стимуляции большеберцового нерва на нижних конечностях изучали латентный период пиков N8, N22, N30 и длительность межпиковых интервалов N8–N22 и N22–N30. Регистрацию соматосенсорных вызванных потенциалов проводили по общепринятой методике с помощью электронейромиографа «Нейро-ЭМГ-Микро» фирмы «Нейрософт» (г. Иваново).

Обследование пациентов проходило в соответствии с этическим стандартом Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными Приказом Минздрава РФ № 266 от 19.06.2003 г. Все обследованные подписали информированное согласие на участие в исследовании.

Статистическая обработка результатов проведена с использованием программного пакета Statistica 10.0 (StatSoft, USA, 2011). Методы описательной статистики включали в себя оценку различий величин средних в выборках с нормальным распределением с использованием критерия Вилкоксона. Статистически значимыми считали различия при $p < 0,05$ и $0,01$.

Результаты

При анализе параметров, полученных при регистрации ССВП, выявлены следующие результаты.

В табл. 1 представлены результаты сравнения с данными контрольной группы показателей, полученных при регистрации ССВП в результате стимуляции срединного нерва на верхних конечностях, у пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, и у пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации.

У пациентов с ВБ отмечали статистически значимое возрастание латентности всех компонентов. Для 1-й группы обследованных это были латентности показателей N9, N10, N11, N13, N20, P25, N30, для 2-й группы — латентный период компонентов N10, N11, N13, N30 (см. табл. 1).

Таким образом, при воздействии вибрации на организм работающих можно наблюдать нарушения в афферентных проводящих структурах на уровне нейронов спинного мозга (возрастание латентности компонентов N11, N13; $p < 0,01$), в области таламических структур (возрастание латентности компонента N18 и длительности интервала N18–N20; $p < 0,05$) и соматосенсорной зоны коры головного мозга (возрастание латентности компонентов N20, P25 при $p < 0,05$ и компонента N30 при $p < 0,01$).

Вместе с тем, как видно из табл. 1, при сравнении данных, полученных в группах пациентов с ВБ, отмечается статистически значимое возрастание латентного периода компонентов N20 и P25 в 1-й группе обследованных по сравнению со 2-й, что свидетельствует о более глубоком поражении проводящих структур у пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации.

На рис. 1 представлен пример определения ССВП пациента с ВБ 2-й степени, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, в диагнозе умеренно выраженная вегетативно-сенсорная полиневропатия верхних и нижних конечностей, периферический ангиодистонический синдром верхних конечностей, на рис. 2 — показатели пациента с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, в диагнозе умеренно выраженная вегетативно-сенсорная полиневропатия верхних конечностей, периферический ангиодистонический синдром верхних конечностей.

У пациентов с ВБ выявлено снижение амплитуды потенциала, полученного при отведении с области плечевого сплетения, и спинального потенциала (возрастание латентного периода компонентов N9, N10, N11, N13, а также увеличение длительности межпиковых интервалов N10–N13, N13–N18). Следует отметить, что у пациента с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, перечисленные нарушения были более выражены при сравнении с данными, полученными при обследовании пациента с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации.

Таблица 1

Показатели соматосенсорных вызванных потенциалов, полученных при стимуляции срединного нерва

Компонент	Группа обследованных		
	1-я, n = 50	2-я, n = 50	контрольная, n = 40
<i>Длительность латентного периода, мс</i>			
N9	8,9 (8,0–10,0)	8,8 (7,8–9,8)	8,6 (8,0–9,8)** ¹⁻³
N10	10,4 (9,4–11,6)	10,3 (9,2–12,6)** ²⁻³	9,9 (9,0–10,8)** ¹⁻³
N11	12,9 (11,0–14,4)	12,8 (10,8–15,0)** ²⁻³	11,9 (11,0–13,8)** ¹⁻³
N13	14,7 (12,8–16,0)	14,4 (12,6–16,0)** ²⁻³	13,7 (12,6–14,8)** ¹⁻³
N 18	18,9 (15,8–22,6)	18,5 (16,2–20,8)	18,5 (17,0–20,4)
N20	21,4 (19,0–24,2)	20,7 (18,6–23,6)* ¹⁻²	20,6 (17,9–22,4)* ¹⁻³
P25	25,3 (22,2–28,8)	24,7 (21,6–28,6)* ¹⁻²	24,4 (22,0–28,6)* ¹⁻³
N30	31,9 (28,9–35,0)	32,2 (20,4–37,6)** ²⁻³	31,1 (28,4–36,0)** ¹⁻³
<i>Длительность интервалов, мс</i>			
N10–N13	4,2 (1,6–5,8)	4,1 (1,0–7,0)* ²⁻³	3,8 (1,2–5,0)* ¹⁻³
N11–N13	1,8 (1,2–3,2)	1,7 (0,8–3,2)	1,9 (1,2–3,0)
N13–N18	4,1 (1,2–6,8)	4,1 (1,8–6,4)* ²⁻³	4,6 (3,0–6,4)* ¹⁻³
N18–N20	2,4 (1,2–4,2)	2,1 (1,1–4,8)* ¹⁻²	4,6 (3,0–6,4)
N13–N20	6,3 (3,4–9,2)	6,2 (3,6–8,0)	6,4 (3,9–7,8)

Примечание. Здесь и в табл. 2: * — различия статистически значимы при $p < 0,05$; ** — различия статистически значимы при $p < 0,01$; ¹⁻², ¹⁻³, ²⁻³ — различия между группами.

Таблица 2

Показатели соматосенсорных вызванных потенциалов, полученных при стимуляции большеберцового нерва

Компонент	Группа обследованных		
	1-я, n = 50	2-я, n = 50	контрольная, n = 40
<i>Длительность латентного периода, мс</i>			
N8	12,1 (8,4–16,4)*, 1–2	10,9 (8,2–14,4)	10,8 (7,0–14,4)*, 1–3
N22	25,0 (17,4–29,6)*, 1–2	23,5 (20,6–29,6)*, 2–3	21,8 (19,0–29,6)*, 1–3
N30	36,2 (32,4–41,0)*, 1–2	34,4 (30,8–41,0)*, 2–3	33,3 (28,6–41,0)*, 1–3
<i>Длительность интервалов, мс</i>			
N8–N22	12,6 (5,7–18,0)	12,3 (7,0–16,4)*, 2–3	10,9 (6,2–14,8)*, 1–3
N22–N30	11,4 (7,4–17,2)	11,0 (6,3–17,2)	11,3 (6,4–17,2)

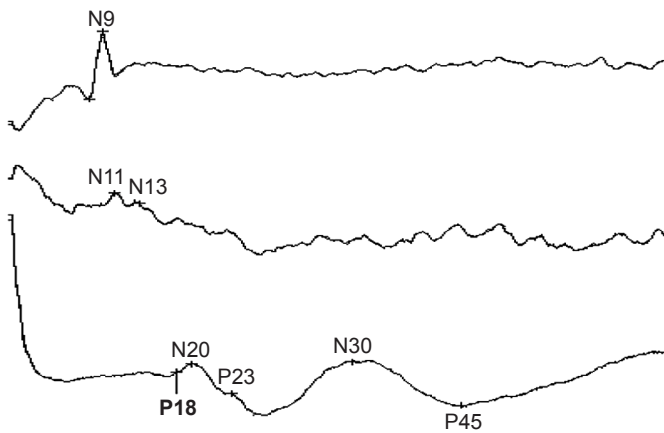


Рис. 1. ССВП при регистрации со срединного нерва у пациента с вибрационной болезнью, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации.

Исследование показателей, полученных при регистрации ССВП при стимуляции большеберцового нерва в группе пациентов, подвергавшихся сочетанному воздействию локальной и общей вибрации, при сравнении с данными контрольной группы выявило статистически значимое возрастание латентности компонентов N8, N22 и N30, характеризующих проведение от области подколенной ямки до поясничного и далее – до шейного уровня позвоночника; возрастание длительности интервала N8–N22. Результаты обследования пациентов, подвергавшихся воздействию локальной вибрации, при сравнении с данными контрольной группы показали наличие статистически значимого возрастания длительности латентного периода компонентов N22 и N30 и увеличение длительности интервала N8–N22 (табл. 2).

При сравнении данных, полученных в группах обследованных пациентов, подвергавшихся воздействию вибрации, выявлено статистически значимое возрастание латентности компонентов N8, N22 и N30 у пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, при сравнении с результатами, полученными у пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации.

На рис. 3, 4 представлены примеры ССВП обследованных, полученные при стимуляции большеберцового нерва (на рис. 3. – пациент с ВБ 2-й степени, связанной с сочетанным воз-

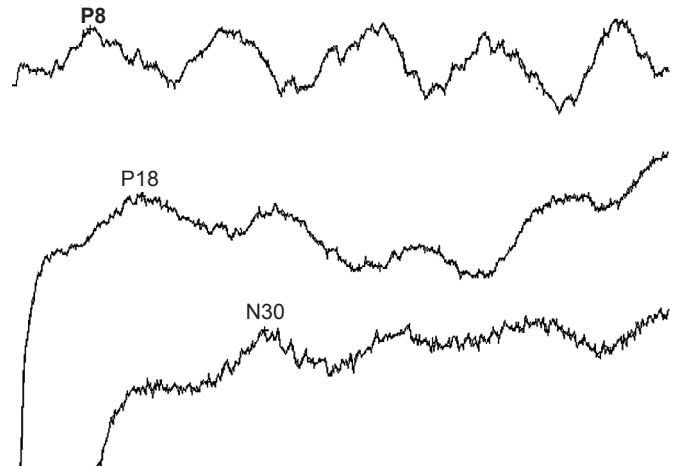


Рис. 3. ССВП при регистрации с большеберцового нерва у пациента с вибрационной болезнью, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации.

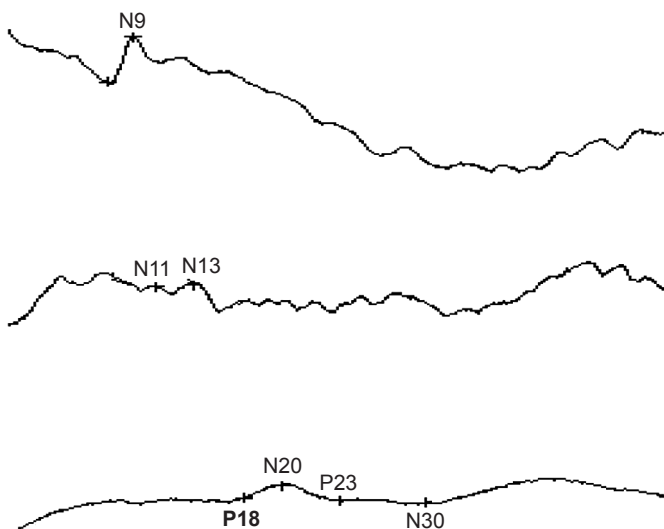


Рис. 2. ССВП при регистрации со срединного нерва у пациента с вибрационной болезнью, связанной с воздействием локальной вибрации.

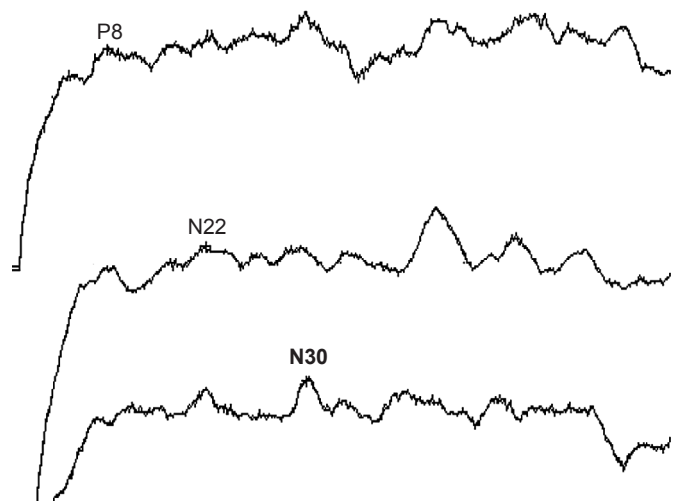


Рис. 4. ССВП при регистрации с большеберцового нерва у пациента с вибрационной болезнью, связанной с воздействием локальной вибрации.

действием локальной и общей вибрации, на рис. 4 — пациент с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации).

У пациентов с вибрационной болезнью выявлено статистически значимое возрастание латентности компонентов N8, N22 и N30 и возрастание длительности интервала N8–N22. У пациента с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, перечисленные нарушения более выражены при сравнении с результатами, полученными при обследовании пациента с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации.

Обсуждение

Основные компоненты ССВП отражают проведение импульсов по афферентным аксонам вплоть до соматосенсорной зоны коры головного мозга. При анализе параметров ССВП возможно выявление нарушений в функциональном состоянии проводящих структур на любом уровне с учётом источника генерации компонентов. Например, возрастание латентного периода и длительности пиков и интервалов ССВП может интерпретироваться как нарушение проведения импульса на протяжении афферентных проводящих структур до соматосенсорной зоны коры головного мозга. Такая картина характерна при полиневропатии конечностей, особенно часто встречающейся при вибрационной болезни. При этом чем ниже тактильная и вибрационная чувствительность, тем больше возрастает латентность основных пиков ССВП [30].

Воздействие вибрации на организм работающего приводит к нарушению состояния афферентных проводящих структур. Наблюдается нарушение проводимости на уровне нейронов спинного мозга, таламических ядер и соматосенсорной зоны коры головного мозга. Замедляется время активации нейронов спинного мозга в области поясничного и шейного отделов позвоночника (на границе с продолговатым мозгом).

Результаты данного исследования согласуются с данными ранее проведённых работ по изучению ССВП при стимуляции срединного нерва [17, 20–24]. У обследованных, подвергавшихся сочетанному воздействию локальной и общей вибрации, изменения афферентных проводящих структур имеют более выраженный характер и заключаются в увеличении времени постсинаптической активации задних рогов спинного мозга, активации нейронов соматосенсорной зоны коры головного мозга.

Авторами впервые установлено, что у пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, анализ основных компонентов, полученных при регистрации ССВП при стимуляции большеберцового нерва, выявляет наряду с изменениями в состоянии нейронов поясничного и шейного отделов позвоночника увеличение времени проведения импульса на периферическом уровне в области подколенной ямки.

Заключение

1. Применение в диагностике показателей, полученных при регистрации соматосенсорных вызванных потенциалов, даёт более полное представление о состоянии афферентных проводящих структур как на периферическом, так и на центральном уровнях.

2. У пациентов с ВБ, связанной с сочетанным воздействием локальной и общей вибрации, в отличие от пациентов с ВБ, связанной с воздействием локальной вибрации, отмечаются более выраженные изменения на уровне шейного отдела спинного мозга и соматосенсорной зоны коры головного мозга.

3. При стимуляции большеберцового нерва на нижних конечностях у пациентов с ВБ отмечали замедление проведения афферентной волны возбуждения от дистальных отделов (на уровне подколенной ямки) и далее по восходящим путям до задних столбов шейного отдела спинного мозга.

Литература

(п.п. 2, 8, 10–13, 25, 26, 29 см. References)

- 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; (10–1): 60–4.
- Азовскова Т.А., Вакурова Н.В., Лаврентьев Н.Е. О современных аспектах диагностики и классификации вибрационной болезни. *Русский медицинский журнал*. 2014; 22(16): 1206–9.
- Николенко В.Ю., Ласткова Н.Д. От локальной вибрации до вибрационной болезни. *Международный неврологический журнал*. 2011; (1): 131–9.
- Макарова И.И., Игнатова Ю.П., Маркова К.Б. Вызванные потенциалы мозга как биоэлектрический феномен, отражающий функциональное состояние нервной системы. *Верхневолжский медицинский журнал*. 2016; 15(3): 29–36.
- Гнездицкий В.В., Корепина О.С. *Атлас по вызванным потенциалам мозга (практическое руководство, основанное на анализе конкретных клинических наблюдений)*. Иваново: ПрессСто; 2011.
- Сысоев Ю.И., Крошкина К.А., Оковитый С.В. Особенности соматосенсорных вызванных потенциалов у крыс после черепно-мозговой травмы. *Российский физиологический журнал им. И.М. Сеченова*. 2019; 105(6): 749–60. <https://doi.org/10.1134/S0869813919060074>
- Попова А.Ю. Состояние условий труда и профессиональная заболеваемость в Российской Федерации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; (3): 7–13.
- Карпов С.М., Пажигова З.Б., Карпова Е.Н. Вызванные зрительные потенциалы в исследовании зрительного анализатора у больных рассеянным склерозом. *Неврология, нейропсихиатрия, психосоматика*. 2014; (3): 27–31. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-3-27-31>
- Григорьев Ф.Н., Кузнецов Н.А. Обнаружение и оценивание параметров вызванных потенциалов. *Информационные процессы*. 2015; 15(4): 389–401.
- Смирнов В.В. Влияние локальной прерывистой и непрерывной вибрации на организм работающих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2004; (12): 46–8.
- Картапольцева Н.В., Катаманова Е.В., Русанова Д.В., Лакхман О.Л. Применение соматосенсорных вызванных потенциалов в диагностике вибрационной болезни и профессиональной нейросенсорной тугоухости. *Экология человека*. 2010; (7): 16–9.
- Картапольцева Н.В., Катаманова Е.В., Константинова Т.Н., Лакхман О.Л., Русанова Д.В. Применение соматосенсорных вызванных потенциалов в диагностике вибрационной болезни. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007; (2): 37–40.
- Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Лакхман О.Л., Русанова Д.В., Нурбаева Д.Ж. Диагностика степени выраженности вибрационной болезни с помощью вызванных потенциалов мозга. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010; 12(1): 1829–33.
- Русанова Д.В., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Лакхман О.Л., Панков В.А. Характеристика нарушений нейрофизиологического и психоэмоционального статуса пациентов с вибрационной болезнью в постконтактном периоде. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2016; 1(6): 98–102.
- Картапольцева Н.В. Определение вызванных потенциалов мозга у лиц, подвергавшихся воздействию локальной вибрации. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2007; (1): 217–8.
- Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Русанова Д.В., Нурбаева Д.Ж. Сравнительная характеристика нарушений афферентных проводящих путей у больных с вибрационной болезнью от воздействия локальной и комбинированной вибрации. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (1): 17–21.
- Лакхман О.Л., Русанова Д.В. Нейрофизиологические критерии диагностики вибрационной болезни. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; (9): 108.

24. Русанова Д.В., Лахман О.Л., Картапольцева Н.В. Состояние афферентных проводящих путей у больных при воздействии металлической руты и локальной вибрации. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2010; (4): 135–8.
27. Гнездицкий В.В. *Вызванные потенциалы мозга в клинической практике*. М.: МЕДпресс-информ; 2003.
28. Николаев С.Г. *Практикум по клинической электронейромиографии*. Иваново; 2003.
30. Борзунова Ю.М. Вызванные потенциалы головного мозга в оценке сенсорных и когнитивных функций у горнорабочих виброопасных профессий. *Вестник уральской медицинской академической науки*. 2012; (1): 61–2.

References

1. Makogon I.S., Borzunova Yu.M., Gogoleva O.I., Gusel'nikov S.R. Information value of neurophysiological methods in studying of carrying-out ways and the functional condition of the brain at miners. *Fundamental'nye issledovaniya*. 2012; (10–1): 60–4. (in Russian)
2. Sauni R., Toivo P., Pääkkönen R., Malmström J., Uitti J. Work disability after diagnosis of hand–arm vibration syndrome. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*. 2015; 88(8): 1061–8. <https://doi.org/10.1007/s00420-015-1034-1>
3. Azovskova T.A., Vakurova N.V., Lavrent'ev N.E. On modern aspects of diagnosis and classification of vibration disease. *Russkiy meditsinskiy zhurnal*. 2014; 22(16): 1206–9. (in Russian)
4. Nikolenko V.Yu., Lastkova N.D. From local vibration to vibration disease. *Mezhdunarodnyy neurologicheskiy zhurnal*. 2011; (1): 131–9. (in Russian)
5. Makarova I.I., Ignatova Yu.P., Markova K.B. Evoked brain potentials as bioelectrical phenomenon reflecting the functional state of the nervous system. *Verkhnevotzhkiy meditsinskiy zhurnal*. 2016; 15(3): 29–36. (in Russian)
6. Gnezditskiy V.V., Korepina O.S. *Atlas on Evoked Brain Potentials (a Practical Guide Based on Analysis of Specific Clinical Observations) [Atlas po vyzvannym potentsialam mozga (prakticheskoe rukovodstvo, osnovannoe na analize konkretnykh klinicheskikh nablyudeniy)]*. Ivanovo: PressSto; 2011. (in Russian)
7. Sysoev Yu.L., Kroshkina K.A., Okovityy S.V. Characteristic of somatosensory evoked potentials in rats after traumatic brain injury. *Rossiyskiy fiziologicheskiy zhurnal im. I.M. Sechenova*. 2019; 105(6): 749–60. <https://doi.org/10.1134/S0869813919060074> (in Russian)
8. Gruccu G., Aminoff M.J., Gurio G., Guerit J.M., Kakigi R., Mauguiere F., et al. Recommendations for the clinical use of somatosensory-evoked potentials. *Clin. Neurophysiol*. 2008; 8(119): 1705–19. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2008.03.016>
9. Popova A.Yu. Working conditions and occupational morbidity in the Russian Federation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; (3): 7–13. (in Russian)
10. Heaven C., Goonetilleke K.S., Ferguson H., Shiralkar S. Hand-arm vibration syndrome: a common occupational hazard in industrialized countries. *J. Hand Surg. Eur*. 2011; 36(5): 354–63. <https://doi.org/10.1177/1753193410396636>
11. Shen S.C., House R.A. Hand-arm vibration syndrome. *Can. Fam. Physician*. 2017; 63(3): 206–10.
12. Buhaug K., Moen B.E., Irgens Å. Upper limb disability in Norwegian workers with hand–arm vibration syndrome. *J. Occup. Med. Toxicol*. 2014; 9(1): 5. <https://doi.org/10.1186/1745-6673-9-5>
13. Handford M., Lepine K., Boccia K., Ruddick F., Alyeksyeyeva D., Thompson A., et al. 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>
14. Karpov S.M., Pazhigova Z.B., Karpova E.N. Visual evoked potentials in examining the visual analyzer in patients with multiple sclerosis. *Nevrologiya, neyropsikhiatriya, psichosomatika*. 2014; (3): 27–31. <https://doi.org/10.14412/2074-2711-2014-3-27-31> (in Russian)
15. Grigor'ev F.N., Kuznetsov N.A. Statistical criterion for detection and separation of evoked potentials. *Informatsionnye protsessy*. 2015; 15(4): 389–401. (in Russian)
16. Smirnov V.V. Influence of local interrupted and continuous vibration on workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2004; (12): 46–8. (in Russian)
17. Kartapol'tseva N.V., Katamanova E.V., Rusanova D.V., Lakhman O.L. Use of somatosensory induced potentials in diagnostics of vibration-induced disease and occupational neurosensoric dullness of hearing. *Ekologiya cheloveka*. 2010; (7): 16–9. (in Russian)
18. Kartapol'tseva N.V., Katamanova E.V., Konstantinova T.N., Lakhman O.L., Rusanova D.V. Using somatosensory generated potentials in diagnostics of vibration induced disease. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2007; (2): 37–40. (in Russian)
19. Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Lakhman O.L., Rusanova D.V., Nurbaeva D.Zh. Diagnostics of degree of vibratory disease expression by means of the brain caused potentials. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*. 2010; 12(1): 1829–33. (in Russian)
20. Rusanova D.V., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Lakhman O.L., Pankov V.A. Characteristics of disturbances in neurophysiological and psycho-emotional status of patients with vibration disease in the postexposure period. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2016; 1(6): 98–102. (in Russian)
21. Kartapol'tseva N.V. Determination of evoked brain potentials in individuals exposed to local vibration. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2007; (1): 217–8. (in Russian)
22. Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V., Nurbaeva D.Zh. Level difference in disorder manifestations of afferent conducting ways in patients with vibration-induced diseases after exposure to local and combined vibration. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (1): 17–21. (in Russian)
23. Lakhman O.L., Rusanova D.V. Neurophysiological criteria for diagnostics of vibration disease. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; (9): 108. (in Russian)
24. Rusanova D.V., Lakhman O.L., Kartapol'tseva N.V. State of afferent conducting ways in patients exposed to metallic mercury and local vibration. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2010; (4): 135–8. (in Russian)
25. Boylu E., Domac F.M., Kocer A. Visual evoked potential abnormalities in migraine patients. *Electromyogr. Clin. Neurophysiol*. 2010; 50(6): 303–8.
26. Giblin D.R. Somatosensory evoked potentials in healthy subjects and in patients with lesions of the nervous system. *Ann. NY Acad. Sci*. 1964; 112: 93–142. <https://doi.org/10.1111/j.1749-6632.1964.tb26744.x>
27. Gnezditskiy V.V. *Evoked Brain Potentials in Clinical Practice [Vyzvannye potentsialy mozga v klinicheskoy praktike]*. Moscow: MEDpress-inform; 2003. (in Russian)
28. Nikolaev S.G. *Workshop on Clinical Electroneurography [Praktikum po klinicheskoy elektroneyromiografii]*. Ivanovo; 2003. (in Russian)
29. Lueders H., Lesser R.P., Hahn J., Dinner D.S., Klem G. Cortical somatosensory evoked potentials in response to hand stimulation. *J. Neurosurg*. 1983; 58(6): 885–94. <https://doi.org/10.3171/jns.1983.58.6.885>
30. Borzunova Yu.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): 61–2. (in Russian)