

Медицина труда

© КОЛЛЕКТИВ АВТОРОВ, 2019

Дьякович М.П.^{1,2}, Рукавишников В.С.¹, Панков В.А.¹, Лахман О.Л.¹, Кулешова М.В.¹

ОБОСНОВАНИЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НЕСПЕЦИФИЧЕСКОГО ЗВЕНА ПАТОГЕНЕЗА И ДОЗЫ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ РИСКА РАЗВИТИЯ ВИБРАЦИОННОЙ БОЛЕЗНИ

¹Федеральное государственное бюджетное научное учреждение «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665827, Ангарск;²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Ангарский государственный технический университет», 665835, Ангарск

Введение. Показана важность привлечения для прогнозирования развития вибрационной болезни (ВБ) от локальной вибрации неспецифических показателей нарушений основных функциональных систем организма, для которых могут быть чётко установлены дозные или экспозиционные зависимости.

Материал и методы. Исследования выполнены на основе информационного массива персонализированных показателей функциональных систем у работников авиастроительного предприятия, подвергающихся воздействию локальной вибрации. В качестве показателя вибрационного воздействия использовалась величина, представляющая собой кратность превышения предельной стажевой дозы вибрации. Для прогнозирования риска формирования ВБ использовалось информационно-энтропийное моделирование.

Результаты. Анализ расчётов по различным вариантам диагностических моделей позволил заключить, что среди изученных комбинаций наибольший вклад в формирование ВБ вносили патологические параметры основной активности головного мозга и тиреоидной системы (82,6%). В модели с участием параметров основной активности мозга и тиреоидной системы было отмечено увеличение эквивокации системы почти до 100% и увеличение различий между коэффициентами избыточности, характеризующими относительную организацию системы в состоянии нормы и патологии, в 3 раза.

Заключение. Проведённые исследования позволили обосновать высокую значимость показателей неспецифического звена патогенеза ВБ (центральной нервной и тиреоидной систем), что открывает возможности для привлечения их в структуру модели формирования указанной патологии с учётом дозы воздействия локальной вибрации. Предлагается рассмотреть расширение информационной базы с привлечением в модели наряду с показателями специфического звена патогенеза ВБ и показателей неспецифического его звена.

Ключевые слова: вибрационная болезнь; доза локальной вибрации; показатели неспецифического патогенеза; прогнозирование; информационно-энтропийная модель.

Для цитирования: Дьякович М.П., Рукавишников В.С., Панков В.А., Лахман О.Л., Кулешова М.В. Обоснование использования показателей неспецифического звена патогенеза и дозы воздействия локальной вибрации при прогнозировании риска развития вибрационной болезни. *Гигиена и санитария*. 2019; 98 (10): 1049-1055. DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1049-1055>

Для корреспонденции: Дьякович Марина Пинхасовна, доктор биол. наук, профессор, ведущий научный сотрудник лаборатории эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, зав. кафедрой ЭМ и ПУ ФГБОУ ВО «АнгГТУ», 665835, Ангарск. E-mail: marinapinhas@yandex.ru

Финансирование. Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ и Правительства Иркутской области, проект № 17-41-380005.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Участие авторов: концепция и дизайн исследования – Дьякович М.П., Рукавишников В.С.; сбор и обработка материала – Панков В.А., Кулешова М.В.; статистическая обработка данных и моделирование – Дьякович М.П.; написание текста – Дьякович М.П., Рукавишников В.С.; ответственность за целостность всех частей статьи – Дьякович М.П.; редактирование – Лахман О.Л., Дьякович М.П.

Поступила 15.07.2019

Принята к печати 17.09.19

Опубликована: октябрь 2019

Dyakovich M.P.^{1,2}, Rukavishnikov V.S.¹, Pankov V.A.¹, Lakhman O.L.¹, Kuleshova M.V.¹

THE RATIONALE FOR THE USE OF INDICES OF A NON-SPECIFIC LINK OF PATHOGENESIS AND THE DOSE OF LOCAL VIBRATION WHEN PREDICTING THE RISK OF DEVELOPING A VIBRATIONAL DISEASE

¹East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665827, Russian Federation;²Angarsk State Technical University, Angarsk, 665835, Russian Federation

Introduction. The importance of attracting to predict the development of hand-arm vibration syndrome (HAVS) non-specific indices of violations of the basic functional systems, for which the dose or exposure dependences can be clearly established, is shown. There is shown the importance of attracting non-specific indices of violations of the main functional systems of the body, for which dose or exposure dependencies can be clearly established to predict the development of vibrational disease (VD) due to a local vibration.

Material and methods. The studies were carried out on the information array of personalized indices of the functional systems in aircraft production workers exposed to local vibration. There was used a multiplicity of exceeding the maximum dose of vibration as an index of the vibration effect during the work. Information-entropy modeling was used to predict the risk of changes in functional systems formation.

Results. Analysis of calculations in different variants of diagnostic models allowed drawing a conclusion that the pathological indices of the main activity of the brain and thyroid system made the greatest contribution (82.6%)

to HAVS formation among the studied combinations. In the model with the consideration of the indices of the main activity of the brain and the thyroid system, an increase in the equivocation of the system to almost 100% were and by 3 times increasing differences between the coefficients of redundancy characterizing the relative organization of the system in the norm and pathology were noted.

Conclusion. The conducted studies have allowed substantiating the high importance of non-specific indices of the pathogenesis of HAVS (Central nervous system and thyroid systems), which opens up opportunities to attract them to the structure of the model, taking into account the dose of local vibration. It is proposed to consider the expansion of the information base with the involvement in the model, along with indices of the specific link of the pathogenesis of HAVS and indices of its nonspecific link.

Keywords: hand-arm vibration syndrome; dose of local vibration; indices of nonspecific pathogenesis; prediction; information-entropy model.

For citation: Dyakovich M.P., Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Lakhman O.L., Kuleshova M.V. The rationale for the use of indices of a non-specific link of pathogenesis and the dose of local vibration when predicting the risk of developing a vibrational disease. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)* 2019; 98 (10): 1049-1055. (In Russian). DOI: <http://dx.doi.org/10.18821/0016-9900-2019-98-10-1049-1055>

For correspondence: Marina P. Dyakovich, MD, Ph.D., Dsci., professor, leading Researcher of Ecological and Hygienic Research Laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Head of the Department of Economics, Management and Psychology of Management, Angarsk State Technical University, Angarsk, 665835, Russian Federation. E-mail: marinapinhas@yandex.ru

Information about authors: Dyakovich M.P., <https://orcid.org/0000-0002-5970-5326>;

Rukavishnikov V.S., <http://orcid.org/0000-0003-2536-1550>; Pankov V.A., <http://orcid.org/0000-0002-3849-5630>;

Lakhman O.L., <http://orcid.org/0000-0002-0013-8013>; Kuleshova M.V., <http://orcid.org/0000-0001-9253-2028>

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

Acknowledgment. The study was carried out with the financial support of the Russian Foundation for Basic Research and the Government of the Irkutsk Region, project No 17-41-380005.

Contribution: Concept and design of the study – Dyakovich M.P., Rukavishnikov V.S.; The collection and processing of the material, Pankov V.A., Kuleshova M.V.; Statistical data processing and modeling – Dyakovich M.P.; Writing the text of the article – Dyakovich M.P., Rukavishnikov V.S.; Responsibility for the integrity of all parts of the article – Dyakovich M.P.; Editing – Lakhman O.L., Dyakovich M.P.

Received: July 15, 2019

Accepted: September 17, 2019

Published: October 2019

Введение

Локальная вибрация является основным этиологическим фактором возникновения вибрационной болезни (ВБ) – социально значимой профессиональной патологии, которая в структуре профессиональных заболеваний, обусловленных воздействием физических факторов, в России занимает второе ранговое место (42,9%) [1]. Уровень профессиональной заболеваемости в Иркутской области в два раза превышает общероссийский, ВБ вносит в неё серьёзный вклад, занимая второе место в структуре профзаболеваний – 33,7% (в 2017 г. – 30,8%, в 2016 г. – 34,6%). В основном ВБ регистрируется в производстве летательных аппаратов, металлургическом производстве, лесозаготовительной отрасли, добыче угля [2].

В России и за рубежом изучению воздействия локальной вибрации посвящено значительное количество исследований [3–6]. Работы, касающиеся патогенеза и клинической картины ВБ от локальной вибрации, известны со второй половины XX века, а имеющиеся знания продолжают развиваться современными исследователями [7–9]. Особенность патогенеза ВБ, как и других профессиональных заболеваний от воздействия физических факторов, заключается в отсутствии материального и присутствии функционального кумулятивного эффекта их воздействия в различных функциональных системах организма. В связи с этим существует мнение, и весьма обоснованное, об общепатологическом действии вибрации на организм человека [10].

Проблема прогнозирования развития профессиональных заболеваний в последние годы приобретает особую актуальность, так как, несмотря на существующие мероприятия по их профилактике, наблюдается значительное количество ежегодно вновь выявляемых случаев. Прогнозирование развития ВБ от воздействия локальной вибрации даёт возможность разработки и внедрения научно обоснованных профилактических мероприятий для управления профессиональным риском утраты здоровья лицами, работающими в профессиях, где влияние вибрационного фактора исключить невозможно. Исследователям в области гигиены труда хорошо известны модели прогностической оценки дозо-эффектной зависимости вероятности развития ВБ (приложение к стандарту ИСО 5349.2 [11] и модель НИИ МТ РАМН [12]), определяющие вероятность развития ВБ в зависимости от воздействующей экспозиции вибрации и стажа. При сравнении собственных многолетних данных, полученных по различным прогнозным моделям, авторами статьи было уста-

новлено, что стандарт ИСО 5349.2 завышает вероятность ВБ. К такому же мнению пришли итальянские учёные [13]. Нами было установлено, что отечественная модель без учёта поправок на реальные сопутствующие факторы, влияющие на развитие ВБ, её вероятность значительно занижает. С учётом поправок на существующие условия труда величины риска ВБ, исчисленные по указанной модели, значительно отличаются от фактических данных, регистрируемых в центрах Роспотребнадзора по материалам экстренных извещений о профессиональных заболеваниях, однако приближаются к данным, полученным в результате клинических осмотров, проведённых специалистами нашего института [14].

Хотя симптомы ВБ от локальной вибрации достаточно хорошо описаны, этиология и вклад различных факторов воздействия в развитие возникающих дисфункций изучены недостаточно. Существующие в настоящее время подходы к оценке риска ВБ базируются на жёстких критериях, связанных с уже установленными случаями профессиональной заболеваемости или с выявленными случаями нарушения здоровья с подозрением на профессиональное заболевание при наличии неблагоприятных условий труда. При этом указанные критерии хорошо работают в различных случаях их модификаций только при прогнозировании коллективного риска.

В настоящее время имеются достаточно обоснованные общие принципы построения математической модели профессиональных заболеваний, сформулированные Э.И. Денисовым. По его мнению, математическая модель должна быть этиопатогенетически адекватна процессу формирования нарушений здоровья; учитывать степень связи с фактором; прогнозирование должно моделироваться на основе данных, отвечающих требованиям доказательной медицины, и не должно быть чрезмерно сложным для практического использования [15].

В теории патогенеза основополагающим является выделение двух звеньев: специфического – этиопатогенетического и неспецифического – присущего различным общепатологическим видам нарушения гомеостаза. Известны показатели, динамично меняющиеся в процессе формирования ВБ, позволяющие тем самым характеризовать степень выраженности клинической симптоматики. К таким показателям относятся показатели вибрационной, болевой, дискриминационной чувствительности; термо- и колориметрии кожи пальцев и кистей. Такие показатели формируют специфическое звено патогенеза, их использование авторами при моделировании ВБ вполне обосновано [16–18].

В то же время, хотя исследователи уделяют внимание показателям неспецифического звена патогенеза [19, 20], работ, посвящённых привлечению для прогнозирования развития ВБ неспецифических показателей нарушений основных функциональных систем организма, для которых может быть чётко установлена дозовая или экспозиционная зависимость, крайне мало [14, 21, 22].

Дозо-эффектной зависимости развития симптомов ВБ от локальной вибрации посвящены немногочисленные работы в России, за рубежом такие исследования проводились чаще [21, 23–25].

В настоящей статье предпринята попытка обоснования привлечения показателей неспецифического звена патогенеза ВБ для прогнозирования её развития с учётом требований доказательной медицины и степени связи с вибрационным фактором.

Цель исследования – обоснование привлечения некоторых неспецифических показателей нарушения здоровья работников, контактирующих с локальной вибрацией, для прогнозирования персонифицированного риска развития ВБ с использованием математического моделирования.

Материал и методы

Исследования выполнены на основе информационного массива персонифицированных показателей функциональных систем организма лиц, подвергающихся воздействию локальной вибрации на авиастроительном предприятии. Проспективные наблюдения за 223 работниками, как практически здоровыми, так и с установленным диагнозом ВБ, не ущемляли прав и не подвергали опасности благополучие субъектов исследования, все исследования были проведены с их информированного согласия. Диагностика и стадирование случаев ВБ от локальной вибрации осуществлялись на основании клинической информации, содержащейся в историях болезни и амбулаторных картах. Случаи с альтернативными или смешанными диагнозами были исключены.

Анализ профессиональной заболеваемости был проведён на основании карт учёта профессионального заболевания (отравления) (Приложение № 5 Приказа Министерства здравоохранения Российской Федерации от 28.05.2001 г. № 176) за 2006–2017 гг.

Информация обрабатывалась стандартными методами вариационной статистики с помощью пакета прикладных программ EXCEL пакета Office 2003 (в ОС «Windows XP»), «Statistica for Windows 6.0».

Состояние гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы анализировалось по уровням адренокортикотропного гормона (АКТГ) и кортизола, состояние гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы – по уровням тиреотропного гормона (ТТГ), свободного тироксина (Т₄), трийодтиронина (Т₃) в крови. Оценка функционального состояния гипоталамо-гипофизарно-тиреоидной системы проводилась посредством анализа универсальных системных индексов, рассчитанных в соответствии с методическими рекомендациями [26]. Состояние центральной нервной системы (ЦНС) характеризовалось по биоэлектрической активности головного мозга, определяемой по электроэнцефалограмме.

В качестве показателя вибрационного воздействия использовалась величина, представляющая собой кратность превышения предельной стажевой дозы вибрации (ПСД). Кратность определялась как отношение индивидуальной стажевой дозы (ИСД) вибрационного воздействия к ПСД, которая была рассчитана для каждого обследованного лица. ИСД характеризует вибрационное воздействие за рабочий стаж, учитывает эквивалентный уровень виброскорости за смену и логарифм стажа. Она рассчитывалась в соответствии с уравнением:

$$L = L_{\text{экв}} + 10 \cdot \lg\left(\frac{T}{T_0}\right), \quad (1)$$

где L – стажевая доза вибрации, дБ; $L_{\text{экв}}$ – эквивалентный уровень виброскорости за смену, дБ; T – стаж работы с виброинструментами, лет; $T_0 = 1$ год.

Расчётная величина ПСД, исходя из величин предельно допустимого скорректированного уровня виброскорости (112 дБ, согласно СанПиН 2.2.2.540-96), максимальных величин продол-

Таблица 1

Распределение обследованных работников по интервалам кратности превышения предельной стажевой дозы локальной вибрации

Интервалы, раз	Доля, %
До 1,0	21,1
1,1–4,0	30,9
4,1–8,0	21,1
8,1–12,0	17,0
12,1 и более	9,9
Всего...	100,0

жительности воздействия вибрации на организм работника за смену (8 ч) и трудового стажа (40 лет), составила 128 дБ.

Для определения вклада влияния дозы локальной вибрации в формирование ВБ с учётом показателей функционирования основных систем организма использовался вероятностный метод информационно-энтропийного анализа. Разработка базисной модели и вариантов диагностических моделей, верификация и логическая проверка ожидаемых свойств модели осуществлялись при участии главного научного сотрудника ИСЭМ СО РАН, доктора технических наук Зоркальцева В.И.

Результаты

Анализ профессиональной заболеваемости в Иркутской области за 10-летний период показал, что если показатель профессиональной заболеваемости с 2006 по 2017 г. колебался от 1,91 до 4,91, то показатель ВБ – от 0,33 до 1,43 на 10 тыс. работающих. В структуре ПЗ доля случаев ВБ от локальной вибрации за эти годы составляла 11,3–29,1%. У лиц, занятых в производстве судов и летательных аппаратов (сборщиков-клепальщиков, слесарей по изготовлению и доводке деталей, слесарей механосборочных работ), ВБ регистрировалась наиболее часто (51,8%). Следует отметить, что за указанный период на момент установления ВБ у заболевших работников указанной категории кратность превышения ПСД локальной вибрации составляла 6–8,7 раза. В 15–20% случаев на момент выявления ВБ была установлена стойкая утрата трудоспособности. При этом средний возраст заболевших составлял 43,8–54,3 года, а средний стаж работы – 15,1–22,6 года. Таким образом, был обоснован выбор категории (профессионального статуса) работников, контактирующих с локальной вибрацией, наблюдения за которыми и послужили информационной базой для сопоставления установленных случаев заболеваний ВБ с воздействующей дозой локальной вибрации с учётом показателей функционирования основных систем организма работающих на авиастроительном предприятии. Средний возраст работников составил $37,0 \pm 0,7$ года, средний стаж – $12,2 \pm 0,7$ года, кратность превышения ПСД – $5,2 \pm 0,3$ раза. Распределение обследованных лиц по интервалам превышения ПСД представлено в табл. 1.

На начальном этапе информационно-энтропийного моделирования определяли, какие параметры будут включены в расчёт энтропии, чтобы параметры, которые не оказывают существенного влияния на поведение системы, не уменьшали удельный вес действительно значимых и имеющих прогностическое значение. Были проведены расчёты парной корреляции Спирмена между всеми располагаемыми параметрами, просмотрено сотни коэффициентов корреляции, обращалось внимание на их статистическую значимость при уровне доверительной вероятности $p < 0,05$. В корреляционном анализе участвовало 128 показателей электрической активности мозга (ЭАМ) и 7 показателей эндокринной системы. В результате корреляционного анализа было выявлено наличие слабых достоверных ($p < 0,05$) зависимостей между дозой локальной вибрации и дисфункцией стволовых структур ($r = 0,21$), наличием зональных различий (по $r = 0,21$), альфа-активностью ($r = -0,24$), амплитудой биопотенциалов ($r = -0,21$). Выявлено, что показатели ЭАМ часто коррелировали между собой (табл. 2).

Таблица 2

Величины ранговых корреляций между показателями электрической активности мозга, статистически значимых на уровне $p < 0,05$

Показатель	ОА	АА	ЗР	БА	ТА	УИ	ВИ	ПА	ИИ	ДСС
Тип ЭЭГ	0,46	-0,29	0,63		0,53	0,32	-0,33		0,15	0,33
ОА	1,00		0,58		0,50	0,15				
АБ		0,52	-0,20	-0,16				0,17	-0,22	
АА		1,00	-0,44	-0,25	-0,22	-0,25	0,28	0,28		-0,19
ЗР			1,00	0,20	0,56	0,33	-0,30	-0,18		
ТА					1,00	0,29	-0,23			0,18
УИ						1,00	-0,86		0,20	0,26
ВИ							1,00		-0,33	-0,33
ИИ									1,00	0,28

Примечание. ОА – основная активность головного мозга; АБ – амплитуда биопотенциалов; АА – α -активность; ЗР – зональные различия; БА – β -активность; ТА – θ -активность; УИ – наличие умеренных изменений; ВИ – наличие выраженных изменений; ПА – пароксизмальная активность; ИИ – ирритативные изменения; ДСС – дисфункции стволовых структур.

Проведенный корреляционный анализ и учёт экспертных заключений врачей-специалистов в области терапии, неврологии и электрофизиологии позволил уменьшить пространство анализируемых параметров и для целей дальнейшего анализа и моделирования выделить такие системы, как «Электрическая активность мозга», «Состояние тиреоидной системы» (ТС), «Состояние гипоталамо-надпочечниковой системы». В дальнейшем анализе принимали участие 13 показателей ЭАМ, 3 расчётных универсальных системных индекса, объединяющих в себе гормоны ТЗ, Т4, ТТГ, позволяющих сделать заключение о состоянии тиреоидной системы, а также 1 интегральный гипоталамо-надпочечниковый индекс, объединяющий в себе гормоны АКТГ и кортизол, позволяющий судить о функциональном состоянии гипоталамо-надпочечниковой системы. Каждый из индексов и их соотношение позволяли судить о нормальном или патологическом состоянии указанных звеньев эндокринной системы, но достоверной корреляции между этими индексами и дозой вибрационного воздействия выявлено не было. Достоверных корреляций показателей ЭАМ с системными индексами также установлено не было.

Величина вклада дозы вибрации в формирование ВБ определялась при сравнении безусловной и условной энтропии. Разность между безусловной и условной энтропией позволила выделить «полезную информацию» – величину, количественно оценивающую уровень зависимости формирования ВБ от влияющего фактора. При сравнении воздействия дозы локальной вибрации на отдельные системы организма с разной размерностью и количеством входящих в них параметров использовали показатель относительной энтропии, увеличение которого говорит о повышении энтропии то есть о снижении упорядоченности информации в системе. В качестве признаков формирования ВБ были использованы различные медико-биологические показате-

тели и их комбинации. Возможные варианты наборов значений таких показателей использовали для построения вариантов модели прогноза заболевания.

В построенной базисной модели учитывалось влияние только одного исходного фактора вероятности формирования ВБ. Таким исходным фактором служило полученное работником за период трудового стажа вибрационное воздействие в виде величины кратности превышения ПСД локальной вибрации. Вышеописанная методология легла в основу моделирования и прогноза формирования ВБ от воздействия локальной вибрации.

Полученные результаты сценарных расчётов диагностических моделей по отдельным параметрам показали, что вклад указанных патологических состояний в рассматриваемое явление невелик (табл. 3).

Исходя из полученных сведений об объёме привнесённой информации при условии учёта вклада доз локальной вибрации в развитие ВБ было принято решение о рассмотрении модельных сценариев с комбинациями параметров, характеризующих нормальное и патологическое функционирование двух систем организма – ЭАМ и ТС. Анализ расчётов по различным вариантам диагностических моделей позволил заключить, что среди изученных комбинаций наибольший вклад в формирование ВБ вносили патологические параметры основной активности головного мозга и тиреоидной системы (82,6%). Второе место по величине вклада – у патологических параметров основной активности головного мозга и дисфункции стволовых структур (76,2%). Вклад патологических параметров дисфункции стволовых структур и тиреоидной системы составлял 70,9%.

Следует отметить, что в модели с участием параметров основной активности мозга различий между коэффициентами избыточности в норме и патологии установлено не было, а в модели с участием параметров тиреоидной системы указанные различия

Таблица 3

Вклад патологического состояния параметров рассмотренных функциональных систем в формирование вибрационной болезни, %

Параметр	По относительному индексу энтропии	По относительности привнесённой информации
Тип ЭЭГ	28,3	51,7
Основная активность головного мозга	28,7	51,4
θ -активность	27,5	52,5
Умеренные и выраженные изменения	28,0	51,3
Пароксизмальная активность	28,8	51,2
Дисфункция стволовых структур	29,0	51,1
Гипер- и гипотиреоидное состояние	29,2	50,9
Гиперреактивное и угнетённое состояние гипоталамо-надпочечниковой системы	25,7	54,4

составили 1,4%. При этом величины эквивокации (величины надёжности системы) составляли соответственно 1,5 и 48,8%.

В комбинированной модели с участием параметров основной активности мозга и тиреоидной системы коэффициенты избыточности отличались в 3 раза, величина эквивокации возросла почти до 100%.

Таким образом, включение в варианты модели комбинации параметров двух функциональных систем (центральной нервной и эндокринной) повлекло за собой увеличение эквивокации системы и увеличение различий между коэффициентами избыточности, характеризующими относительную организацию системы в состоянии нормы и патологии.

Обсуждение

Полученная при проведении сценарных расчётов разность избыточности при нормальном и патологическом состоянии рассматриваемых параметров двух систем (ЭАМ и ТС) даёт качественную характеристику структурной перестройки организма как системы. Согласно Г.Г. Автандилову [27], под надёжностью биологической системы подразумевается её способность противостоять эндо- и экзогенным воздействиям, поэтому вопросу изучения указанных свойств модели в дальнейших исследованиях надо уделить пристальное внимание. Учитывая, что используемые для моделирования параметры функциональных систем организма являются частью неспецифического патогенеза и не могут полностью отражать клиническую картину формирования ВБ, необходим дальнейший поиск объясняющих информативных параметров. Тем не менее результаты сравнительного анализа разработанных вариантов математической модели формирования ВБ согласуются с теорией сенсорного конфликта при воздействии физических факторов, разработанной в ФГБНУ ВСИМЭИ [28], а модель может быть использована в качестве инструмента для дальнейших исследований.

Несмотря на установленные многочисленные факты, характеризующие патогенез ВБ как сложный комплекс нервно-рефлекторных, нейроиммунологических, гормональных и нейрогуморальных сдвигов, которые приводят к развитию стойкого хронического течения болезни, в клинической практике для установления случая профессионального заболевания используются только показатели так называемого частного патогенеза, а именно – периферического ангиодистонического синдрома и полиневропатии [29, 30]. Использование указанных показателей полностью решает вопросы постановки диагноза и экспертизы связи ПЗ с условиями труда. Однако такая трактовка ВБ уменьшает возможность привлечения для цели прогнозирования неспецифических показателей нарушений основных функциональных систем организма, для которых может быть чётко установлена дозовая зависимость. Следует отметить, что существование подобных зависимостей было доказано в ходе динамических наблюдений за состоянием здоровья работников, подвергающихся воздействию локальной вибрации [31–34]. При выборе показателей неспецифического звена патогенеза в качестве параметров для моделирования мы учитывали то, что клинические проявления ВБ, обусловленные локальной вибрацией, характеризуются полиморфностью, полисиндромностью и не всегда специфичны. Так, например, описаны нейросудисные расстройства и трофические нарушения в мышцах и костях верхних конечностей [9]. Наши результаты согласуются с выводом из 35-летних наблюдений за патофизиологическими реакциями организма в ответ на воздействие локальной вибрации Matoba T., который пришёл к выводу о вибрационной обусловленности разнообразных симптомов и признаков в отношении системных нарушений, включая расстройства центральной и вегетативной нервной систем [35]. Dahlin L.B. и соавт. [36] показали, что ранние нейрофизиологические признаки вибрационного воздействия могут появиться после кратковременного воздействия и у молодых людей, и без клинических симптомов, при этом снижение плотности нервных волокон может привести к изменению структуры афферентного сигнала, что в свою очередь приводит к изменениям в головном мозге. Указанные факты убеждают нас в обоснованности выбора показателей ЭАМ для моделирования возникновения ВБ.

Полученные в ходе моделирования результаты, свидетельствующие о значительном вкладе в развитие ВБ тиреоидной

системы, согласуются с результатами собственных исследований и данными литературы [37, 38], в которых обоснованы наличие «эффекта группового стресса» и существенной напряжённости в деятельности иммунной, нейроэндокринной систем и маркерных метаболических показателей у пациентов с ВБ.

Использование результатов проспективного, продольного когортного исследования состояния функциональных систем организма даёт уникальную возможность для выявления и оценивания как ранних, так и поздних нарушений у работников с учётом дозы вибрационного воздействия для прогнозирования развития ВБ. В то же время переход на прогноз персонализированного риска развития ВБ и формирование индивидуальной модели развития данной патологии без подключения конкретных специфических для данной патологии клинических и функциональных показателей невозможен. Более значительное внимание в дальнейших исследованиях будет уделено нейро-сенсорным симптомам, которые, как показано в [39], могут появиться и после кратковременного вибрационного воздействия у практически здоровых молодых работников.

Информационно-энтропийная модель развития ВБ может быть использована в качестве инструмента для дальнейших исследований, так как она даёт возможность анализировать параметры функциональных систем организма, участвующих в формировании вибрационной патологии в различных комбинациях, что позволит в дальнейшем её использовать для объективизации прогноза развития ВБ и рационализации диагностического процесса.

Заключение

Функциональная форма персонализированной модели ВБ должна базироваться на дозе воздействия локальной вибрации и динамическом ряде показателей функциональных систем организма, определяющих специфическое и неспецифическое звено патогенеза. Для моделирования и прогноза формирования ВБ от воздействия локальной вибрации был использован вероятностный метод информационно-энтропийного анализа. Апробация различных вариантов математической модели формирования ВБ показала, что включение в варианты модели комбинации параметров центральной нервной и эндокринной систем приводит к увеличению эквивокации системы и увеличению различий между коэффициентами избыточности в состоянии нормы и патологии. Информационно-энтропийная модель даёт возможность анализировать параметры функциональных систем организма, участвующих в формировании ВБ, в различных комбинациях, что позволит в дальнейшем её использовать для объективизации прогноза развития ВБ и рационализации диагностического процесса. При планировании и осуществлении лечебно-профилактических мероприятий у лиц, работающих в контакте с локальной вибрацией, особое внимание следует уделять коррекции имеющихся у них нарушений гормонального статуса и биоэлектрической активности головного мозга. Для обеспечения более надёжного прогноза формирования ВБ на следующем этапе работы необходимо рассмотреть расширение информационной базы с привлечением в модели наряду с показателями специфического звена патогенеза ВБ и показателей неспецифического его звена.

Литература

(пп. 3, 4, 8, 9, 11, 13, 17, 23–25, 30, 32–36, 39 см. References)

1. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Российской Федерации в 2018 году». [Электронный ресурс] URL: <https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018-godu.pdf> (дата доступа 03.07.2019).
2. Государственный доклад «О состоянии санитарно-эпидемиологического благополучия населения в Иркутской области в 2018 году». [Электронный ресурс] URL: http://38.rospotrebnadzor.ru/396/-/asset_publisher/Fum2/content/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-irkutskoy-oblasti-v-2018-godu (дата доступа 03.07.2019).

5. Лахман О.Л., Панков В.А., Рукавишников В.С., Шаяхметов С.Ф., Дьякович М.П. *Вибрационная болезнь от воздействия локальной вибрации у горнорабочих в условиях Сибири и Севера*. Иркутск: НЦ РВХ ВСНЦ СО РАМН; 2008.
6. Бабанов С.А., Вакурова Н.В., Азовскова Т.А. *Вибрационная болезнь. Оптимизация диагностических и лечебных мероприятий*. Самара: Офорт; 2012. 160 с.
7. Кулешова М.В., Панков В.А., Дьякович М.П., Рукавишников В.С., Сливницына Н.В., Казакова П.В. и др. Вибрационная болезнь у работников авиационного предприятия: факторы формирования, клинические проявления, социально-психологические особенности. *Гигиена и санитария*. 2018; 97 (10): 915–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920.
10. Кирьяков В.А., Павловская Н.А., Лапко И.В., Богатырева И.А., Антошина Л.И., Ошкoderov О.А. Воздействие производственной вибрации на организм человека на молекулярно-клеточном уровне. *Медицина труда и промышленная экология*. 2018; 97 (9): 34–43. DOI: 10.31089/1026-9428-2018-9-34-43.
12. Измеров Н.Ф., Суворов Г.А., Денисов Э.И., Овакимов В.Г. Дозная оценка локальной вибрации в сочетании с сопутствующими производственными факторами для прогнозирования и профилактики вибрационной болезни. Информационное письмо. М.; 1989. 16 с.
14. Рукавишников В.С., Дьякович М.П., Панков В.А. Оценка риска развития вибрационной болезни от локальной вибрации у горнорабочих Крайнего Севера. *Бюллетень Сибирского отделения РАМН*. 1993; 4: 78–83.
15. Денисов Э.И., Чесалин П.В. Профессионально обусловленная заболеваемость, основы методологии. *Медицина труда и промышленная экология*. 2006; 8: 5–9.
16. Ласткова Н.Д. Прогнозирование тяжести вибрационной болезни с учётом экспозиционной дозы вибрации и состояния периферической нервной системы. *Медицина сегодня и завтра*. 2013; 3 (60): 98–102.
18. Крупчатников Р.А., Коцарь А.Г. Нечеткая диагностика вибрационной болезни у работников аграрного сектора при работе на сельскохозяйственной технике. *Вестник Курской государственной сельскохозяйственной академии*. 2013; 5: 79–80.
19. Бабанов С.А., Татаровская Н.А. Вибрационная болезнь: современное понимание и дифференциальный диагноз. *Русский медицинский журнал. Медицинское обозрение*. 2013; 35: 1777. [Электронный ресурс] URL: https://www.rmj.ru/articles/professionalnye_bolezni/Vibratsionnaya_bolezn_sovremennoe_ponimanie_i_differentsialnyy_diagnoz (дата доступа 03.07.2019).
20. Катаманова Е.В., Нурбаева Д.Ж. Анализ патологической активности ЭЭГ у лиц, подвергающихся воздействию общей и локальной вибрации. *Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований*. 2016; 3–4: 570–3.
21. Дьякович М.П., Панков В.А. Модельные исследования в проблеме вибрационной болезни. *Бюллетень Сибирского отделения Российской академии медицинских наук*. 2002; 22 (1): 62–6.
22. Крючкова Е.Н., Антошина Л.И., Жеглова А.В., Сааркоппель Л.М. Критериальная значимость показателей оксидативного стресса при вибрационном воздействии. *Медицина труда и промышленная экология*. 2016; 3: 30–4.
26. Оценка состояния тиреоидной системы посредством расчета универсальных системных индексов. Методические рекомендации. Утв. МЗ РСФСР. М.; 1988. 19 с.
27. Автандилов Г.Г. *Системная стереометрия в изучении патологического процесса*. М.: Медицина; 1981. 191 с.
28. Рукавишников В.С., Панков В.А., Кулешова М.В., Катаманова Е.В., Русанова Д.В. К теории сенсорного конфликта при воздействии физических факторов: основные положения и закономерности формирования. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 4: 1–6.
29. Измеров Н.Ф., ред. *Руководство по профессиональным заболеваниям. Т. II. М.: Медицина; 1983.*
31. Панков В.А., Рукавишников В.С., Дьякович М.П., Кулешова М.В. Анализ изменений в функциональных системах организма работников в зависимости от дозы воздействия локальной вибрации. *Вестник Ангарского государственного технического университета*. 2017; 11: 217–23.
37. Панков В.А., Дьякович М.П. Применение модельных исследований в задаче прогнозирования развития вибрационной болезни. *Медицина труда и промышленная экология*. 2003; 3: 1–5.
38. Капустник В.А., Сухонин Н.К. Сравнительный анализ корреляций между показателями метаболизма у больных при сочетанном течении вибрационной и гипертонической болезни. *Вестник проблем биологии и медицины*. 2014; 1 (106): 116–22.

References

1. State report “On the sanitary and epidemiological well-being of the population in Russian Federation in 2018”. Available at: <https://www.rospotrebnadzor.ru/upload/iblock/798/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-rossiyskoy-federatsii-v-2018-godu.pdf> (accessed 3 July 2019). (in Russian)
2. State report “On the sanitary and epidemiological well-being of the population in Irkutsk region in 2018”. Available at: http://38.rospotrebnadzor.ru/396/-/asset_publisher/Fum2/content/gosudarstvennyy-doklad-o-sostoyanii-sanitarno-epidemiologicheskogo-blagopoluchiya-naseleniya-v-irkutskoi-oblasti-v-2018-godu (accessed 3 July 2019). (in Russian)
3. Heaven C., Goonetilleke K., Ferguson H., Shiralkar S. Hand-arm vibration syndrome: a common occupational hazard in industrialized countries. *J Hand Surg Eur Vol*. 2011; 36 (5): 354–63. DOI: 10.1177/1753193410396636.
4. Shen S.C., House R.A. Hand-arm vibration syndrome. *Can Fam Physician*. 2017; 63 (3): 206–10.
5. Lahman O.L., Pankov V.A., Rukavishnikov V.S., Shayahmetov S.F., Dyakovich M.P. *Vibratsionnaya bolezn' ot vozdeystviya lokal'noj vibratsii u gornorabochih v usloviyah Sibiri i Severa [Hand-arm vibration syndrome in miners of Siberia and the North]*. Irkutsk: Scientific center of reconstructive and reconstructive surgery of the East Siberian scientific center of the Siberian branch of the Russian Academy of medical Sciences; 2008. (in Russian)
6. Babanov S.A., Vakurova N.V., Azovskova T.A. *Vibratsionnaya bolezn'. Optimizatsiya diagnosticheskikh i lechebnykh meropriyatij [Vibration disease. Optimization of diagnostic and treatment measures]*. Samara: Ofort; 2012. (in Russian)
7. Kuleshova M.V., Pankov V.A., Dyakovich M.P., Rukavishnikov V.S., Slivnicyna N.V., Kazakova P.V. et al. Hand-arm vibration syndrome in aircraft workers: factors of formation, clinical manifestations, social and psychological characteristics. *Gigiyena i sanitariya [Hygiene and Sanitation, Russian journal]*. 2018; 10: 915–20. DOI: 10.18821/0016-9900-2018-97-10-915-920. (in Russian)
8. Nilsson T., Wahlström J., Burström L. Hand-arm vibration and the risk of vascular and neurological diseases – A systematic review and meta-analysis. *PLoS ONE*. 2017; 12 (7): e0180795. Available at: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0180795> (accessed 30 June 2019).
9. Shavlovskaya O.A. Upper extremity neuromotor dysfunction caused by local vibration. *Neurology, Neuropsychiatry, Psychosomatics*. 2015; 7 (2): 67–74. DOI: 10.14412/2074-2711-2015-2-67-74.
10. Kir'yakov V.A., Pavlovskaya N.A., Lapko I.V., Bogatyreva I.A., Antoshina L.I., Oshkoderov O.A. The impact of industrial vibration on the human body at the molecular and cellular level. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2018; 97 (9): 34–43. DOI: 10.31089/1026-9428-2018-9-34-43. (in Russian)
11. ISO 5349.2. Guidelines for measurement and the assessment of human exposure to Hand – transmitted vibration. International Organisation for standardization. Geneva; 1986.
12. Izmerov N.F., Suворov G.A., Denisov E.I., Ovachimov V.G. Dose assessment of local vibration in combination with concomitant occupational factors for the prediction and prevention of hand-arm vibration syndrome. Moscow; 1989. 16 p. (in Russian)
13. Bovenzi M. Epidemiological evidence for new frequency weightings of hand-transmitted vibration. *Ind Health*. 2012; 50 (5): 377–87. <http://dx.doi.org/10.2486/indhealth.ms1382>.
14. Rukavishnikov V.S., Dyakovich M.P., Pankov V.A. Assessment of the risk of hand-arm vibration syndrome from local vibration in miners of the Far North. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya RAMN*. 1993; 4: 78–83. (in Russian)
15. Denisov E.I., Chesalin P.V. Occupational diseases, the basics of methodology. *Meditina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2006; 8: 5–9. (in Russian)
16. Lastkova N.D. Predicting the severity of hand-arm vibration syndrome taking into account the exposure dose of vibration and the state of the peripheral nervous system. *Meditina segodnya i zavtra*. 2013; 3 (60): 98–102. (in Russian)
17. Poole C.J., Mason H., Harding A.H. The relationship between clinical and standardized tests for hand-arm vibration syndrome. *Occup Med (Lond)*. 2016; 66 (4): 285–91. DOI: 10.1093/occmed/kqw013.
18. Krupchatnikov R.A., Kocar' A.G. Fuzzy diagnosis of vibration disease in agricultural workers when working on agricultural machinery. *Vestnik Kurskoy gosudarstvennoy sel'skokhozyaystvennoy akademii*. 2013; 5: 79–80. (in Russian)
19. Babanov S.A., Tatarovskaya N.A. Vibration disease: modern understanding and differential diagnosis. *Russkiy meditsinskiy zhurnal. Medit-*

- sinskoe obozrenie*. 2013; 35: 1777. Available at: https://www.rmj.ru/articles/professionalnye_bolezni/Vibratsionnaya_bolezny_sovremennoe_ponimanie_i_differencialnyy_diagnoz (accessed 3 July 2019). (in Russian)
20. Katamanova E.V., Nurbaeva D.ZH. Analysis of pathological EEG activity in persons exposed to general and local vibration. *Mezhdunarodnyy zhurnal prikladnykh i fundamental'nykh issledovaniy*. 2016; 3–4: 570–3. (in Russian)
 21. Dyakovich M.P., Pankov V.A. Model studies in the problem of hand-arm vibration syndrome. *Byulleten' Sibirskogo otdeleniya Rossiyskoy akademii meditsinskikh nauk*. 2002; 22 (1): 62–6. (in Russian)
 22. Kryuchkova E.N., Antoshina L.I., Zheglova A.V., Saarkoppel L.M. Criterion significance of indicators of oxidative stress under vibration exposure. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2016; 3: 30–4. (in Russian)
 23. Sauni R., Pääkkönen R., Virtama P., Toppila E., Uitti J. Dose-response relationship between exposure to hand-arm vibration and health effects among metalworkers. *Ann Occup Hyg*. 2009; 53 (1): 55–62. <http://dx.doi.org/10.1093/annhyg/men075>.
 24. Edlund M., Burström L., Gerhardsson L., Lundström R., Nilsson T., Sandén H. et al. A prospective cohort study investigating an exposure-response relationship among vibration-exposed male workers with numbness of the hands. *Scand J Work Environ Health*. 2014; 40 (2): 203–9. DOI: 10.5271/sjweh.3386.
 25. Su A.T., Maeda S., Fukumoto J., Darus A., Hoe V.C., Miyai N. et al. Dose-response relationship between hand-transmitted vibration and hand-arm vibration syndrome in a tropical environment. *Occup Environ Med*. 2013; 70 (7): 498–504. <http://dx.doi.org/10.1136/oemed-2012-101321>.
 26. Ocenka sostoyaniya tireoidnoj sistemy posredstvom rascheta universal'nykh sistemnykh indeksov. Metodicheskie rekomendacii [Assessment of the state of the thyroid system by calculating the universal system indices. Methodical recommendation. Approved by the Ministry of health of the RSFSR]. Moscow; 1988. 19 p. (in Russian)
 27. Avtandilov G.G. Sistemnaya stereometriya v izuchenii patologicheskogo processa [System stereometry in the study of pathological process]. Moscow: Meditsina; 1981. 191 p. (in Russian)
 28. Rukavishnikov V.S., Pankov V.A., Kuleshova M.V., Katamanova E.V., Rusanova D.V. On the theory of sensory conflict under the influence of physical factors: the main provisions and patterns of formation. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Russian Journal of Occupational Health and Industrial Ecology]*. 2015; 4: 1–6. (in Russian)
 29. Izmerov N.F., ed. *Rukovodstvo po professional'nym zabolevaniyam [Guide to occupational diseases]*. Vol. II. Moscow: Meditsina; 1983. (in Russian)
 30. Poole C.J.M., Bovenzi M., Nilsson T., Lawson I.J., House R., Thompson A. et al. International consensus criteria for diagnosing and staging hand-arm vibration syndrome. *Int Arch Occup Environ Health*. 2019; 92 (1): 117–27. DOI: 10.1007/s00420-018-1359-7.
 31. Pankov V.A., Rukavishnikov V.S., Dyakovich M.P., Kuleshova M.V. Analysis of changes in the organism functional systems of the of workers depending on the dose of local vibration. *Vestnik Angarskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2017; 11: 217–23. (in Russian)
 32. Aarhus L., Veiersted K.B., Nordby K.C., Bast-Petersen R. Neurosensory component of hand-arm vibration syndrome: a 22-year follow-up study. *Occup Med (Lond)*. 2019; 69 (3): 215–8.
 33. Bovenzi M., Ronchese F., Mauro M. A longitudinal study of peripheral sensory function in vibration-exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 2011; 84 (3): 325–34. <http://dx.doi.org/10.1007/s00420-010-0549-8>.
 34. Rui F., D'Agostin F., Negro C., Bovenzi M.A. prospective cohort study of manipulative dexterity in vibration-exposed workers. *Int Arch Occup Environ Health*. 2008; 81 (5): 545–51. <http://dx.doi.org/10.1007/s00420-007-0256-2>.
 35. Matoba T. Human response to vibration stress in Japanese workers: lessons from our 35-year studies. A narrative review. *Ind Health*. 2015; 53 (6): 522–32.
 36. Dahlin L.B., Sandén H., Dahlin E., Zimmerman M., Thomsen N., Björkman A. Low myelinated nerve-fibre density may lead to symptoms associated with nerve entrapment in vibration-induced neuropathy. *J Occup Med Toxicol*. 2014; 9 (1): 7. DOI: 10.1186/1745-6673-9-7.
 37. Pankov V.A., Dyakovich M.P. Application of model studies in the problem of predicting the development of hand-arm vibration syndrome. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya [Occupational Medicine and Industrial Ecology]*. 2003; 3: 1–5. (in Russian)
 38. Kapustnik V.A., Suhonos N.K. Comparative analysis of correlations between metabolic parameters in patients with combined vibration disease and hypertension. *Vestnik problem biologii i mediciny*. 2014; 1 (106): 116–22. (in Russian)
 39. Gerhardsson L., Burström L., Hagberg M., Lundström R., Nilsson T. Quantitative neurosensory findings, symptoms and signs in young vibration exposed workers. *J Occup Med Toxicol*. 2013; 8 (1): 8. DOI: <http://dx.doi.org/10.1186/1745-6673-8-8>.