



Кулешова М.В., Панков В.А.

Информативные показатели для групп риска работающих в контакте с локальной вибрацией

ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований», 665826, Ангарск

РЕЗЮМЕ

Введение. Характер и клиническое течение профессиональной, производственно обусловленной патологии определяются интенсивностью воздействия факторов производственной среды и индивидуальными особенностями организма.

Цель исследования — оценить вклад профессиональных факторов и индивидуальных особенностей работающих и обосновать наиболее значимые информативные показатели для формирования групп риска развития вибрационной болезни, вызванной воздействием локальной вибрации.

Материалы и методы. Исследования выполнены на основе информационного массива показателей практически здоровых рабочих виброопасных профессий, лиц с вибрационной болезнью (ВБ). Для выявления факторов, их структуры использовался метод главных компонент с варимакс-вращением, для определения влияния биоэлектрической активности головного мозга, состояния эндокринной системы, психологических параметров на вероятность формирования ВБ — логистический регрессионный анализ, для проверки качества модели — ROC-анализ.

Результаты. В группе практически здоровых и лиц с ВБ выделено по пять основных главных компонент, которые в совокупности объясняют 62,79 и 69,84% дисперсии соответственно. В факторных матрицах лиц обеих групп доминировали эмоционально-личностные переменные, наблюдалась односторонняя направленность структурного объединения переменных в факторы. Установлена комбинация факторов с максимальным значением процента верно спрогнозированных случаев (93,8%), модель обладает высокой чувствительностью (94,9%), специфичностью (92,1%). Наиболее информативным параметром является стажевая доза вибрации, затем в порядке убывания: показатели 1-й, 2-й шкал ММРІ, межполушарная асимметрия по амплитуде в отведении Т3—Т4 тета-ритма, Fp1—Fp2 дельта-ритма, интегральный гипофизарно-надпочечниковый индекс.

Ограничения исследования. Исследование выполнено без учёта биохимических, иммунологических, иммуногенетических показателей.

Заключение. Основу комплекса психологических проявлений работающих в контакте с локальной вибрацией составляют два фактора, определяющие общие тенденции в формировании психоэмоционального состояния. Одновременное сочетание переменных, характеризующих экспозиционную нагрузку, состояние функциональной активности головного мозга, эндокринной системы, психоэмоционального состояния, следует рассматривать как факторы риска формирования ВБ.

Ключевые слова: локальная вибрация; индивидуальные особенности; информативные показатели; факторный анализ

Соблюдение этических стандартов. Исследование выполнено в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ ВСИМЭИ (заключения № 6 от 15.11.2012 г., № 2 от 21.12.2017 г.). Все участники дали информированное добровольное письменное согласие на участие в исследовании.

Для цитирования: Кулешова М.В., Панков В.А. Информативные показатели для групп риска работающих в контакте с локальной вибрацией. *Гигиена и санитария*. 2025; 104(9): 1131–1136. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1131-1136> <https://elibrary.ru/igqpau>

Для корреспонденции: Кулешова Марина Владимировна, e-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Участие авторов: Кулешова М.В. — концепция и дизайн исследования, набор и обработка материала, статистическая обработка, написание текста, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей; Панков В.А. — концепция исследования, набор, редактирование, утверждение окончательного варианта статьи, ответственность за целостность всех её частей.

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

Финансирование. Исследование выполнено в рамках средств, выделяемых для реализации государственного задания ФГБНУ «Восточно-Сибирский институт медико-экологических исследований».

Поступила: 03.07.2025 / Принята к печати: 19.09.2025 / Опубликовано: 20.10.2025

Marina V. Kuleshova, Vladimir A. Pankov

Informative indices for risk groups working in contact with hand-arm vibration

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

ABSTRACT

Introduction. The nature of occupational and work-related pathology and its clinical course are determined not only by the intensity of exposure to factors in the work environment, but also by the individual characteristics.

The purpose of the study is to assess the contribution of occupational factors and individual characteristics of workers and substantiate the most significant informative indices for forming risk groups for the development of vibration disease caused by exposure to local vibration.

Materials and methods. The studies were conducted on the basis of an information array of indices in practically healthy workers exposed to vibration and people with hand-arm vibration syndrome (HAVS). The principal component method with varimax rotation was used to identify factors and their structure. Logistic regression analysis was used to determine the influence of bioelectrical activity of the brain, the state of the endocrine system, and the psychological parameters on the probability of HAVS formation; ROC analysis to check the quality of the model was applied.

Results. Five main principal components, which together explain 62.79% and 69.84% of the variance, were identified in the group of practically healthy individuals and HAVS individuals, respectively. Emotional and personal variables dominate in the factor matrices of individuals in both groups; one-way direction of the structural unification of variables into factors is observed. A combination of factors with the maximum percentage of correctly predicted cases (93.8%) was established; the model has high sensitivity (94.9%) and specificity (92.1%). The most informative parameter is the experienced vibration dose, then in descending order — the indicators of the 1st and 2nd MMPI scales, interhemispheric asymmetry in amplitude in the T3—T4 lead of the theta rhythm, Fp1—Fp2 of the delta rhythm, the integral pituitary-adrenal index.

Limitations. The study was conducted without taking into account biochemical and immunological indices.

Conclusion. *The basis of the complex of psychological manifestations in workers exposed to hand-arm vibration is formed by two factors that determine the general trends in the formation of the psycho-emotional state. The simultaneous combination of variables — the vibration exposure dose, the state of the functional activity of the brain, the endocrine system, and the psycho-emotional state, should be considered as risk factors for the formation of HAVS.*

Keywords: *hand-arm vibration; individual characteristics; informative indicators; factor analysis*

Compliance with ethical standards. *The study was performed in accordance with ethical standards and approved by the Local Ethics Committee of the East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research (conclusion No. 6 dated November 15, 2012, conclusion No. 2 dated December 21, 2017). All participants gave informed voluntary written consent to participate in the study.*

For citation: Kuleshova M.V., Pankov V.A. Informative indices for risk groups working in contact with hand-arm vibration. *Gigiena i Sanitariya / Hygiene and Sanitation, Russian journal.* 2025; 104(9): 1131–1136. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2025-104-9-1131-1136> <https://elibrary.ru/igqpau> (In Russ.)

For correspondence: Marina V. Kuleshova, e-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Contribution: *Kuleshova M.V. — concept and design of the study, collection and processing of material, statistical processing, writing text, approval of the final version of the article, responsibility for the integrity of all parts of the article; Pankov V.A. — concept of the study, collection of material, editing. 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.

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

Received: July 3, 2025 / Accepted: September 19, 2025 / Published: October 20, 2025

Введение

Одно из основных направлений социальной политики Российской Федерации — сохранение и улучшение здоровья работающего населения, что требует разработки и выполнения целого комплекса мероприятий, включая профилактику хронических неинфекционных болезней, в том числе профессиональных и производственно обусловленных [1]. Известно, что в общей структуре хронической профессиональной патологии стабильно ведущие позиции занимает вибрационная болезнь [2], при этом по ряду причин зачастую её выявляют на поздних стадиях, когда наступают необратимые изменения в организме. Раннее обнаружение признаков воздействия неблагоприятных факторов рабочей среды и трудового процесса на организм работающих является главной задачей при изучении состояния здоровья работников [3, 4]. Следует отметить, что характер профессиональной и производственно обусловленной патологии, клиническое течение, осложнения определяются не только интенсивностью воздействия факторов производственной среды, но и индивидуальными особенностями организма, влиянием психологических, социальных и других факторов [5–7]. В настоящее время в России и за рубежом широко используются математико-статистические методы прогнозирования заболеваемости населения как в целом, так и в связи с отдельными болезнями [8–10]. Однако исследования, посвящённые разработке математических моделей развития профессиональных поражений, информативных маркёров негативного воздействия факторов на организм, немногочисленны [11–14].

Цель исследования — оценить вклад профессиональных факторов и индивидуальных особенностей работающих и обосновать наиболее значимые информативные показатели для формирования групп риска развития вибрационной болезни, вызванной воздействием локальной вибрации.

Материалы и методы

Исследования выполнены на основе информационного массива показателей функциональных систем организма работающих по профессии сборщик-клепальщик в условиях воздействия локальной вибрации (практически здоровые работники, $n = 67$, и лица с верифицированным диагнозом «вибрационная болезнь», $n = 42$) [15].

С целью выявления факторов (компонент), которые наиболее полно объясняют связи между переменными, а также для изучения их структуры использовали факторный анализ (метод главных компонент) с последующим варимакс-вращением [16]. Первоначально был выполнен анализ факторов риска в целом в группе обследованных, работающих в контакте с локальной вибрацией, затем отдельно —

в группе практически здоровых лиц и лиц с ВБ. При анализе структуры факторов были выделены: возрастно-стажевые характеристики (возраст, стаж работы, доза воздействующей вибрации (рассчитана в соответствии с [17]); параметры, характеризующие состояние функциональной активности головного мозга (основные ритмы ЭЭГ); параметры, характеризующие состояние эндокринной системы (тиротропный гормон, трийодтиронин, тироксин, кортизол, адренокортикотропный гормон); параметры, характеризующие состояние психоэмоциональной сферы и личностные особенности. Для анализа связи между несколькими независимыми и зависимой переменными, определения влияния биоэлектрической активности головного мозга, состояния эндокринной системы, психологических параметров на вероятность формирования ВБ был использован логистический регрессионный анализ, где зависимая переменная (y) — состояние здоровья (здоров либо болен), независимые переменные ($b_1, b_2 \dots b_n$) — количественные показатели изучаемых систем [18]. Коэффициенты уравнения считали значимыми при $p < 0,05$. Проверка качества регрессионной модели с точки зрения возможности качественной классификации зависимой переменной была проведена с помощью ROC-анализа, целью которого является проверка качества бинарной классификации с расчётом чувствительности (Se) и специфичности (Sp) [18].

Исходя из задач нашего исследования, касающихся выявления информативных показателей для формирования групп риска развития ВБ, были выбраны пороговые значения для классификации (точки отсечения) включённых в регрессионную модель переменных, характеризующие определённый баланс чувствительности и специфичности. Для оценки точности бинарной классификации строилась ROC-кривая, которая демонстрирует зависимость числа верно классифицированных, истинно положительных примеров от числа ложноотрицательных примеров для каждого значения точки отсечения. Для оценки качества модели также использовалась характеристика площади под ROC-кривой — AUC (Area Under Curve) (AUC 0,9–1 — отличное качество модели; 0,8–0,9 — очень хорошее; 0,7–0,8 — хорошее; 0,6–0,7 — среднее; 0,5–0,6 — неудовлетворительное).

Информацию обрабатывали с помощью пакета прикладных программ Microsoft Office 2003 (в ОС Windows XP), статистического программного обеспечения Jamovi. Исследования выполнены в соответствии с этическими стандартами Хельсинкской декларации Всемирной ассоциации «Этические принципы проведения научных медицинских исследований с участием человека», не ущемляли прав и не подвергали опасности благополучие субъектов исследования (заключения ЛЭК ФГБНУ ВСИМЭИ № 6 от 15.11.2012 г., № 2 от 21.12.2017 г.).

Характеристики модели логистической регрессии Characteristics of the logistic regression model

Показатель Index	B (SE)	Exp(B)	95% ДИ для Exp(B) 95% CI for Exp(B)
Константа / Constant	−12.958 (4.847)	—	—
Стажевая доза вибрации / Vibration dose	1.434 (0.421) $p = 0.001$	4.159	1.836–9.583
Ипохондрия / Hypochondria	0.184 (0.076) $p = 0.016$	1.202	1.035–1.396
Депрессия / Depression	−0.172 (0.070) $p = 0.014$	0.842	0.733–0.966
Асимметрия Fp1–Fp2 дельта-ритма Asymmetry Fp1–Fp2 delta-rhythm	0.166 (0.061) $p = 0.006$	1.181	1.049–1.329
Асимметрия Т3–Т4 тета-ритма / Asymmetry T3–T4 theta-rhythm	0.083 (0.042) $p = 0.050$	1.086	1.000–1.180
Интегральный гипофизарно-надпочечниковый индекс Integral pituitary-adrenal index	−0.287 (0.113) $p = 0.011$	0.751	0.601–0.937

Примечание. $R^2 = 0,965$ (Hosmer&Lemeshow), 0,653 (Cox&Snell), 0,884(Nagelkerke), χ^2 модели 101,688; $p < 0,00001$; SE — среднеквадратичная ошибка; Exp(B) — отношение шансов.

Note: $R^2 = 0.965$ (Hosmer & Lemeshow), 0.653 (Cox & Snell), 0.884 (Nagelkerke), χ^2 model 101.688; $p < 0.00001$; SE — standard error; Exp(B) — odds ratio.

Результаты

Выполненный факторный анализ в общей группе обследованных позволил выделить 6 основных компонент, которые в совокупности объясняли 67,87% дисперсии значений первичных переменных (критерий адекватности выборки КМО — 0,562; $p = 0,000001$), то есть суммарно выделенные компоненты объясняли изменчивость анализируемой переменной (ВБ) на 67,87%. Значения общей дисперсии 1-й, 2-й и 3-й компонент были близки, составив 17,5; 15,32 и 13,47% соответственно. В 1-й компоненте наибольшие факторные нагрузки (со значениями более 0,5) имели признаки: стажевая доза воздействующей вибрации (0,861), стаж работы (0,847), возраст (0,764), ипохондрия (0,698), эмоциональная лабильность (0,696), трийодтиронин (−0,587). Во 2-й компоненте признаками с факторной нагрузкой более 0,5 были психопатия (0,768), индивидуалистичность (0,758), психастения (0,757), ригидность (0,741); в третьей — социальная интроверсия (0,789), ситуативная тревожность (0,71), личностная тревожность (0,709), депрессия (0,588), оптимистичность (−0,554); в четвертой — индексы дельта- и альфа-ритмов (0,859 и −0,841 соответственно), аденокортикотропный гормон (0,544); в пятой — индексы бета-2- и тета-ритмов (0,713 и −0,654 соответственно); в шестой — кортизол и тироксин (0,629 и 0,589 соответственно). Значения общей дисперсии 4-й, 5-й и 6-й компонент составили 9,12; 6,34 и 6,12% соответственно.

Следует отметить, что в первом факторе присутствовали признаки, связанные как с трудовой деятельностью (стаж работы, стажевая доза), так и с особенностями проявлений психоэмоционального состояния (ипохондрия, эмоциональная лабильность), состоянием тиреоидного звена эндокринной системы (трийодтиронин), что позволяет предположить вклад в генез вибрационной болезни как профессиональных факторов, так и изменения основных функциональных систем, психоэмоционального состояния.

Далее нами была проведена раздельная оценка факторов в группе практически здоровых и лиц с ВБ. В группе практически здоровых выделено пять основных главных компонент. Выделенные факторы в совокупности объясняли 62,79% дисперсии значений первичных переменных (критерий адекватности выборки КМО — 0,709; $p = 0,000001$). В 1-й компоненте наибольшие факторные нагрузки имели признаки личностной тревожности (0,791), шкалы социальной интроверсии (0,784), ситуативной тревожности (0,642), депрессии (0,626), психастении (0,614), во второй компоненте — шкалы эмоциональной лабильности (0,871), ипохондрии (0,856), индивидуалистичности (0,672), в третьей —

возраст (0,849), стаж работы (0,839), тироксин (−0,583), в четвертой — шкалы оптимистичности (0,828) и ригидности (0,522), в пятой — кортизол (0,71) и аденокортикотропный гормон (0,707). Значения общей дисперсии 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й компонент составили 17,01; 16,49; 11,24; 10,61 и 7,44% соответственно. Некоторые признаки (тиреотропный гормон, трийодтиронин) имели уровень факторной нагрузки $< 0,5$, что может указывать на их меньший вес в структуре изменения состояния здоровья.

В группе лиц с ВБ также выделено пять основных главных компонент, которые в совокупности объясняли 69,84% дисперсии значений первичных переменных (критерий адекватности выборки КМО — 0,782; $p = 0,000001$). В 1-й компоненте наибольшие факторные нагрузки имели признаки шкалы эмоциональной лабильности (0,877), ипохондрии (0,862), индивидуалистичности (0,823), психастении (0,807), психопатии (0,79), ригидности (0,594), во второй — шкалы социальной интроверсии (0,812), ситуативной тревожности (0,731), депрессии (0,607), личностной тревожности (0,576), в третьей — возраст (0,894) и стаж работы (0,889), в четвертой — кортизол (0,759), аденокортикотропный гормон (0,755) и трийодтиронин (−0,592), в пятой — тироксин (0,802), шкала оптимистичности (0,69). Значения общей дисперсии 1-й, 2-й, 3-й, 4-й и 5-й компонент составили 26,12; 14,92; 12,1; 9,6 и 8,1% соответственно.

Для определения влияния состояния биоэлектрической активности головного мозга, гипоталамо-гипофизарно-надпочечникового и гипоталамо-гипофизарно-тиреоидного звеньев эндокринной системы, психологических параметров на вероятность формирования ВБ были построены логистические регрессионные модели. Однако некоторые из них имели низкие характеристики статистической значимости, что не позволяло адекватно описать модель прогноза развития ВБ. На основе этих данных была найдена с применением метода перебора всех анализируемых факторов комбинация факторов с максимальным значением процента верно спрогнозированных случаев (93,8%). Построенная модель обладала высокой чувствительностью (94,9%) и специфичностью (92,1%) для прогнозирования формирования ВБ (см. таблицу).

Для оценки диагностической эффективности модели был проведен ROC-анализ, позволяющий выбрать оптимальный порог значения, выявить наиболее значимые критерии. Установлено, что модель способна хорошо выдавать относительные оценки, которые помогают различать положительные и отрицательные случаи, о чём свидетельствует площадь под ROC-кривой (AUC). Следует отметить, что наиболее информативным параметром, участвующим

в анализе, является стажевая доза вибрации ($AUC = 0,943$; $p = 0,0001$; чувствительность 100%; специфичность 70,7%), затем в порядке убывания: показатели 1-й ($AUC = 0,799$; $p = 0,0001$; чувствительность 92,4%, специфичность 74,1%) и 2-й ($AUC = 0,721$; $p = 0,0002$; чувствительность 86,78%; специфичность 69%) шкал ММРІ, межполушарная асимметрия по амплитуде в отведении Т3–Т4 тета-ритма ($AUC = 0,704$; $p = 0,001$; чувствительность 84,2%; специфичность 55,2%) и Fp1–Fp2 дельта-ритма ($AUC = 0,695$; $p = 0,001$; чувствительность 86,8%; специфичность 70,7%). Несмотря на статистическую значимость интегрального гипофизарно-надпочечникового индекса, AUC для этой переменной составляет менее 0,5 ($AUC = 0,324$; $p = 0,004$; чувствительность 73,7%; специфичность 86,2%). Также выявлены точки отсечения анализируемых переменных для выделения лиц с ВБ: превышение предельной стажевой дозы вибрации в 2,25 и более раза, повышение показателя по шкале 1 (ипохондрия) > 55,5 Т-баллов, показателя по шкале 2 (депрессия) > 52 Т-баллов, увеличение межполушарной асимметрии по амплитуде в отведении Fp1–Fp2 дельта-ритма > 4,12%, в отведении Т3–Т4 тета-ритма > 1,19%, увеличение интегрального гипофизарно-надпочечникового индекса > 2,66 усл. ед.

Обсуждение

Факторные матрицы, полученные для группы практически здоровых работников и лиц с ВБ, в целом схожи, что проявлялось доминированием эмоционально-личностных переменных и однонаправленностью структурного объединения переменных в факторы. При этом следует отметить разную относительную значимость общих факторов. Так, в группе практически здоровых работников наибольшую долю дисперсии объясняло сочетание переменных, которые можно обозначить как «психоэмоциональный дискомфорт», поскольку входящие в этот фактор параметры в целом связаны с эмоциональной напряженностью и трудностями адаптации. Личностная и ситуативная тревожность отражали склонность к беспокойству, переживание эмоционального дискомфорта, черты неуравновешенности, эмоциональной неустойчивости [19, 20], шкала 2 — тревогу и депрессивные тенденции, шкала 0 — степень включенности в социальную среду [21]. В то же время в группе лиц с ВБ сочетание этих переменных формировало второй фактор (14,92%). Первый фактор в матрице лиц с ВБ представлен переменными: «шкала 3 (эмоциональная лабильность)», «шкала 1 (ипохондрия)», «шкала 8 (индивидуалистичность)», «шкала 7 (психастения)», «шкала 4 (импульсивность)», «шкала 6 (ригидность)», которые объясняют 26,12% общей дисперсии. Поскольку шкалы 1, 3 входят в структуру невротической триады [21], шкала 8 относится к шкалам межличностного функционирования и отражает стиль социального взаимодействия, шкалы 1 и 7 объединены характерной чертой — тревожностью (при этом тревога может трансформироваться в функциональные нарушения, высока вероятность поведенческих реакций с целью завоевания удобной социальной позиции или ухода от ответственности), этот фактор в матрице лиц с ВБ можно обозначить как «проявления дезадаптации». Таким образом, основу комплекса различных психологических проявлений у работающих в контакте с локальной вибрацией составляют два фактора, которые определяют общие тенденции в формировании психоэмоционального состояния. Тем не менее факторная структура латентных конструктов в группах отличается. Так, в группе лиц с ВБ переменные, формирующие фактор «проявления дезадаптации», могут являться устойчивым паттерном индивидуально-личностной основы при сформированной профессиональной патологии и отражать влияние болезни на организацию исследуемых латентных конструктов, в то время как в факторной структуре у практически здоровых лиц только часть пере-

менных из фактора группы обследованных с ВБ формировала этот фактор, что может указывать на то, что исследуемые конструкты имеют разную организацию и значение в норме и патологии. Кроме того, одни и те же наблюдаемые переменные могут отражать разные механизмы, лежащие в их основе, о чём свидетельствуют приведённые выше данные.

Выполненный логистический регрессионный анализ и оценка диагностической эффективности построенной модели показали, что ключевым этиологическим фактором и хорошим скрининговым маркером для оценки риска формирования ВБ является стажевая доза воздействующей вибрации, однако важно учитывать, что при чувствительности 100% специфичность этого параметра составляет 70,7%, то есть ВБ формируется не у всех, а только у части работающих в контакте с локальной вибрацией. Выявленная высокая диагностическая ценность ($AUC > 0,7$) психометрических параметров указывает на хорошую различительную способность этих шкал, что свидетельствует о сильной связи болезни с определёнными психологическими особенностями, а повышенные показатели могут являться маркером риска (наличия) болезни, однако не патогномичным. Полученные результаты также подтверждают, что межполушарная асимметрия по амплитуде может быть маркером нейрофизиологических изменений, но умеренная специфичность этих параметров (55,2–70,7%) показывает, что они, вероятнее всего, отражают последствия воздействия вибрации на ЦНС. Важно, что включённый в модель интегральный гипофизарно-надпочечниковый индекс обладает высокой специфичностью (86,2%) при умеренной чувствительности (73,7%), но AUC составляет менее 0,5. Можно предположить, что классификатор действует с точностью до наоборот, то есть состояние «болен» считает «здоровым», а состояние «здоров» — «больным», однако результаты исследований некоторых авторов [4, 22, 23] свидетельствуют об изменениях в функционировании гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой оси эндокринной регуляции. По нашему мнению, интегральный гипофизарно-надпочечниковый индекс следует рассматривать в качестве диагностического признака, так как в случае его увеличения у работника запускается «каскад» гормональных перестроек гипоталамо-гипофизарно-надпочечниковой системы и гормональная система находится в состоянии напряжения.

Ограничения исследования. Исследование имеет ограничение, так как выполнено без учёта биохимических, иммунологических и иммуногенетических показателей.

Заключение

Результаты выполненного исследования показали, что основу комплекса различных психологических проявлений работающих в контакте с локальной вибрацией составляли два фактора, которые определяли общие тенденции в формировании психоэмоционального состояния. Диагностическая модель для прогнозирования формирования ВБ, включающая комбинацию параметров, характеризующих экспозиционную нагрузку, состояние функциональной активности головного мозга и эндокринной системы, психоэмоционального состояния, является высокочувствительной (94,9%) и специфичной (92,1%), при этом одновременное сочетание вошедших в модель переменных следует рассматривать как факторы риска формирования ВБ. Предлагаемая модель может быть использована в диагностике ВБ. Следует также отметить, что значения стажевой дозы вибрации, шкал 1 и 2 ММРІ без включения дополнительных переменных могут быть полезным инструментом скрининга. Выполненное исследование дополняет теоретические представления о кофакторной части патогенеза вибрационной болезни и открывает новые возможности для практической реализации научно обоснованных направлений профилактики и лечения.

Литература

- Бухтияров И.В., Кузьмина Л.П., Измерова Н.И., Головкова Н.П., Непершина О.П. Совершенствование механизмов выявления ранних признаков нарушения здоровья для сохранения трудового долголетия. *Медицина труда и промышленная экология*. 2022; 62(6): 377–87. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-6-377-387> <https://elibrary.ru/iatkio>
- Государственный доклад «О санитарно-эпидемиологической обстановке в Иркутской области в 2022 году». Иркутск; 2023.
- Измеров Н.Ф. ред. *Профессиональная патология: национальное руководство*. М.; 2011: 429–62.
- Павловская Н.А. Значение выбора информативных лабораторных биомаркеров для ранней диагностики профессиональных заболеваний. *Медицина труда и промышленная экология*. 2019; 59(1): 51–4. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-1-51-54> <https://elibrary.ru/zbwjgr>
- Шаяхметов С.Ф., Дьякович М.П. Методические аспекты оценки профессионального риска работающих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2007; 47(6): 21–6. <https://elibrary.ru/kgflfv>
- Панков В.А., Дьякович М.П. Применение модельных исследований в задаче прогнозирования развития вибрационной болезни. *Медицина труда и промышленная экология*. 2003; 43(3): 1–5. <https://elibrary.ru/oxfbvz>
- Кузьмина С.В., Гарипова Р.В., Яхин К.К. Особенности формирования психической дезадаптации у работников производства порохов. *Пермский медицинский журнал*. 2020; 37(6): 111–22. <https://doi.org/10.17816/pmj376111-122>
- Мясоедова М.А., Стародубцева Л.В., Титова А.В. Математические модели прогнозирования и ранней диагностики заболеваний иммунной системы у работников электроэнергетических предприятий. *Известия Юго-Западного государственного университета. Серия: Управление, вычислительная техника, информатика. Медицинское приборостроение*. 2019; 9(3): 160–72. <https://elibrary.ru/enkbgf>
- Zhang X., Chen S., Lai K., Chen Z., Wan J., Xu Y. Machine learning for the prediction of acute kidney injury in critical care patients with acute cerebrovascular disease. *Ren. Fail.* 2022; 44(1): 43–53. <https://doi.org/10.1080/0886022x.2022.2036619>
- Тростянский С.Н., Тростянский А.С. Математическое моделирование зависимости уровня первичной заболеваемости алкоголизмом, наркоманией и токсикоманией от социально-экономических показателей. *Прикладная математика & Физика*. 2021; 53(2): 144–58. <https://doi.org/10.52575/2687-0959-2021-53-2-144-158> <https://elibrary.ru/kyvocv>
- Sarkar S., Vinay S., Maiti J. Text mining based safety risk assessment and prediction of occupational accidents in a steel plant. In: *International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies*. IEEE; 2016: 439–44. <https://doi.org/10.1109/ICCTICT.2016.7514621>
- Антошина Л.И., Павловская Н.А., Яцына И.В. Информативные лабораторные биомаркеры для выявления негативного воздействия вибрации на организм рабочих. *Клиническая лабораторная диагностика*. 2015; 60(1): 19–23. <https://elibrary.ru/tjwuyf>
- Кулешова М.В., Панков В.А., Дьякович М.П. Применение метода нормированных интенсивных показателей для прогнозирования профессиональной заболеваемости в ведущих отраслях промышленности. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(9): 1058–64. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1058-1064> <https://elibrary.ru/zzqgus>
- 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): 1049–55. <https://elibrary.ru/zoalal>
- Панков В.А., Кулешова М.В., Иванов А.Г., Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И., Лизарев А.В. и др. Показатели функциональных систем организма, работающих в контакте с локальной вибрацией: динамическое наблюдение. Свидетельство о государственной регистрации базы данных № 2016620135; 2016. <https://elibrary.ru/wdqacz>
- Митина О.В., Михайловская И.Б. *Факторный анализ для психологов*. М.; 2001. <https://elibrary.ru/qxqofz>
- Денисов Э.И. Доза вибрации и методы её определения. *Гигиена труда и профессиональные заболевания*. 1985; (2): 19–22.
- Михаилевич И.М., Юрьева Т.Н. Логистическая регрессия и ROC-анализ в ППП MedCalc при анализе медико-биологической информации: учебное пособие. Иркутск; 2021. <https://elibrary.ru/eethhw>
- Спилбергер Ч.Д. Концептуальные и методологические проблемы исследования тревоги. В кн.: *Стресс и тревога в спорте*. М.; 1993: 12–24.
- Соловьева С.Л. Тревога и тревожность: теория и практика. *Медицинская психология в России*. 2012; (6): 14. <https://elibrary.ru/wihett>
- Собчик Л.Н. Стандартизированный многофакторный метод исследования личности СМЛ. СПб.: Речь; 2002.
- Бодиевкова Г.М., Курчевенко С.И. Нейроиммунноэндокринные взаимоотношения при воздействии локальной вибрации на работающих. *Медицина труда и промышленная экология*. 2015; 55(4): 39–42. <https://elibrary.ru/rshsie>
- Лапко И.В. Выбор информативных биомаркеров для ранней диагностики профессиональных неврологических заболеваний. *Гигиена и санитария*. 2021; 100(9): 953–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-953-958> <https://elibrary.ru/pkptfy>

References

- Bukhriyrov I.V., Kuzmina L.P., Izmerova N.I., Golovkova N.P., Nepershin O.P. Improvement of mechanisms of detecting early signs of health disorders for preservation labour longevity. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2022; 62(6): 377–87. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2022-62-6-377-387> <https://elibrary.ru/iatkio> (in Russian)
- State report «On the sanitary and epidemiological welfare of the population in the Irkutsk region in 2022». Irkutsk; 2023. (in Russian)
- Izmerov N.F., ed. *Occupational Diseases: National Manual [Professional'naya patologiya: natsional'noe rukovodstvo]*. Moscow; 2011: 429–62. (in Russian)
- Pavlovskaya N.A. Importance of selecting informative laboratory biomarkers for the early diagnosis of occupational diseases. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2019; 59(1): 51–4. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2019-1-51-54> <https://elibrary.ru/zbwjrr> (in Russian)
- Shayakhmetov S.F., Dyakovich M.P. Methodic aspects of evaluating occupational risk in workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2007; 47(6): 21–6. <https://elibrary.ru/kgflfv> (in Russian)
- Pankov V.A., Dyakovich M.P. Using simulation experiments to forecast vibration disease development. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2003; 43(3): 1–5. <https://elibrary.ru/oxfbvz> (in Russian)
- Kuzmina S.V., Garipova R.V., Yakhin K.K. Features of mental deadaptation formation in powder production workers. *Permskii meditsinskii zhurnal*. 2020; 37(6): 111–22. <https://doi.org/10.17816/pmj376111-122> (in Russian)
- Myasodova M.A., Starodubtseva L.V., Titova A.V., Shulga L.V. Mathematical models for prediction and early diagnosis of diseases of the immune system in workers of electric power companies. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: Upravlenie, vychislitel'naya tekhnika, informatika. Meditsinskoe priborostroenie*. 2019; 9(3): 160–72. <https://elibrary.ru/enkbgf> (in Russian)
- Zhang X., Chen S., Lai K., Chen Z., Wan J., Xu Y. Machine learning for the prediction of acute kidney injury in critical care patients with acute cerebrovascular disease. *Ren. Fail.* 2022; 44(1): 43–53. <https://doi.org/10.1080/0886022x.2022.2036619>
- Trostyansky S.N., Trostyansky A.S. Mathematical modeling of dependence of the primary morbidity level-alcoholism, drug addiction, toxicomania – on social and economic indices. *Prikladnaya matematika & Fizika*. 2021; 53(2): 144–58. <https://doi.org/10.52575/2687-0959-2021-53-2-144-158> <https://elibrary.ru/kyvocv> (in Russian)
- Sarkar S., Vinay S., Maiti J. Text mining based safety risk assessment and prediction of occupational accidents in a steel plant. In: *International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies*. IEEE; 2016: 439–44. <https://doi.org/10.1109/ICCTICT.2016.7514621>
- Antoshina L.I., Pavlovskaya N.A., Iatsina I.V. The informative laboratory biomarkers for detection of negative impact of vibration on organism of workers. *Klinicheskaya laboratornaya diagnostika*. 2015; 60(1): 19–23. <https://elibrary.ru/tjwuyf> (in Russian)
- Kuleshova M.V., Pankov V.A., Dyakovich M.P. Application of the Intensity Normalization Indicators method for predicting occupational morbidity in leading industries. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(9): 1058–64. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-9-1058-1064> <https://elibrary.ru/zzqgus> (in Russian)
- 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): 1049–55. <https://elibrary.ru/zoalal> (in Russian)
- Pankov V.A., Kuleshova M.V., Ivanov A.G., Bodienkova G.M., Kurchevko S.I., Lizarev A.V., et al. Indicators of functional systems of the body working in contact with local vibration: dynamic observation. Certificate of state registration of the database No. 2016620135; 2016. <https://elibrary.ru/wdqacz> (in Russian)
- Mitina O.V., Mikhailovskaya I.B. *Factor Analysis for Psychologists [Faktorniy analiz dlya psikhologov]*. Moscow; 2001. (in Russian)
- Denisov E.I. Vibration dose and methods of its determination. *Gigiena truda i professional'nye zabolevaniya*. 1985; (2): 19–22. (in Russian)
- Mikhailovich I.M., Yuryeva T.N. Logistic Regression and ROC Analysis in the MedCalc Software Package when Analyzing Medical and Biological Information: A Tutorial [Logisticheskaya regressiya i ROC-analiz v PPP MedCalc pri analize mediko-biologicheskoi informatsii: uchebnoe posobie]. Irkutsk; 2021. <https://elibrary.ru/eethhw> (in Russian)
- Spielberger Ch.D. Conceptual and methodological problems of anxiety research. In: *Stress and Anxiety in Sports [Stress i trevoga v sporte]*. Moscow; 1993: 12–24. (in Russian)

20. Solovieva S.L. Anxiety: theory and practice. *Medical Psychology in Russia*. 2012; (6): 14. <https://elibrary.ru/wihett> (in Russian)
21. Sobchik L.N. Standardized Multifactorial Method of Personality Research SMPR [Standartizirovannyi mnogofaktorny metod issledovaniya lichnosti SMIL]. St. Petersburg: Rech'; 2002. (in Russian)
22. Bodienkova G.M., Kurchevenko S.I. Neuroimmune endocrine relationships under exposure to local vibration in workers. *Meditsina truda i promyshlennaya ekologiya*. 2015; 55(4): 39–42. <https://elibrary.ru/rshsie> (in Russian)
23. Lapko I.V. Selecting informative biomarkers for early diagnosis of occupational neurological diseases. *Gigiena i Sanitaria (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2021; 100(9): 953–8. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2021-100-9-953-958> <https://elibrary.ru/pkptfy> (in Russian)

Сведения об авторах

Кулешова Марина Владимировна, канд. биол. наук, ст. науч. сотр. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665826, Ангарск, Россия. E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Панков Владимир Анатольевич, доктор мед. наук, зав. лаб. эколого-гигиенических исследований ФГБНУ ВСИМЭИ, 665826, Ангарск, Россия. E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Information about authors

Marina V. Kuleshova, PhD (Biology), senior researcher, Ecological and hygienic research laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0001-9253-2028> E-mail: lmt_angarsk@mail.ru

Vladimir A. Pankov, DSc (Medicine), head, Ecological and hygienic research laboratory, East-Siberian Institute of Medical and Ecological Research, Angarsk, 665826, Russian Federation, <https://orcid.org/0000-0002-3849-5630> E-mail: lmt_angarsk@mail.ru