

Читать
онлайн
Read
online

Ямщикова А.В., Гидаятова М.О., Флейшман А.Н., Кунгурова А.А.

Анализ поражения периферической нервной системы при вибрационной болезни

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк, Россия

Введение. В профпатологии многие годы применяется исследование функциональных нарушений периферической нервной системы при различных профессиональных заболеваниях. Изучение структурных изменений нервов описано лишь в единичных публикациях. В то же время комплексный структурно-функциональный подход позволяет расширить возможности дифференциальной диагностики вибрационных нейропатий.

Цель исследования: изучить структурно-функциональные нарушения периферической нервной системы у шахтёров с вибрационной болезнью, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Материалы и методы. Обследованы 136 шахтёров с установленным диагнозом вибрационной болезни от воздействия локальной вибрации и 60 человек, никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации. Всем респондентам было проведено комплексное электронейромиографическое и ультразвуковое исследование периферических нервов верхних конечностей.

Результаты. Выявлены как функциональные нарушения периферических нервов в виде преимущественно дистальной полинейропатии верхних конечностей, так и структурные изменения в виде локального утолщения нервов на уровне анатомических туннелей. При этом определена корреляционная зависимость между изменёнными функциональными и структурными показателями. Установлено, что у 47,1% шахтёров вибрационные полинейропатии осложнялись компрессией нервов.

Ограничения исследования. Исследование ограничено изучением электрофизиологических и сонографических характеристик периферической нервной системы у 136 пациентов с вибрационной болезнью, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Заключение. Комплексное электронейромиографическое и ультразвуковое исследование нервов верхних конечностей у пациентов с вибрационной болезнью позволяет выявить компрессионные нейропатии в виде сочетания локального утолщения нерва и нарушения проведения на уровне туннеля, а также даёт новые возможности дифференциальной диагностики вибрационных полинейропатий.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; полинейропатия; вибрационная полинейропатия; компрессионные нейропатии

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено неинвазивными методами и соответствует этическим стандартам биоэтического комитета НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, разработанным в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения научных исследований с участием человека» с поправками 2013 г. и «Правилами клинической практики в Российской Федерации», утверждёнными приказом Минздрава России № 266 от 19.06.2003 г.

Для цитирования: Ямщикова А.В., Гидаятова М.О., Флейшман А.Н., Кунгурова А.А. Анализ поражения периферической нервной системы при вибрационной болезни. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(7): 765-769. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-765-769> <https://elibrary.ru/jscnmm>

Для корреспонденции: Ямщикова Анастасия Валерьевна, науч. сотр. лаб. прикладной нейрофизиологии ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», 654041, Новокузнецк. E-mail: anastyam@bk.ru

Участие авторов: Ямщикова А.В. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка данных, сбор данных литературы, статистическая обработка, написание текста; Гидаятова М.О. — сбор и обработка данных; Флейшман А.Н. — редактирование; Кунгурова А.А. — сбор и обработка данных. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело финансовой поддержки.

Поступила: 17.03.2022 / Принята к печати: 08.06.2022 / Опубликовано: 31.07.2022

Anastasia V. Yamshchikova, Margarita O. Gidayatova, Arnold N. Fleishman, Alla A. Kungurova

Analysis of disorders of the peripheral nervous system in vibration disease

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation

Introduction. In occupational pathology, the study of functional disorders of the peripheral nervous system in various occupational diseases has been used for many years. The study of structural changes of nerves is described only in isolated publications. At the same time, a comprehensive structural and functional approach allows expanding the possibilities of differential diagnosis of vibration neuropathies.

The aim of the study was to investigate structural and functional disorders of the peripheral nervous system in miners with vibration disease due to the exposure of local vibration.

Materials and methods. One hundred thirty-six miners with a proven diagnosis of vibration disease due to the exposure of local vibration and 60 people who had never worked under the conditions of exposure to industrial vibration were examined. All respondents underwent a comprehensive electroneuromyographic and ultrasound investigation of the peripheral nerves of the upper extremities.

Results. The study revealed both functional disorders of peripheral nerves in the form of predominantly distal polyneuropathy of the upper extremities and structural changes in the form of local nerve thickening at the level of anatomical tunnels. At the same time, the correlation between the changed functional and structural indices was determined. In 47.1% of the miners, vibration polyneuropathies was found to be complicated by nerve compression.

Limitations. The investigation is limited to the study of electrophysiological and sonographic characteristics of the peripheral nervous system in 136 patients with vibration disease due to local vibration exposure.

Conclusion. Complex electroneuromyographic and ultrasound investigation of the nerves of the upper extremities in the patients with vibration disease allows identifying compression neuropathies in the form of a combination of local nerve thickening and impaired conduction at the tunnel level, and also provides new opportunities for differential diagnosis of vibration polyneuropathies.

Keywords: vibration disease; polyneuropathy; vibration polyneuropathy; compression neuropathies

Compliance with ethical standards. The study was carried out with the informed consent of the subjects and complies with the ethical standards of the Bioethical Committee of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, developed in accordance with the Declaration of Helsinki by the World Association "Ethical Principles for Conducting Scientific Research with Human Participation" as amended in 2013 and "Rules of Clinical Practice in the Russian Federation" approved by the Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 266 dated June 19, 2003.

For citation: Yamshchikova A.V., Gidayatova M.O., Fleishman A.N., Kungurova A.A. Analysis of disorders of the peripheral nervous system in vibration disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(7): 765-769. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-7-765-769> <https://elibrary.ru/jscnm> (in Russian)

For correspondence: Anastasia V. Yamshchikova, researcher of the applied neurophysiology laboratory of the Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Novokuznetsk, 654041, Russian Federation. E-mail: anastyam@bk.ru

Information about the authors:

Yamshchikova A.V., <https://orcid.org/0000-0002-6609-8923>
Fleishman A.N., <https://orcid.org/0000-0002-2823-4074>

Gidayatova M.O., <https://orcid.org/0000-0002-8003-036X>
Kungurova A.A., <https://orcid.org/0000-0002-6804-2966>

Contribution: Yamshchikova A.V. – the concept and design of the study, collection and processing of material, collection of literature data, statistical processing, writing a text; Gidayatova M.O. – collection and processing of material; Fleishman A.N. – editing; Kungurova A.A. – collection and processing of material. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

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

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: March 03, 2022 / Accepted: June 08, 2022 / Published: July 31, 2022

Введение

Особенности поражения периферических нервов при локальном воздействии вибрации изучаются много лет. Установлен преимущественно дистальный тип полинейропатии с преобладанием сенсорных нарушений при вибрационной болезни (ВБ) [1–4]. В то же время немногочисленные исследования показывают различную частоту развития компрессионных мононейропатий на фоне вибрационного поражения [5, 6]. Традиционно для выявления компрессионных нейропатий (КН) применяются клинический и электромиографический (ЭНМГ) методы исследования. Однако на фоне уже сформировавшейся дистальной полинейропатии данные методы утрачивают свою информативность: клиническая картина становится не столь однозначной, сравнительные методики ЭНМГ малоинформативны при симметричных сенсорных нарушениях. Последние годы в диагностике заболеваний периферической нервной системы получили широкое распространение методы нейровизуализации, такие как магнитно-резонансная томография (МРТ) и ультразвуковое исследование (УЗИ). Изучены УЗ-паттерны наследственных, димимунных полинейропатий, КН [7–13]. Вместе с тем опубликованы лишь единичные зарубежные работы, посвященные УЗИ нервов у пациентов с профессиональными заболеваниями [14, 15]. Согласно данным литературы, УЗ-признаками компрессии нервов считаются увеличение площади поперечного сечения нервов (ППС) проксимальнее места компрессии, снижение экзогенности (вплоть до анэхогенности), снижение или утрата дифференцировки на фасцикулы [7–9, 12, 13, 16]. Актуальность структурно-функционального анализа периферических нервов при профессиональных заболеваниях заключается в выявлении особенностей, позволяющих повысить возможности дифференциальной диагностики.

Цель исследования – изучить структурно-функциональные нарушения периферической нервной системы у шахтёров с вибрационной болезнью, возникшей вследствие воздействия локальной вибрации.

Материалы и методы

Обследованы 136 шахтёров с установленным диагнозом вибрационной болезни, возникшей по причине воздействия локальной вибрации, в возрасте от 48 до 56 лет ($Me = 53$ (49; 55) года), которые составили основную группу. Стаж работы с воздействием локальной производствен-

ной вибрации составил в среднем $25,6 \pm 6,2$ года. Все обследуемые – мужчины. Контрольная группа включала 60 человек близкого возраста ($Me = 51$ (48; 55) год), никогда не работавших в условиях воздействия производственной вибрации.

Критерии исключения из исследования: наличие системных и эндокринных заболеваний, вызывающих развитие полинейропатии непрофессионального генеза, травмы периферических нервов верхних конечностей в анамнезе, имплантированный электрокардиостимулятор.

Всем респондентам были проведены электронейромиографическое и ультразвуковое исследование верхних конечностей. ЭНМГ верхних конечностей выполняли на миографах Keypoint G-4 (Alpine Biomed, Дания) и «Нейро-ЭМГ-микро» (ООО «Нейрософт», Россия) по стандартной методике. Оценивали дистальные латентности (ДЛ, мс), моторные скорости проведения импульса (СПИМ, м/с), амплитуды моторных ответов (Ам, мВ), сенсорные скорости проведения импульса (СПИС, м/с), амплитуды сенсорных ответов (Ас, мкВ) срединных и локтевых нервов с двух сторон. УЗИ нервов проводили на портативном аппарате Mindray DP-50 (Китай) с использованием линейного датчика 10 МГц. У каждого обследуемого оценивали количественный показатель – площадь поперечного сечения (ППС, мм²) срединного и локтевого нервов (срединный нерв – запястье, предплечье, плечо; локтевой нерв – запястье, кубитальный канал, плечо).

Статистическую обработку данных осуществляли с использованием программы BioStat 2009. Проверку на характер распределения данных осуществляли с помощью теста Колмогорова–Смирнова. Данные представлены в виде медиан (Me) и квартилей (25%; 75%). Значимость различий признаков между группами оценивали с помощью непараметрического U -критерия Манна–Уитни (достоверными считались различия, уровень значимости которых отвечал условию $p < 0,05$), для определения взаимозависимости количественных показателей применяли вычисление коэффициента корреляции Спирмена (R). Силу корреляций оценивали как слабую при коэффициенте корреляции $< 0,3$; как среднюю – при $0,3–0,6$; как сильную – при $> 0,6$.

Результаты

При ЭНМГ-исследовании было выявлено изменение большинства показателей проведения по периферическим нервам в основной группе в сравнении с контрольной. Наи-

Таблица 1 / Table 1

Электронейромиографические показатели обследуемых групп, $Me (Q_1; Q_3)$
Electroneuromyographic indices of the examined groups, $Me (Q_1; Q_3)$

| Нерв Nerve | ЭНМГ-показатель Electroneuromyographic index | | Основная группа Main group $n = 136$ | | Контрольная группа Control group $n = 60$ | |
|--|--|---------------------|--|-------------------|---|-------------------|
| | | | справа / right side | слева / left side | справа / right side | слева / left side |
| Срединный Median nerve | ДЛ, мс Distal latency, ms | Справа / Right side | 4.1 (3.5; 4.6)* | | 3.3 (3.1; 3.7) | |
| | | Слева / Left side | 4.0 (3.6; 4.5)* | | 3.0 (2.9; 3.5) | |
| | СПИм (предплечье), м/с Motor conduction velocity (forearm), m/s | Справа / Right side | 50.0 (47.2; 53.0)* | | 54.0 (51.9; 55.4) | |
| | | Слева / Left side | 50.0 (48.0; 53.0)* | | 55.0 (53.1; 55.7) | |
| | Ам, мВ Motor response amplitude, mV | Справа / Right side | 7.5 (5.8; 9.8)* | | 8.5 (7.2; 10.0) | |
| | | Слева / Left side | 8.0 (6.1; 9.0)* | | 9.0 (8.8; 9.8) | |
| СПИС, м/с Sensor conduction velocity, m/s | Справа / Right side | 43.0 (38.0; 47.0)* | | 53.6 (51.0; 56.0) | | |
| | Слева / Left side | 43.0 (39.0; 46.5)* | | 54.0 (51.8; 56.0) | | |
| Ас, мкВ Sensor response amplitude, mkV | Справа / Right side | 10.0 (6.0; 16.0)* | | 15.0 (11.0; 22.1) | | |
| | Слева / Left side | 13.0 (8.0; 17.0)* | | 19.0 (13.0; 24.4) | | |
| Локтевой Ulnar nerve | ДЛ, мс Distal latency, ms | Справа / Right side | 3.1 (2.7; 3.5)* | | 2.8 (2.5; 3.2) | |
| | | Слева / Left side | 3.1 (2.9; 3.6)* | | 2.9 (2.7; 3.1) | |
| | СПИм (предплечье), м/с Motor conduction velocity (forearm), m/s | Справа / Right side | 55.3 (54.1; 57.2) | | 55.5 (53.6; 56.4) | |
| | | Слева / Left side | 54.2 (52.2; 56.3) | | 55.8 (53.5; 55.3) | |
| | СПИм (кубитальный канал), м/с Motor conduction velocity (cubital tunnel), m/s | Справа / Right side | 45.0 (41.0; 48.4)* | | 57.0 (53.5; 60.0) | |
| | | Слева / Left side | 43.0 (39.2; 47.8)* | | 55.6 (53.8; 57.3) | |
| | Ам, мВ Motor response amplitude, mV | Справа / Right side | 9.7(8.6;11.2) | | 10.5(9.6;12.0) | |
| | | Слева / Left side | 9.7 (8.5; 11.0) | | 9.6 (8.0; 11.5) | |
| | СПИС, м/с Sensor conduction velocity, m/s | Справа / Right side | 43.0 (39.0; 46.5)* | | 51.0 (50.0; 54.0) | |
| | | Слева / Left side | 43.1 (40.0; 47.0)* | | 51.5 (50.5; 54.1) | |
| Ас, мкВ Sensor response amplitude, mkV | Справа / Right side | 9.0 (5.0; 14.0)* | | 13.3 (10.7; 17.0) | | |
| | Слева / Left side | 9.0 (4.0; 15.7)* | | 12.1 (7.0; 16.0) | | |

Примечание. Здесь и в табл. 2: n – число обследуемых; * – статистически значимое различие показателей с контрольной группой по критерию Манна–Уитни (при $p < 0,05$).

Note: n – number of examined subjects; * – statistically significant difference in the indices with the control group according to the Mann–Whitney criterion (at $p < 0.05$).

более значимо были изменены показатели дистального проведения по срединному нерву, все сенсорные показатели, а также СПИм по локтевому нерву на уровне кубитального канала (табл. 1).

УЗИ нервов выявило увеличение ППС срединных нервов на уровне запястий и локтевых нервов на уровне кубитальных каналов в основной группе ($p < 0,05$) (табл. 2). Количественные структурные изменения в 100% сопровождались качественными: снижением экзогенности внутренней структуры нервов и уменьшением дифференцировки на фасцикулы.

Увеличение ППС нервов в основной группе коррелировало с изменёнными ЭНМГ-показателями на одном и том же уровне исследования (см. рисунок).

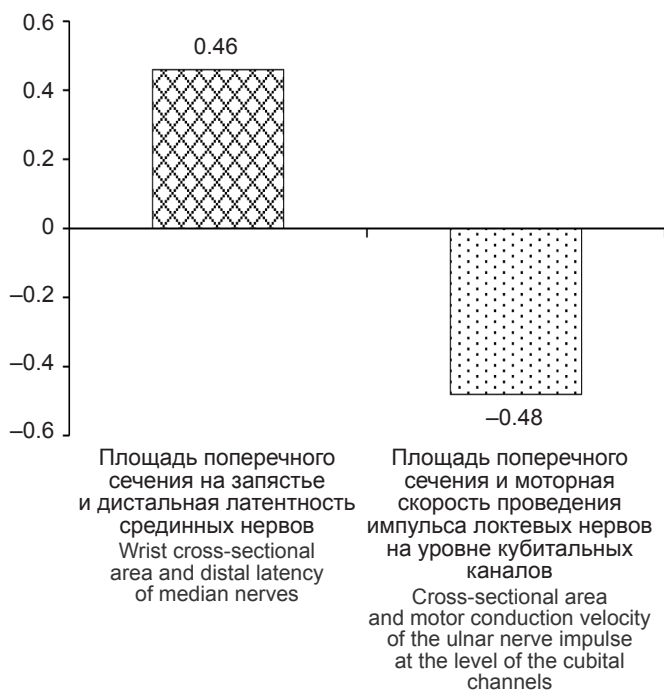
Анализ ЭНМГ- и УЗ-данных каждого пациента основной группы позволил выделить следующие формы нейропатий при ВБ:

1. Полинейропатии без компрессионных нейропатий диагностировались при наличии изменённых параметров ЭНМГ и отсутствии изменений при УЗИ нервов у 72 человек из 136 (52,9%).

Таблица 2 / Table 2

Площади поперечного сечения периферических нервов верхних конечностей, $Me (Q_1; Q_3)$
Cross-sectional areas of peripheral nerves of the upper extremities in the groups of test subjects, $Me (Q_1; Q_3)$

| Нерв Nerve | Точка измерения площади поперечного сечения, мм ² Measuring point of cross-sectional area, mm ² | Основная группа / Main group $n = 136$ | | Контрольная группа / Control group $n = 60$ | |
|---------------------------|--|---|-------------------|--|-------------------|
| | | справа / right side | слева / left side | справа / right side | слева / left side |
| Срединный Median nerve | Запястье / Wrist | 9 (8; 11)* | 9 (8; 10)* | 8 (7; 9) | 9 (8; 9) |
| | Предплечье / Forearm | 7 (6; 8) | 8 (7; 9) | 8 (7; 8) | 7 (7; 8) |
| | Плечо / Shoulder | 8 (7; 9) | 9 (8; 10) | 8 (7; 9) | 8 (8; 9) |
| Локтевой Ulnar nerve | Запястье / Wrist | 5 (5; 6) | 6 (5; 6) | 5 (5; 5) | 5 (5; 6) |
| | Кубитальный канал / Cubital tunnel | 8.5 (7; 10)* | 9 (8; 10.5)* | 8 (7; 8) | 8 (7.5; 9) |
| | Плечо / Shoulder | 8 (7; 8) | 8 (7; 9) | 7 (6; 8) | 8 (8; 9) |



Корреляционная зависимость изменённых ультразвуковых и электромиографических показателей у пациентов основной группы по критерию Спирмена (R).

Correlation dependence of altered ultrasound and electroneuromyographic indices in the patients of the main group according to Spearman's criterion (R).

2. Полинейропатии с компрессионными нейропатиями диагностировались при сочетании изменённых показателей УЗИ и ЭНМГ на одном уровне (47,1%):

- сочетание одностороннего увеличения ППС срединного нерва на запястье и ДЛ срединного нерва трактовалось как компрессия срединного нерва на уровне карпального канала у 15 из 136 человек (11%);
- сочетание одностороннего увеличения ППС локтевого нерва на уровне кубитального канала и снижения СПИМ по локтевому нерву на том же уровне трактовалось как компрессия локтевого нерва в кубитальном канале у 27 из 136 человек (20%);
- сочетание нескольких КН (двусторонние либо сочетание синдромов карпального и кубитального каналов) – у 22 из 136 человек (16,1%); из них у 15 человек выявлялось сочетание разных туннельных синдромов, у 7 человек – двусторонние изменения по одному нерву.

Сенсорная полинейропатия выявлялась у 100% пациентов.

Обсуждение

Анализ функционального состояния периферических нервов верхних конечностей у пациентов с ВБ в представленной работе показал преобладание дистальных нарушений моторного и сенсорного проведения, что согласуется с данными, полученными ранее другими исследователями [1–4]. Сонографические характеристики периферических нервов верхних конечностей при ВБ ранее не изучались, однако имеются данные о диффузном утолщении нервов при дизиммунных и наследственных полинейропатиях [17–19]. Анализ структурных нарушений нервов в выборке пациентов с ВБ выявил локальные утолщения нервов в области анатомических туннелей (карпального и кубитального) в сочетании с качественными изменениями внутренней структуры (гипо-, анэхогенность, отсутствие дифференцировки на фасцикулы), что, согласно данным литературы [7, 8, 12, 13], трактуется как компрессионное поражение нервов. В то же время диффузного утолщения нервов при ВБ не было выявлено, что даёт дополнительный инструмент для дифференциальной диагностики с наследственными и дизиммунными полинейропатиями.

Комплексный структурно-функциональный анализ показал, что изменения ЭНМГ- и УЗ-показателей на уровне карпального и кубитального каналов обнаруживают корреляции средней силы. Комплексный подход позволил определить у шахтёров с ВБ высокую частоту компрессионных нарушений, которые развивались в 47,1% случаев в данной выборке пациентов.

Ограничение исследования определяется изучением электрофизиологических и сонографических характеристик периферических нервов у 136 пациентов с ВБ, обусловленной воздействием локальной вибрации.

Заключение

У шахтёров с ВБ выявлены функциональные нарушения периферических нервов в виде преобладающего дистального нарушения моторного и сенсорного проведения. Структурные нарушения представлены локальными утолщениями нервов на уровне анатомических туннелей. Комплексное электромиографическое и ультразвуковое исследование нервов верхних конечностей у пациентов с ВБ позволяет выявить компрессионные нейропатии в виде сочетания локального утолщения нерва и нарушения проведения на уровне туннеля. Компрессионные нейропатии у шахтёров с ВБ определяются в 47,1% случаев: односторонний синдром кубитального канала – в 20%, односторонний синдром карпального канала – в 11%, а также сочетание компрессионных нейропатий – в 16,1%. Отсутствие диффузного утолщения нервов при ВБ, по данным ультразвукового исследования, определяет дополнительные возможности дифференциальной диагностики вибрационных и некоторых других полинейропатий, протекающих с диффузным утолщением нервов (дизиммунные, наследственные IA типа).

Литература

(п.п. 7–19 см. References)

1. Фаздалова М.Р., Хайруллина Л.Х. Полинейропатия от воздействия производственной вибрации и физических перегрузок. *Трансляционная медицина*. 2018; 5(S3): 356.
2. Русанова Д.В., Васильева Л.С., Сливницкая Н.В., Лахман О.Л. Определение функционального состояния периферической нервной системы у пациентов с вибрационной болезнью по показателям электромиографии. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1119–23. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1119-1123>
3. Русанова Д.В., Лахман О.Л. Состояние центральных и периферических проводящих структур у пациентов с вибрационной болезнью. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090>
4. Гидаева М.О., Ямщикова А.В., Флейшман А.Н. Клинико-электромиографическое исследование у шахтёров с профессиональной полинейропатией верхних конечностей. *Гигиена и санитария*. 2019; 98(7): 713–17. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-713-717>
5. Жулёв С.Н. *Ранняя диагностика и лечение основных форм невропатий (диабетических, компрессионно-ишемических, вибрационных)*. СПб.; 2010.
6. Кирьяков В.А., Желова А.В., Алиев А.Ф., Крылова И.В., Сухова А.В. Совершенствование лечебно-профилактических мероприятий у горнорабочих при вибрационной патологии, осложненной туннельными невропатиями верхних конечностей. *Медицина труда и промышленная экология*. 2011; (1): 34–8.

References

- Fazdalova M.R., Khayrullina L.Kh. Polyneuropathy from exposure to industrial vibration and physical overload. *Translyatsionnaya meditsina*. 2018; 5(S3): 356. (in Russian)
- Rusanova D.V., Vasil'eva L.S., Slivnitsyna N.V., Lakhman O.L. Determination of the functional state of the peripheral nervous system in patients with vibration disease by electroneuromiography indices. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1119–23. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1119-1123> (in Russian)
- Rusanova D.V., Lakhman O.L. The state of the central and peripheral conductive structures in patients with vibration disease. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(10): 1085–90. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1085-1090> (in Russian)
- Gidayatova M.O., Yamshchikova A.V., Fleyshman A.N. Clinico-electroneuromyographic study in miners with occupational polyneuropathy of the upper extremities. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2019; 98(7): 713–17. <https://doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-7-713-717> (in Russian)
- Zhulev S.N. *Early Diagnosis and Treatment of the Main Forms of Neuropathies (Diabetic, Compression-Ischemic, Vibration) [Rannyya diagnostika i lechenie osnovnykh form nevroptiy (diabicheskikh, kompressionno-ishemicheskikh, vibratsionnykh)]*. St. Petersburg; 2010. (in Russian)
- Kiryakov V.A., Zheglova A.V., Aliev A.F., Krylova I.V., Sukhova A.V. Improving diagnosis and treatment of tunnel upper limb neuropathies in miners with vibration disease. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2011; (1): 34–8. (in Russian)
- Volpe A., Rossato G., Bottanelli M., Marchetta A., Caramaschi P., Bambara L.M., et al. Ultrasound evaluation of ulnar neuropathy at the elbow: correlation with electrophysiological studies. *Rheumatology (Oxford)*. 2009; 48(9): 1098–101. <https://doi.org/10.1093/rheumatology/kep167>
- Billakota S., Hobson-Webb L.D. Standard median nerve ultrasound in carpal tunnel syndrome: A retrospective review of 1,021 cases. *Clin. Neurophysiol. Pract.* 2017; 2: 188–91. <https://doi.org/10.1016/j.cnp.2017.07.004>
- Fu T., Cao M., Liu F., Zhu J., Ye D., Feng X., et al. Carpal tunnel syndrome assessment with ultrasonography: value of inlet-to-outlet median nerve area ratio in patients versus healthy volunteers. *PLoS ONE*. 2015; 10(1): e0116777. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0116777>
- Devi M., Meena A. Role of ultrasonography in evaluation of peripheral nerves. *Open J. Internal. Med.* 2018; 8(4): 232–47. <https://doi.org/10.4236/ojim.2018.84022>
- Gallardo E., Noto Y., Simon N.G. Ultrasound in the diagnosis of peripheral neuropathy: structure meets function in the neuromuscular clinic. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2015; 86(10): 1066–74. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-309599>
- Hobson-Webb L.D., Juel V.C. Common entrapment neuropathies. *Continuum (Minneapolis)*. 2017; 23(2): 487–511. <https://doi.org/10.1212/CON.0000000000000452>
- Choi S.J., Ahn J.H., Ryu D.S., Kang C.H., Jung S.M., Park M.S., et al. Ultrasonography for nerve compression syndromes of the upper extremity. *Ultrasonography*. 2015; 34(4): 275–91. <https://doi.org/10.14366/usg.14060>
- Liu Y.Z., Ye Z.H., Yang W.L., Zhu J.X., Lu Q.J., Su W.L. Carpal canal ultrasound examination in patients with mild hand-arm vibration disease. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2016; 34(8): 608–11. <https://doi.org/10.3760/cma.j.issn.1001-9391.2016.08.013> (in Russian)
- Maimaiti N., Liu Y.Z., Xu X.R., Lu Q.J., Ye Z.H., Li Z.M., et al. Diagnostic value of high-frequency ultrasonography in testing carpal canal structure in patients with occupational hand-arm vibration disease. In: *Proceeding of the 14th International Conference on Hand-Arm Vibration*. Berlin; 2019: 43–4. https://www.dguv.de/medien/ifa/de/vera/2019_hav/hav_2019_abstracts.pdf
- Georgiev G.P., Karabinov V., Kotov G., Iliev A. Medical ultrasound in the evaluation of the carpal tunnel: a critical review. *Cureus*. 2018; 10(10): e3487. <https://doi.org/10.7759/cureus.3487>
- Goedee S.H., Brekelmans G.J.F., van den Berg L.H., Visser L.H. Distinctive patterns of sonographic nerve enlargement in Charcot-Marie-Tooth type 1A and hereditary neuropathy with pressure palsies. *Clin. Neurophysiol.* 2015; 126(7): 1413–20. <https://doi.org/10.1016/j.clinph.2014.08.026>
- Kerasnoudis A. Nerve ultrasound in a case of chronic inflammatory demyelinating neuropathy. *Muscle Nerve*. 2013; 47(3): 443–6. <https://doi.org/10.1002/mus.23624>
- Noto Y., Shiga K., Tsuji Y., Mizuta I., Higuchi Y., Hashiguchi A., et al. Nerve ultrasound depicts peripheral nerve enlargement in patients with genetically distinct Charcot-Marie-Tooth disease. *J. Neurol. Neurosurg. Psychiatry*. 2015; 86(4): 378–84. <https://doi.org/10.1136/jnnp-2014-308211>