

© СУХОВА А.В., ПРЕОБРАЖЕНСКАЯ Е.А., 2023

Сухова А.В., Преображенская Е.А.

Особенности профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации

ФБУН «Федеральный научный центр гигиены имени Ф.Ф. Эрисмана» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 141014, Мытищи, Россия

Введение. Для большинства современных производств характерно одновременное воздействие шума с другими, усугубляющими его действие, факторами.

Цель исследования — определить особенности профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации.

Материал и методы. Проведена сравнительная оценка уровня профессионального риска и аудиометрических показателей в 3 группах работников: 1-я группа ($n = 210$) — подвергалась воздействию шума, 2-я ($n = 170$) — шума и локальной вибрации, 3-я ($n = 200$ человек) — шума и общей вибрации.

Результаты. У работников 1-й группы профессиональная потеря слуха диагностирована достоверно ($p < 0,05$) реже по сравнению с рабочими 2-й и 3-й групп (7% против 14 и 13% соответственно). Сочетанное воздействие шума и вибрации повышает риск профессиональной потери слуха в 1,82–1,85 раза ($RR = 1,82–1,85$; $EF = 45–46\%$). Выявлены аудиологические особенности поражения слухового анализатора в зависимости от наличия и характера воздействующей вибрации, проявляющиеся изменениями порогов слуха в определённых спектрах частот и их комбинацией. По данным речевой аудиометрии выявлено нарушение разборчивости речи с наличием рече-тональной диссоциации у рабочих 2-й и 3-й групп, свидетельствующее о нарушениях в центральном отделе слухового анализатора.

Ограничение исследования: изучение особенностей профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации у работников горнодобывающей промышленности по аудиометрическим показателям.

Заключение. Проведённые исследования показали необходимость разработки индивидуальных программ сохранения слуха с учётом степени риска и выявленных особенностей формирования профессиональной потери слуха. Изучение воздействия шума и вибрации на потерю слуха требует углублённых исследований с учётом интенсивности и продолжительности воздействия вибрации, вида виброгенерирующего оборудования.

Ключевые слова: шум; вибрация; комбинированное воздействие шума и вибрации; горнодобывающая промышленность; профессиональная потеря слуха; профессиональный риск; аудиологические показатели

Соблюдение этических стандартов. Исследования проведены с соблюдением требований конфиденциальности персональных данных, этических норм и принципов проведения медицинских исследований с участием человека, изложенных в Хельсинкской декларации Всемирной медицинской ассоциации (2013 г.). Обследованные работники дали добровольное информированное согласие на участие в исследовании. Программа исследования одобрена Комитетом по биомедицинской этике ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора (протокол № 16 от 18.02.2021).

Для цитирования: Сухова А.В., Преображенская Е.А. Особенности профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации. *Здравоохранение Российской Федерации*. 2023; 67(6): 570–576. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2023-67-6-570-576> <https://elibrary.ru/gcxplv>

Для корреспонденции: Сухова Анна Владимировна, доктор мед. наук, гл. науч. сотр., зав. отделением разработки методов восстановительного лечения и медицинской реабилитации ФБУН «Федеральный научный центр гигиены им. Ф.Ф. Эрисмана» Роспотребнадзора, 141014, Мытищи. E-mail: annasukhova-erisman@yandex.ru

Участие авторов: Сухова А.В. — концепция исследования, написание текста, работа с литературными источниками, редактирование; Преображенская Е.А. — концепция исследования, сбор и обработка материала, написание текста, редактирование. Все соавторы — утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех частей статьи.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила 10.09.2023

Принята в печать 11.10.2023

Опубликована 23.12.2023

© SUKHOVA A.V., PREOBRAZHENSKAYA E.A., 2023

Anna V. Sukhova, Elena A. Preobrazhenskaya

Features of professional hearing loss with combined exposure to noise and vibration

Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation

For most modern industries, there is characteristic the simultaneous impact of noise with other factors aggravating its effect.

The purpose of the study is to determine the features of occupational hearing loss in the combined effects of noise and vibration.

Materials and methods. A comparative assessment of the level of occupational risk and audiometric indicators was carried out in three groups of employees: 1st group (210 people) — is exposed to noise, 2nd group (170 people) — to noise and local vibration, 3rd group (200 people) — to noise and general vibration.

Results. In group 1 workers exposed to isolated noise, occupational hearing loss was diagnosed significantly less frequently compared to group 2 and 3 including workers exposed to combined noise and vibration (7% vs. 14 and 13%, respectively, $p < 0.05$). Combined exposure to noise and vibration increases the risk of occupational hearing loss by 1.82–1.85 times (RR = 1.82–1.85; EF = 45–46%). Audiological features of the lesion of the auditory analyzer have been revealed depending on the presence and nature of the affecting vibration, manifested by changes in hearing thresholds in certain frequency spectra and their combination. According to the data of speech audiometry, a violation of speech intelligibility with the presence of speech-tonal dissociation was revealed in workers of groups 2 and 3, indicating violations in the central department of the auditory analyzer.

Limitations of the study. The study is limited to the study of the features of occupational hearing loss in the combined effects of noise and vibration in mining workers according to audiometric indicators.

Conclusion. The conducted studies have shown the need to develop individual programs for the preservation of hearing, taking into account the degree of risk and the identified features of the formation of occupational hearing loss. The topic of research on the effects of noise and vibration on hearing loss requires in-depth research, taking into account the intensity and duration of vibration exposure, the type of vibration generating equipment.

Keywords: noise; vibration; combined effects of noise and vibration; mining industry; occupational hearing loss; occupational risk; audiological indicators

Compliance with ethical standards. The studies were conducted in compliance with the requirements of confidentiality of personal data, ethical standards and principles of conducting medical research with human participation, set out in the Helsinki Declaration of the World Medical Association (ed. 2013). Written consent of the surveyed employees was obtained to participate in the study. The research program was approved by the Committee on Biomedical Ethics of the Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman[®] of Rosпотребнадзор (Protocol No. 16 of February 18, 2021).

For citation: Sukhova A.V., Preobrazhenskaya E.A. Features of professional hearing loss with combined exposure to noise and vibration. *Zdravookhranenie Rossiiskoi Federatsii (Health Care of the Russian Federation, Russian journal)*. 2023; 67(6): 570–576. <https://doi.org/10.47470/0044-197X-2023-67-6-570-576> <https://elibrary.ru/gcxplv> (in Russian)

For correspondence: Anna V. Sukhova, MDr., Head of the Department of development of methods of restorative treatment and medical rehabilitation, Federal Scientific Center of Hygiene named after F.F. Erisman of the Federal Service for Supervision in Protection of the Rights of Consumer and Man Wellbeing, Mytishchi, 141014, Russian Federation. E-mail: annasukhova-erisman@yandex.ru

Information about the authors:

Sukhova A.V., <https://orcid.org/0000-0002-1915-1138>

Preobrazhenskaya E.A., <https://orcid.org/0000-0003-1941-0491>

Contribution of the authors: Sukhova A.V. — research concept, writing text, working with literary sources, editing; Preobrazhenskaya E.A. — the concept of research, collection and processing of material, writing text, editing. All co-authors — approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article.

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

Acknowledgment. The study had no sponsorship.

Received: September 10, 2023

Accepted: October 11, 2023

Published: December 23, 2023

Введение

Шум является одним из самых распространённых вредных факторов, а профессиональная нейросенсорная тугоухость (ПНСТ) — часто регистрируемая форма профессиональной патологии.

Для большинства современных производств характерно одновременное воздействие шума с другими, усугубляющими его действие, факторами. Наиболее значимое влияние на развитие ПНСТ оказывают сочетания шума с вибрацией, нервно-эмоциональным и физическим напряжением, нагревающим микроклиматом, токсическими веществами [1–3].

Доля рабочих мест на промышленных предприятиях, не соответствующих гигиеническим нормативам по шуму и вибрации, за последние годы снизилась до 14 и 6% соответственно. Тем не менее в структуре профессиональной патологии заболевания от воздействия физических факторов на протяжении многих лет занимают лидирующие позиции и составляют 42,17%. Наибольшая доля всех случаев заболеваний в данной группе приходится на заболевания, связанные с воздействием производственного шума, — 53,03%, на вибрационную болезнь — 46,82% от количества всех случаев заболеваний в данной группе¹. Наиболее остро данная проблема стоит в ведущих отраслях экономики: горнорудной, машиностроительной, нефтедобывающей, предприятиях транспорта и связи [1, 4–7].

Группой риска, постоянно подверженной воздействию комплекса неблагоприятных производственных факторов, в том числе шума и вибрации, являются рабочие горнодобывающей промышленности [8, 9]. Нередко в этих профессиональных группах работников выявляются сочетанные формы профессиональной патологии, связанные с воздействием шума и вибрации, — ПНСТ и вибрационная болезнь [7, 8].

Большинство научных исследований посвящено изучению специфических эффектов воздействия шума и вибрации на органы мишени, т.е. воздействия шума на орган слуха, воздействие вибрации на нервную и сосудистую систему [10], при этом комбинированное воздействие шума и вибрации на состояние органа слуха изучено недостаточно, что обуславливает необходимость проведения исследований по оценке их сочетанного действия.

Цель исследования — выявить особенности профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации.

Материал и методы

Проведено клинико-аудиологическое обследование 580 работников горнодобывающей промышленности, которые в процессе трудовой деятельности подвергаются воздействию шума и вибрации. Выделены три группы работников в зависимости от комбинации действующих факторов. Первую группу ($n = 210$) составили рабочие «шумовых» профессий, подвергающиеся воздействию шума интенсивностью 88–93 дБА (класс 3.2) и не имеющие контакта с производственной вибрацией (дробильщики, машинисты мельниц, машинисты насосных установок).

Вторая группа ($n = 170$) состояла из подземных горнорабочих (проходчики, горнорабочий очистного забоя),

подвергающихся комбинированному воздействию шума с эквивалентным уровнем до 95 дБА (класс 3.2) и локальной вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (класс 3.1–3.2). В 3-ю группу ($n = 200$) вошли подземные горнорабочие (машинисты погрузочно-доставочных машин, машинисты вибропогрузочных машин, бурильщики), подвергающиеся сочетанному воздействию шума с эквивалентным уровнем 88–93 дБА (класс 3.2) и общей вибрации, превышающей предельно допустимый уровень (класс 3.1–3.2).

Все обследованные — лица мужского пола. Сравнимые группы были сопоставимы по возрасту и стажу работы. Средний возраст — $42,5 \pm 3,74$ года, средний стаж — $18,5 \pm 3,8$ года.

Критерии включения: работники, подвергающиеся воздействию шума и вибрации выше предельно допустимого уровня. Критерии исключения: тяжёлая артериальная гипертензия, присутствие в анамнезе перенесённых черепно-мозговых травм, острых нарушений мозгового кровообращения, приёма ототоксичных препаратов.

Для определения влияния вибрации на формирование профессиональной патологии слуха определяли относительный риск (RR) и этиологическую долю (EF) в соответствии с Руководством Р 2.2.1766–03². При этом сравнивали группы работников, подвергающихся воздействию шума и вибрации, и группу работников, подвергающихся только воздействию шума.

Состояние слуха оценивали по данным тональной пороговой аудиометрии (клинический аудиометр "GSI-61", Grason Stadler Inc.). Определяли пороги разборчивости речи с помощью речевой аудиометрии с использованием усилительной и звукопередающей системы аудиометра.

Оценку степени снижения слуха проводили в соответствии с классификацией потери слуха, вызванной шумом [11]. Учитывали признаки воздействия шума на орган слуха (ПВШ), ПНСТ разной степени выраженности.

Статистическую обработку результатов осуществляли с помощью программ Microsoft Excel, Statistica v. 10.0. Для оценки достоверности различий использовали критерий Пирсона χ^2 .

Результаты

Клинико-аудиологическое обследование позволило установить особенности формирования патологии слухового анализатора в сравниваемых группах в зависимости от наличия и характера воздействующей вибрации (рис. 1).

Аудиологическое обследование работников 1-й группы выявило нарушение функции слухового анализатора у 30,0% обследованных; ПВШ обнаружены у 23,0%, ПНСТ — у 7%, что достоверно ($p < 0,05$) реже, чем у работников 2-й и 3-й групп. В структуре тугоухости преобладали лёгкие формы (ПНСТ 1 степени). Умеренных и выраженных нарушений слуха профессиональной этиологии, соответствующих ПНСТ 2 и 3 степени, у рабочих этой группы не выявлено, хотя среди обследованных были работники со стажем более 30 лет.

У работников 2-й группы понижение слуха выявлялось чаще, чем в других профессиональных группах (42%). Из них большинство лиц имели начальные проявления заболевания в виде ПВШ на орган слуха (28%). ПНСТ

¹ О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2021 году: Государственный доклад. М.: Федеральная служба по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 2022. 340 с.

² Р 2.2.1766–03. Руководство по оценке профессионального риска для здоровья работников. Организационно-методические основы, принципы и критерии оценки. Федеральный центр гигиены и эпидемиологии Роспотребнадзора. М., 2004. 4 с.

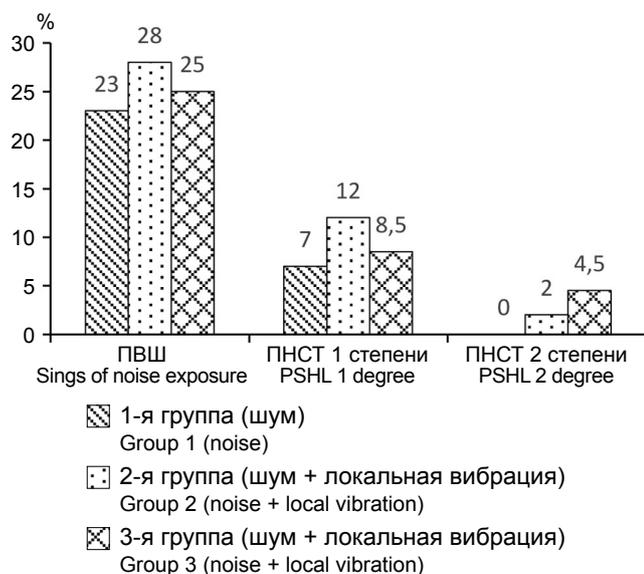


Рис. 1. Распространённость профессиональной потери слуха по данным аудиометрии.

Fig. 1. Prevalence of occupational hearing loss according to audiometry data.

PSHL — professional sensorineural hearing loss.

установлена в 14% случаев, при этом 12% составила ПНСТ 1 степени и 2% — ПНСТ 2 степени

В 3-й группе патология слухового анализатора диагностирована у 38% работников, из них ПВШ — в 25% случаев, ПНСТ 1 степени — в 8,5%, ПНСТ 2 степени — в 4,5%.

Сравнительный анализ абсолютного риска потери слуха, вызванной шумом, выявил статистически значимое увеличение риска развития ПНСТ в 2-й группе. Расчёт величин относительного риска позволил определить степень влияния вибрации на формирование профессиональной патологии органа слуха (таблица).

Установлено, что вибрация потенцирует действие шума на орган слуха и повышает риск профессиональной потери слуха. Относительный риск потери слуха с развитием ПНСТ у работников 2-й группы был выше, чем у работников 1-й группы, в 1,85 раза ($RR = 1,85$; $EF = 46\%$; $\chi^2 = 4,2$; $p < 0,05$), а у работников 3-й группы — в 1,82 раза ($RR = 1,82$; $EF = 45\%$; $\chi^2 = 3,84$; $p < 0,05$).

Этиологическая доля локальной вибрации в формировании профессиональной потери слуха составляет 46%, общей вибрации — 45%.

Достоверной разницы в показателях риска формирования донозологической стадии потери слуха, соответствующей ПВШ, между сравниваемыми группами не установлено.

Особенностью поражения слухового анализатора, по данным тональной пороговой аудиометрии, у рабочих 1-й группы является преимущественно «изолированное» понижение слуховой чувствительности на одну из высоких частот (3000, 4000, 6000 Гц), характерное для начальной стадии формирования профессиональной тугоухости, соответствующей ПВШ (рис. 2, а).

Поражения слухового анализатора при сочетанном воздействии шума и локальной вибрации характеризуются формированием «двускатных» аудиометрических кривых (в 30% случаев) с повышением тональных порогов как на высоких (3000–8000 Гц), так и на низких (125, 250 Гц) частотах, что указывает на наличие патологического процесса в базальном и апикальном участках улитки (рис. 2, б).

Сочетанное воздействие шума и общей вибрации приводит к более выраженному нарушению слуха в диапазоне речевых частот. Прогрессирование тугоухости у работников 3-й группы сопровождалось не столько дальнейшим понижением слуха в зоне высоких частот и углублением «провала» на аудиограмме, сколько диффузным распространением патологического процесса на тоны 500, 1000, 2000 Гц с формированием пологонисходящего типа кривых (рис. 2, в).

С целью дифференциальной и топической диагностики центральных нарушений слуха проведена речевая аудиометрия. Исследование соотношения между величинами средних потерь слуха на тоны 500–2000 Гц и повышения порогов 50% и 100% разборчивости речи у обследованных лиц показало, что средние речевые пороги равнялись тональным или несколько превышали их, что подтверждало нейросенсорный характер снижения слуха.

Вместе с тем у рабочих 2-й и 3-й групп наблюдалась тенденция к большему нарушению разборчивости речи по сравнению с работниками 1-й группы, о чём свидетельствует рече-тональная диссоциация в сторону «речь хуже тонов», что говорит о заинтересованности центральных отделов слухового анализатора. В то же время отсутствие выраженной (свыше 10 дБ) диссоциации тональных и речевых порогов говорит в пользу функциональных, а не органических изменений в центральных отделах.

Относительный риск потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации

Relative risk of hearing loss with combined exposure to noise and vibration

Показатель Indicator	ПВШ Signs of noise exposure	ПНСТ Occupational sensorineural hearing loss
Распространённость потери слуха, % Diffuse hearing loss, %:		
1-я группа 1 st group	23,0	7,0
2-я группа 2 nd group	28,0	14,0
3-я группа 3 rd group	25,0	13,0
Относительный риск потери слуха, обусловленный локальной вибрацией Relative risk of hearing loss due to local vibration	$RR = 1,24$ $EF = 19\%$ $\chi^2 = 1,17$ $p > 0,05$	$RR = 1,85$ $EF = 46\%$ $\chi^2 = 4,2$ $p < 0,05$
Относительный риск потери слуха, обусловленный общей вибрацией Relative risk of hearing loss due to general vibration	$RR = 1,09$ $EF = 9\%$ $\chi^2 = 1,05$ $p > 0,05$	$RR = 1,82$ $EF = 45\%$ $\chi^2 = 3,84$ $p < 0,05$

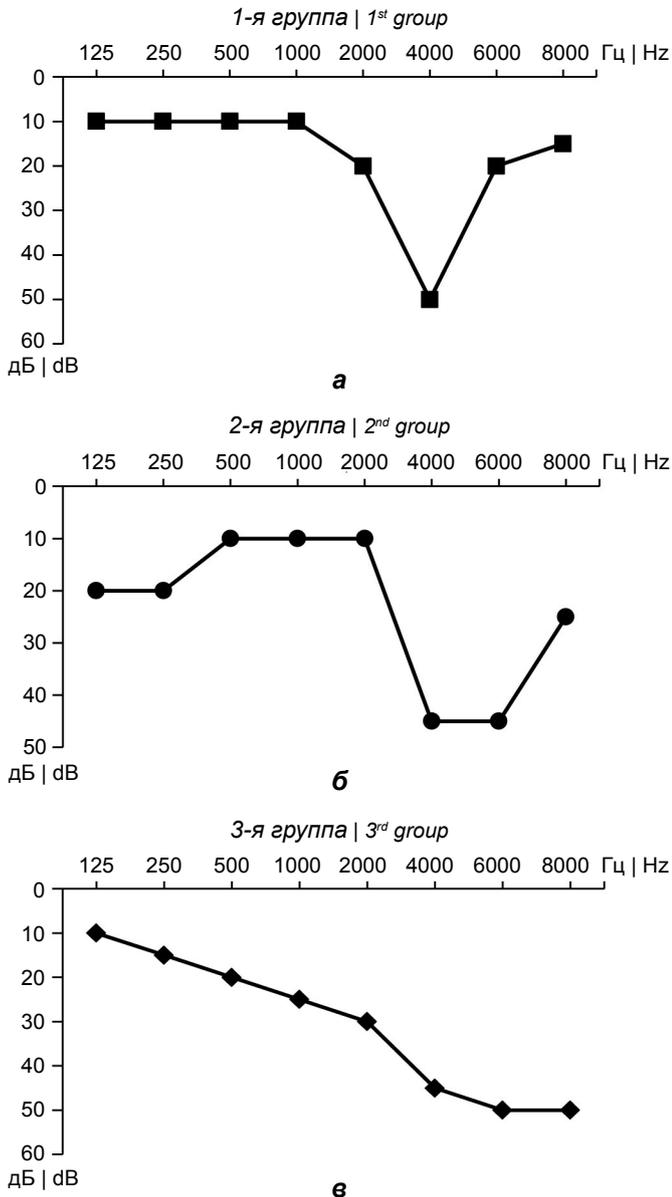


Рис. 2. Тип аудиометрической кривой, характерный для работников 1-й (а), 2-й (б) и 3-й (в) групп.

Fig. 2. The type of audiometric curve typical for employees of the 1st (a), 2nd (b), 3rd (c) groups.

Обсуждение

В исследованиях, посвящённых комбинированному воздействию шума и вибрации, вибрационный фактор рассматривается как возможный фактор риска развития потери слуха [2, 12]. Из 7 исследований, посвящённых сочетанному действию вибрации и шума, в 6 установлено, что действие вибрации и наличие вибрационной болезни у работника являются факторами риска формирования потери слуха, вызванной производственным шумом. У работников, имеющих нарушения микроциркуляции, частным случаем которых является вибрационная болезнь, выше вероятность формирования потери слуха, вызванной шумом [13].

В многомерном анализе профессиональных и непрофессиональных факторов риска, влияющих на потерю слуха, установлена статически значимая коррекционная

связь между потерей слуха и воздействием вибрации (отношение шансов OR = 1,53 (95% ДИ 1,02–2,30). Сочетанное воздействие опасных факторов на фоне длительного воздействия шума повышало риск потери слуха [3].

Работа с виброгенерирующим оборудованием в условиях воздействия шума у работников тяжёлого машиностроения увеличивает риск потери слуха [14]. Работники автомобильной промышленности, подвергавшиеся комбинированному воздействию шума и локальной вибрации, имели более высокий риск потери слуха, чем те, кто подвергался воздействию только шума [15].

Вибрация, вызывающая синдром белых пальцев, увеличивает риск потери слуха среди работников, которые используют ручные вибрирующие инструменты в шумной среде [16], при этом подтверждена большая потеря слуха как на высоких, так и на низких частотах [17, 18].

В некоторых исследованиях не обнаружено различий в аудиометрических показателях у работников, которые подвергаются воздействию шума и одновременному воздействию шума и общей вибрации [19, 20]. Комбинированное действие шума и вибрации вызывает значимые функциональные сдвиги и ускоренное развитие патологических изменений в организме. Вибрация оказывает не только прямое, но и опосредованное влияние на орган слуха [17].

Установленные в нашем исследовании аудиологические особенности потери слуха обусловлены спектральными характеристиками воздействующего шума и сочетанием его с вибрацией, оказывающих не только прямое влияние на орган слуха, но и опосредованное действие, вызывая изменения в сердечно-сосудистой системе и центральной нервной системе с вовлечением коркового звена слухового анализатора [21, 22].

Предполагаемыми механизмами, лежащими в основе повышенной потери слуха у лиц, подвергающихся одновременному воздействию шума и локальной вибрации, являются спазм сосудов улитки, приводящий к снижению кровотока и ишемическому повреждению волосковых клеток, развитие автономных сосудистых рефлексов, в основе которых лежит гиперчувствительность артерий к катехоламинам [23].

В выяснении роли вибрации в патогенезе ПНСТ большое значение имеют экспериментальные исследования. В эксперименте на кроликах по изучению слуховую функции внешних волосковых клеток установлено, что при действии вибрации страдают прежде всего рецепторные клетки верхнего завитка улитки, отвечающие за восприятие низких частот [24], общая вибрация вызывает дистрофические изменения в виде отёка и вакуолизации, пикноза ядер волосковых клеток улитки [25].

Шумовибрационное воздействие вызывает также значительные сдвиги биохимического состава клетки: уменьшение окислительно-восстановительных ферментов, щелочной фосфатазы, гликогена, нуклеиновых кислот и других элементов [23].

Наши исследования позволяют сделать вывод о том, что вибрация способна sensibilizировать и потенцировать действие шума на орган слуха, хотя и не является адекватным раздражителем слухового анализатора.

Ограничения исследования. Исследование ограничено изучением особенностей профессиональной потери слуха при комбинированном воздействии шума и вибрации у работников горнодобывающей промышленности по аудиометрическим показателям.

Заключение

1. У работников горнодобывающих предприятий, подвергающихся комбинированному воздействию шума и вибрации, профессиональная потеря слуха выявлялась достоверно чаще, чем у работников, подвергающихся воздействию только шума. Сочетанное воздействие шума и вибрации повышает риск профессиональной потери слуха в 1,82–1,85 раза (EF = 45–46%).

2. Выявлены аудиологические особенности поражения слухового анализатора при комбинированном воздействии шума и вибрации, проявляющиеся повышением порогов слуха на высоких (3000–8000 Гц) и низких (125–250 Гц) частотах при воздействии шума и локальной вибрации, и дополнительными повышением порогов слуха в области речевых частот (500–2000 Гц) при воздействии шума и общей вибрации.

3. При комбинированном воздействии шума и вибрации отмечалось более выраженное нарушение разборчивости речи, что подтверждается наличием рече-тональной диссоциации по данным речевой аудиометрии.

4. Проведённые исследования показали необходимость разработки индивидуальных программ сохранения слуха с учётом степени риска профессиональной потери слуха и выявленных аудиологических особенностей.

5. Тема исследований воздействия шума и вибрации на потерю слуха требует углублённых исследований с учётом интенсивности и продолжительности воздействия вибрации, вида виброгенерирующего оборудования.

ЛИТЕРАТУРА

(п.п. 2, 3, 12, 14–20, 23–25 см. References)

1. Панкова В.Б., Вильк М.Ф., Зибарев Е.В., Федина И.Н. К вопросу учёта новых факторов в патогенезе профессиональной потери слуха (на примере работников транспорта). *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(8): 488–500. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-8-488-500> <https://elibrary.ru/hqfnnr>
4. Сюрин С.А., Бойко И.В. Профессиональная тугоухость у промышленных рабочих Мурманской области. *Здоровье населения и среда обитания – ЗНиСО*. 2020; (2): 21–5. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-21-25> <https://elibrary.ru/qnzkie>
5. Каменев В.И., Каменева О.В., Платунин А.В. Особенности профессиональной заболеваемости на предприятиях самолётостроения. *Гигиена и санитария*. 2018; 97(8): 731–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-8-731-736> <https://elibrary.ru/vbfnww>
6. Харитонов О.И., Потеряева Е.Л., Кругликова Н.В. Профессиональная нейросенсорная тугоухость у членов экипажей воздушных судов гражданской авиации. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(6): 12–4. <https://elibrary.ru/ubemhz>
7. Волгарева А.Д., Каримова Л.К., Мулдашева Н.А., Гимранова Г.Г., Фагамова А.З., Бейгул Н.А. Риск развития профессиональной тугоухости у работников, занятых добычей полезных ископаемых и меры по его минимизации. *Безопасность и охрана труда*. 2022; (4): 40–3. https://doi.org/10.54904/52952_2022_4_40 <https://elibrary.ru/gatvzh>
8. Чеботарёв А.Г., Курьеров Н.Н. Гигиеническая оценка шума и вибрации, воздействующих на работников горных предприятий. *Горная промышленность*. 2020; (1): 148–53. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-148-153> <https://elibrary.ru/qizwsm>
9. Фадеев А.Г., Горяев Д.В., Зайцева Н.В., Шур П.З., Редько С.В., Фокин В.А. Нарушения здоровья работников, связанные с факторами риска условий труда в горнодобывающей промышленности Арктической зоны (аналитический обзор). *Анализ риска здоровью*. 2023; (1): 184–93. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.17> <https://elibrary.ru/rfwbxxm>
10. Спиринов В.Ф., Старшов А.М. К некоторым проблемам хронического воздействия производственного шума на организм работающих (обзор литературы). *Анализ риска здоровью*. 2021; (1): 186–96. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.19> <https://elibrary.ru/mzkkpls>

11. Панкова В.Б., Федина И.Н., Андреева И.В. *Профессиональные заболевания ЛОР-органов: Руководство для врачей*. М.: ГЭОТАР-Медиа; 2023. <https://doi.org/10.33029/9704-7704-5-ENT-2023-1-552>
13. Мазитова Н.Н., Аденинская Е.Е., Панкова В.Б., Симонова Н.И., Федина И.Н., Преображенская Е.А. и др. Влияние производственного шума на слух: систематический обзор зарубежной литературы. *Медицина труда и промышленная экология*. 2017; 57(2): 48–53. <https://elibrary.ru/ygbnpz>
21. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Картапольцева Н.В., Русанова Д.В. и др. Теории сенсорного конфликта при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(4): 1–6. <https://elibrary.ru/trllor>
22. Картапольцева Н.В. Общие закономерности поражения центральной и периферической нервной системы при действии физических факторов (локальной вибрации и шума) на организм работающих. *Бюллетень Восточно-Сибирского научного центра Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2012; (2-1): 40–4. <https://elibrary.ru/pcjzlh>

REFERENCES

1. Pankova V.B., Vil'k M.F., Zibarev E.V., Fedina I.N. On the issue of taking into account new factors in the pathogenesis of occupational hearing loss (on the example of transport workers). *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(8): 488–500. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-8-488-500> <https://elibrary.ru/hqfnnr> (in Russian)
2. Golmohammadi R., Darvishi E. The combined effects of occupational exposure to noise and other risk factors – a systematic review. *Noise Health*. 2019; 21(101): 125–41. https://doi.org/10.4103/nah.NAH_4_18
3. Kim K.S., Kwon O.J. Prevalence and risk factors of hearing loss using the Korean working conditions survey. *Korean J. Audiol.* 2012; 16(2): 54–64. <https://doi.org/10.7874/kja.2012.16.2.54>
4. Syurin S.A., Boyko I.V. Noise-induced hearing loss in industrial workers of the Murmansk region. *Zdorov'e naseleniya i sreda obitaniya – ZNiSO*. 2020; (2): 21–5. <https://doi.org/10.35627/2219-5238/2020-323-2-21-25> <https://elibrary.ru/qnzkie> (in Russian)
5. Kamenev V.I., Kameneva O.V., Platunin A.V. Peculiarities of occupational prevalence in aircraft manufacturing enterprises. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2018; 97(8): 731–6. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2018-97-8-731-736> <https://elibrary.ru/vbfnww> (in Russian)
6. Kharitonova O.I., Poteryaeva E.L., Kругликова N.V. Occupational neurosensory deafness in civil aircraft crew members. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(6): 12–4. <https://elibrary.ru/ubemhz> (in Russian)
7. Volgareva A.D., Karimova L.K., Muldasheva N.A., Gimranova G.G., Fagamova A.Z., Beygul N.A. The risk of developing professional hearing loss in workers engaged in mining and minimizing measures. *Bezopasnost' i okhrana truda*. 2022; (4): 40–3. https://doi.org/10.54904/52952_2022_4_40 <https://elibrary.ru/gatvzh> (in Russian)
8. Chebotarev A.G., Kur'еров N.N. Hygienic assessment of noise and vibration affecting workers at mining operations. *Gornaya promyshlennost'*. 2020; (1): 148–53. <https://doi.org/10.30686/1609-9192-2020-1-148-153> <https://elibrary.ru/qizwsm> (in Russian)
9. Fadeev A.G., Goryaev D.V., Zaytseva N.V., Shur P.Z., Red'ko S.V., Fokin V.A. Health disorders in workers associated with health risks at workplaces in mining industry in the Arctic (analytical review). *Health Risk Analysis*. 2023; (1): 173–82. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2023.1.17> <https://elibrary.ru/tcgtac>
10. Spirin V.F., Starshov A.M. On certain issues related to chronic exposure to occupational noise and impacts exerted by it on workers' bodies (literature review). *Analiz riska zdorov'yu*. 2021; (1): 185–94. <https://doi.org/10.21668/health.risk/2021.1.19> <https://elibrary.ru/vqkqzp>
11. Pankova V.B., Fedina I.N., Andreeva I.V. *Occupational Diseases of ENT Organs: A Guide for Doctors [Professional'nye zabolovaniya LOR-organov: Rukovodstvo dlya vrachey]*. Moscow: GEOTAR-Media; 2023. <https://doi.org/10.33029/9704-7704-5-ENT-2023-1-552> (in Russian)
12. Weier M.H. The association between occupational exposure to hand-arm vibration and hearing loss: a systematic literature review. *Saf. Health Work*. 2020; 11(3): 249–61. <https://doi.org/10.1016/j.shaw.2020.04.003>

13. Mazitova N.N., Adeninskaya E.E., Pankova V.B., Simonova N.I., Fedina I.N., Preobrazhenskaya E.A., et al. Influence of occupational noise on hearing: systematic review of foreign literature. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2017; 57(2): 48–53. <https://elibrary.ru/ygbnpz> (in Russian)
 14. Pettersson H., Burström L., Hagberg M., Lundström R., Nilsson T. Noise and hand-arm vibration exposure in relation to the risk of hearing loss. *Noise Health*. 2012; 14(59): 159–65. <https://doi.org/10.4103/1463-1741.99887>
 15. Duan D.P., Bai L.X., Qiu C.X., Huang T.Y., Tang S.H., Liu Y.M. Combined effect of noise and hand-transmitted vibration on noise-induced hearing loss in the automobile manufacturing industry. *Zhonghua Lao Dong Wei Sheng Zhi Ye Bing Za Zhi*. 2020; 38(6): 420–3. <https://doi.org/10.3760/cma.j.cn121094-20191009-00470> (in Chinese)
 16. Pettersson H., Burström L., Hagberg M., Lundström R., Nilsson T. Risk of hearing loss among workers with vibration-induced white fingers. *Am. J. Ind. Med.* 2014; 57(12): 1311–8. <https://doi.org/10.1002/ajim.22368>
 17. Turcot A., Girard S.A., Courteau M., Baril J., Larocque R. Noise-induced hearing loss and combined noise and vibration exposure. *Occup. Med. (Lond.)*. 2015; 65(3): 238–44. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqu214>
 18. Mets J.T. Noise-induced hearing loss and combined noise and vibration exposure. *Occup. Med. (Lond.)*. 2015; 65(6): 505. <https://doi.org/10.1093/occmed/kqv082>
 19. Loukzadeh Z., Shahrad S., Shojaoddiny-Ardekani A., Mehrparvar A.H., Alamdarian M. Effect of combined exposure to noise and vibration on hearing. *Indian J. Occup. Environ. Med.* 2019; 23(3): 121–5. https://doi.org/10.4103/ijoem.IJOEM_252_18
 20. Silva L.F., Mendes R. Combined exposure to noise and vibration and its effects on workers' hearing. *Rev. Saude Publica*. 2005; 39(1): 9–17. <https://doi.org/10.1590/s0034-89102005000100002> (in Portuguese)
 21. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Kartapol'tseva N.V., Rusanova D.V., et al. On theory of sensory conflict under exposure to physical factors: main principles and concepts of formation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(4): 1–6. <https://elibrary.ru/trllor> (in Russian)
 22. Kartapol'tseva N.V. Common regularities in disorders of central and peripheral nervous system at the influence of physical factors (local vibration and noise) on employees' organisms. *Byulleten' Vostochno-Sibirskogo nauchnogo tsentra Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2012; (2–1): 40–4. <https://elibrary.ru/pcjzlh> (in Russian)
 23. Thaper R., Sesek R., Garnett R., Acosta-Sojo Y., Purdy G.T. The combined impact of hand-arm vibration and noise exposure on hearing sensitivity of agricultural/forestry workers—a systematic literature review. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 2023; 20(5): 4276. <https://doi.org/10.3390/ijerph20054276>
 24. Moussavi-Najarkola S.A., Khavanin A., Mirzaei R., Salehnia M., Akbari M. Effects of whole body vibration on outer hair cells' hearing response to distortion product otoacoustic emissions. *In Vitro Cell. Dev. Biol. Anim.* 2012; 48(5): 276–83. <https://doi.org/10.1007/s11626-012-9490-3>
 25. Moussavi Najarkola S.A., Khavanin A., Mirzaei R., Salehnia M., Muhammadnejad A. Cochlear damages caused by vibration exposure. *Iran Red Crescent Med. J.* 2013; 15(9): 771–4. <https://doi.org/10.5812/ircmj.5369>
-