

EDN: <https://elibrary.ru/vjpooz>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-6-378-386>

УДК 616-053-2-036:12-02.613.865

© Коллектив авторов, 2024

Глухов Д.В., Юшкова О.И., Капустина А.В., Форверц А.Ю., Костенко Н.А.

Физиологическая оценка функционального состояния работников нервно-эмоционального труда различного возраста по результатам предсменного контроля

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт медицины труда имени академика Н.Ф. Измерова», 31, пр-т Будённого, Москва, 105275

Введение. Современные условия трудовой деятельности формируют высокое напряжение регуляторных механизмов системы кровообращения со снижением функциональных возможностей организма работников, которое ведёт к развитию донозологических состояний. Определение индекса Мызникова направлено на выделение лиц с различным уровнем адаптации к факторам трудового процесса и риском формирования преморбидных состояний.

Цель исследования — оценить информативность индекса Мызникова при персонализированном подходе определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы работников нервно-эмоционального труда.

Материалы и методы. Физиологическая характеристика функционального состояния организма работников локомотивных бригад проведена по данным предсменного медицинского контроля. Математическим методом по показателям частоты сердечных сокращений, артериального давления, рассчитана величина индекса Мызникова и его идеальное значение. Полученный коэффициент соответствия позволил оценить функциональное состояние от допустимого состояния до перенапряжения. Рассчитывался вегетативный индекс Кердо. Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26.

Результаты. Исследованиями установлено у машинистов и помощников машинистов локомотивов в четырёх возрастных группах статистически значимые различия показателей гемодинамики ($p < 0,02$). С помощью индивидуального анализа установлена более однородная гистограмма показателей индекса Мызникова у работников в возрасте 55–59 лет по сравнению с возрастной группой 30–34 лет, что подтверждается данными вегетативного индекса Кердо. Величины индекса Мызникова соответствуют состоянию функционального напряжения в 11,0–16,7% случаев.

Заключение. Группа машинистов ОАО «РЖД» является группой повышенного риска перенапряжения и развития производственно обусловленных заболеваний сердечно-сосудистой системы. Персонализированный анализ показателей гемодинамики при предрейсовом медицинском осмотре выявил величины индекса Мызникова, соответствующие неблагоприятному функциональному состоянию, что может снижать уровень безопасности движения. Оценка стадий адаптационного процесса позволит дифференцированно подойти к научному обоснованию оздоровительных мероприятий.

Ограничения исследования. Имеются ограничения, обусловленные особенностями сбора (получения) физиологических данных при проведении предрейсовых медицинских осмотров.

Этика. Исследование одобрено локальным этическим комитетом ФГБНУ «НИИ МТ» (протокол № 1 от 16 февраля 2022 г.).

Ключевые слова: нервно-эмоциональная напряжённость труда; математический метод; индекс Мызникова; вегетативный индекс Кердо; перенапряжение

Для цитирования: Глухов Д.В., Юшкова О.И., Капустина А.В., Форверц А.Ю., Костенко Н.А. Физиологическая оценка функционального состояния работников нервно-эмоционального труда различного возраста по результатам предсменного контроля. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(6): 378–386. <https://elibrary.ru/vjpooz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-6-378-386>

Для корреспонденции: Капустина Ангелина Владимировна, e-mail: ft-matuhin@mail.ru

Участие авторов:

Глухов Д.В. — концепция и дизайн исследования;

Юшкова О.И. — написание текста, редактирование;

Капустина А.В. — сбор и обработка материала, написание текста;

Форверц А.Ю. — сбор и обработка материала, редактирование.

Костенко Н.А. — сбор, обработка материала.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Дата поступления: 02.05.2024 / Дата принятия к печати: 25.06.2024 / Дата публикации: 31.07.2024

Dmitry V. Glukhov, Olga I. Yushkova, Angelina V. Kapustina, Anna Yu. Forwerths, Natalia A. Kostenko

Physiological assessment of the functional state of workers in neuro-emotional labor of different ages according to the results pre-shift control

Izmerov Research Institute of Occupational Health, 31, Budyonnogo Ave, Moscow, 105275

Introduction. Modern working conditions create high tension in the regulatory mechanisms of the circulatory system with a decrease in the functional capabilities of the workers' body, which leads to the development of pre-nosological conditions. The determination of the Myznikov index is aimed at identifying individuals with different levels of adaptation to factors of the labor process and the risk of developing premorbid conditions.

The study aims to evaluate the information content of the Myznikov index in a personalized approach to determining the functional state of the cardiovascular system of workers in neuro-emotional labor.

Materials and methods. Specialists have conducted a physiological characterization of the functional state of the body of locomotive crew workers according to the data of pre-shift medical control. Using a mathematical method based on heart rate and blood pressure, the authors have calculated the value of the Myznikov index and its ideal value. The obtained compliance coefficient made it possible to assess the functional state from acceptable to overvoltage. The Kerdo vegetative index was calculated. The researchers conducted statistical processing of the data obtained using IBM SPSS Statistics 26 software.

Results. Research has established statistically significant differences in hemodynamic parameters among locomotive drivers and assistant drivers in four age groups ($p < 0.02$). Individual analysis established a more homogeneous histogram of Myznikov index indicators in workers aged 55–59 years compared to the age group 30–34 years, which is confirmed by the data of the Kerdo vegetative index. The values of the Myznikov index correspond to the state of functional tension in 11.0–16.7% of cases.

Conclusion. The group of machinists of JSC Russian Railways are at increased risk of overexertion and the development of work-related diseases of the cardiovascular system. A personalized analysis of hemodynamic parameters during a pre-trip medical examination revealed values of the Myznikov index corresponding to an unfavorable functional state, which may reduce the level of traffic safety. Assessing the stages of the adaptation process will allow a differentiated approach to the scientific substantiation of health-improving measures.

Limitation. There are limitations due to the peculiarities of collecting (obtaining) physiological data during pre-trip medical examinations.

Ethics. The study was approved by the local Ethics Committee of the Izmerov Research Institute of Occupational Health (protocol No. 4 of 04.14.2021).

Keywords: neuro-emotional stress of labor; mathematical method; Myznikov index; Kerdo vegetative index; overexertion

For citation: Glukhov D.V., Yushkova O.I., Kapustina A.V., Forverts A.Yu., Kostenko N.A. Physiological assessment of the functional state of workers in neuro-emotional labor of different ages according to the results pre-shift control. *Med. truda i prom. ekol.* 2024; 64(6): 378–386. <https://elibrary.ru/vjpooz> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-6-378-386> (in Russian)

For correspondence: Angelina V. Kapustina, e-mail: ft-matuhin@mail.ru

Contribution:

Glukhov D.V. — concept and design of the study;

Yushkova O.I. — text writing, editing;

Kapustina A.V. — collecting and processing material, text writing;

Forverts A.Yu. — collection and processing of material, editing;

Kostenko N.A. — collection, processing of material.

Funding. The study had no funding.

Conflict of interests. The authors declare no conflict of interests

Received: 05.02.2024 / Accepted: 06.25.2024 / Published: 31.07.2024

Введение. Современные условия трудовой деятельности формируют высокое напряжение регуляторных систем со снижением функциональных возможностей организма работников, которое ведёт к перенапряжению адаптационных механизмов и срыву адаптации, что может привести к донозологическим преморбидным состояниям и развитию патологии [1–3]. Методы донозологической диагностики направлены на выделение лиц с различным уровнем адаптации к факторам трудового процесса и производственной среды, что даёт возможность определять риск формирования заболеваний [4–8].

Существующие методы определения индивидуальных величин показателей системы кровообращения (ИПСК), в первую очередь минутного объёма кровообращения (МО) и общего периферического сопротивления (ОПС), основаны на соотношениях анатомических и функциональных показателей. По мнению С.С. Зимницкого (1926) [9] такое смещение анатомических и функциональных показателей оказалось методологически неверным. Как указывают В.В. Довгуша и И.Л. Мызников (2010), донозологическая диагностика требует более надёжных ИПСК, рассчитываемых на основе функциональных закономерностей, что послужило причиной разработки математического метода (ММ) [10].

В связи с этим особую актуальность приобретает оценка информативных индексов и показателей системы кровообращения с учётом персонализированного подхода для донозологической диагностики функционального состояния [11–14].

Цель исследования — оценить информативность индекса Мызникова (ИМ) при персонализированном подходе определения функционального состояния сердечно-сосудистой системы работников нервно-эмоционального труда.

Материалы и методы. Исследования включали профессиографический анализ трудовой деятельности, физиологическую характеристику функционального состояния организма работников по данным предсменного медицин-

ского контроля, математико-статистические методы исследования. Профессиографические исследования были направлены на оценку класса условий труда в соответствии с Р 2.2.2006-05 [15].

Объектом исследования являлись работники железнодорожного транспорта: машинисты локомотивов — 1151 (средний возраст $39,88 \pm 10,27$ года), помощники машиниста — 1276 (средний возраст $39,98 \pm 10,63$ года). На основе банка данных системы ОАО «РЖД» предрейсового медицинского осмотра из базы данных автоматизированной системы предрейсового медицинского осмотра АСПО КАПД-01-СТ и КАПД-02-СТ был создан Dataset физиологических характеристик параметров гемодинамики, выделены возрастные группы лиц молодого (20–29 лет (1), 30–39 (2)), и среднего (40–49 (3), 50–59 (4)) возраста.

В работе использовался метод многоразового предсменного измерения артериального давления и других показателей сердечно-сосудистой системы (ССС) машинистов локомотивов и помощников машинистов ОАО «РЖД». Работники локомотивных бригад работали не менее 1 года в условиях сменного рабочего графика, выходили на работу с 6 утра до 12 часов дня. Для анализа были выбраны следующие показатели гемодинамики: артериальное давление систолическое (АДс, мм рт. ст.), артериальное давление диастолическое (АДд, мм рт. ст.), частота сердечных сокращений (ЧСС) (уд./мин), артериальное давление пульсовое (АДп, мм рт. ст.), артериальное давление среднединамическое (АДср, мм рт. ст.), минутный объём крови (МОК, мл), периферическое сопротивление сосудов (ПС, дн·с·см⁻⁵).

По показателям гемодинамики математический метод позволяет определить показатели системы кровообращения (ПСК) с помощью формул, в которых в качестве переменных членов используют величины частоты сердечных сокращений (ЧСС) уд./мин и артериального давления (АД) мм рт. ст. Математический метод предусматривает расчёт индекса Мызникова по формуле [16, 17]:

$$ИМ = ЧСС \times АДс / АДд \quad (1).$$

При этом идеальный индекс Мызникова определяется по формуле:

$$^{\circ}ИМ = ^{\circ}ЧСС \times АДс / ^{\circ}АДд \quad (2).$$

Оценка ИПСК осуществляется с помощью коэффициента соответствия (КСпск) или отношения ПСК к идеальной величине этого ПСК («ПСК») в процентах по формуле [10, 16, 17]. Коэффициент соответствия ИМ рассчитывается по формуле:

$$КС_{ИМ} = 100 \times \frac{ИМ}{^{\circ}ИМ} \% \quad (3)$$

Данный коэффициент показывает, насколько ИМ выше норматива и позволяет сопоставить полученное значение КСим с диагностическими критериями функциональных состояний у работников различных профессиональных групп по величине индекса [10].

Математический метод предусматривает по рассчитанным значениям ИМ выделять уровни адаптации к факторам трудового процесса и производственной среды: дезадаптация, удовлетворительная адаптация, функциональное напряжение, перенапряжение физиологических систем.

Рассчитывался и сравнивался с ИМ вегетативный индекс Кердо (ВИК) по формуле [18–22]:

$$ВИК = \left(1 - \frac{АДд}{ЧСС}\right) \times 100 \quad (4)$$

ВИК используется для определения состояния вегетативной нервной системы (ВНС). Положительное значение ВИК указывает на преобладание симпатического, а отрицательное значение — парасимпатического тонуса вегетативной нервной системы, нулевое значение ВИК — баланс отделов.

Статистическая обработка полученных данных проводилась с использованием программного обеспечения IBM SPSS Statistics 26.

Исследуемые в работе переменные являлись метрическими, объём выборки составлял более 1000 человек, сравнение групп проводилось при помощи методов параметрической статистики — *t*-критерия Стьюдента для независимых выборок и однофакторного дисперсионного анализа с определением гомогенности выборки при помощи теста Ливена (*Levene's test*). Для гомогенной выборки при расчёте ANOVA применялся критерий Фишера и апостериорный критерий Тьюки, в случае неоднородности дисперсий — робастный критерий Уэлча и апостериорный критерий Геймса-Хоуэлла. Оценка размера эффекта, т. е. доля дисперсии, объясняемой данной переменной, определялась критериями частичного эта-квадрата (η^2).

Для выявления наличия связи между двумя категориальными переменными был применён критерий χ^2 .

Различия считали статистически значимыми при $p < 0,05$.

Результаты. Профессиографический анализ деятельности работников локомотивных бригад показал, что напряжённость труда у них определяется высоким уровнем эмоциональной, сенсорной нагрузки и режимом работы, включая выраженную длительность сосредоточенного наблюдения, большую плотность сигналов, высокую ответственность, сменный график с работой в ночную смену, дефицит времени, нехватка или избыток информации для

принятия решения, повышенная сложность выполняемых задач, готовность к действиям в экстремальных условиях. Высокие интеллектуальные нагрузки приводят к напряжению высших психических функций (концентрации внимания, кратковременной и долговременной памяти, восприятию большого количества зрительных и слуховых сигналов). Согласно Р 2.2.2006-05, труд машиниста по напряжённости труда относится к вредному 3 классу 2 степени.

Труд у помощников машинистов отличается небольшим объёмом поступающей и обрабатываемой информации и решением простых производственных задач. Общая оценка напряжённости трудового процесса позволила установить соответствие труда изучаемой профессиональной группы 2-му допустимому классу.

Анализ полученных результатов исследования гемодинамики выявил соответствие показателей ЧСС физиологической норме (72,0–80,0 уд./мин) у машинистов (I) и помощников локомотивов (II) всех возрастных групп (*табл. 1*).

Значения АДд с возрастом повышаются и статистически отличаются от лиц более молодого возраста: критерий Тьюки выявил различия между исследуемыми группами ($p=0,000$), кроме 3-й и 4-й у машинистов, и всеми группами у помощников ($p=0,000$). Сопоставление значений АДд у работников локомотивных бригад с физиологическими нормами напряжения организма при умственном труде выявило соответствие полученных результатов физиологическим нормативным значениям до 85,0 мм рт. ст. Для лиц старше 50 лет средние уровни АДд принимаются выше указанных величин, что составляет 90,0 мм рт. ст. Уровни АДс у машинистов и помощников локомотивов находились в пределах физиологической нормы (130 и 140 мм рт. ст.) у лиц всех возрастных групп, включая лиц старшего возраста; у помощников среднегрупповые показатели АДс незначительно увеличивались с возрастом.

Повышенные значения АДср наблюдались у лиц всех возрастных групп, особенно у лиц возрасте 50–59 лет, что указывает на риск формирования артериальной гипертензии. Отмечено, что минутный объём крови последовательно снижался с увеличением возраста. Периферическое сосудистое сопротивление увеличивалось у работников локомотивных бригад в динамике возрастных изменений, что является неблагоприятным признаком, свидетельствующим об ухудшении состояния ССС.

Однофакторный дисперсионный анализ гемодинамики по критерию Фишера выявил статистически значимые различия у машинистов четырёх возрастных групп по показателям:

- ЧСС между группами (1) и (4) $T(3, 633,909)=9,047$, $p=0,000$;
- АДс между группами (1) и (3), (4) $F(3, 1148)=21,802$, $p=0,000$;
- АДд между всеми группами $F(3, 1148)=63,763$, $p=0,000$.

Наблюдались статистически значимые различия у машинистов по расчётным показателям:

- АД среднее динамическое между группами (1) и (3), (4) $F(3, 1148)=25,087$, $p=0,000$;
- МО между всеми группами (1), (2), (3), (4) $T(3, 626,971)=794,038$, $p=0,000$;
- ПС между всеми возрастными группами $T(3, 631,641)=592,344$, $p=0,000$.

У помощников машинистов получены аналогичные результаты, статистически значимые различия наблюдались между всеми группами по показателям: АДд и особенно

Таблица 1 / Table 1

Значения показателей гемодинамики у работников локомотивных бригад четырех возрастных групп ($M \pm \sigma$)
Values of hemodynamic parameters in locomotive brigade workers of four age groups ($M \pm \sigma$)

Показатели	Группы	Группа 20–29 ($n=263$)	Группа 30–39 ($n=300$)	Группа 40–49 ($n=300$)	Группа 50–59 ($n=289$)
ЧСС, уд./мин	I	74,69±5,61	74,90±5,78	74,39±5,61	72,44±6,60
	II	74,97±5,62	74,82±6,06	73,92±6,31	73,39±6,21
АДс, мм рт. ст.	I	118,58±4,85	118±4,93	120,31±5,65	121,74±5,34
	II	118,38±4,97	118,74±5,07	120,06±5,92	122,06±5,51
АДА, мм рт. ст.	I	74,17±3,76	75,77±3,58	77,47±3,40	77,84±3,35
	II	73,75±3,86	75,43±3,60	77,09±3,79	78,23±3,31
АДп, мм рт. ст.	I	44,41±4,43	43,14±3,91	42,84±4,20	43,90±4,18
	II	44,64±4,51	43,31±3,92	42,98±4,29	43,82±4,18
АДср, мм рт. ст.	I	96,44±6,32	97,51±6,74	99,09±7,16	101,19±7,32
	II	95,42±6,31	97,47±6,70	98,92±7,73	101,64±7,81
МО, мл	I	4181,95±443,08	3692,89±384,56	3148,15±354,95	2716,51±317,27
	II	4203,27±489,56	3750,41±401,02	3159,77±395,74	2740,4±322,38
ПС, дн·с·см ⁻⁵	I	1883,03±260,44	2156,00±290,50	2573,54±368,29	3043,96±426,84
	II	1861,02±297,41	2122,69±285,48	2566,92±412,89	3031,64±427,13

расчётным показателям минутного объёма крови и периферического сопротивления.

В настоящее время по показателям гемодинамики рассчитывается ИМ, который позволяет оценить уровень адаптации организма к факторам трудового процесса и производственной среды. В **таблице 2** представлены результаты использования математического метода определения идеальных величин показателей системы кровообращения (ИПСК), коэффициента соответствия с фактическим значением ИМ. Данные представлены в виде средних арифметических значений с указанием среднеквадратичных отклонений ($M \pm \sigma$) машинистов различных возрастных групп, уровни статистической значимости, полученные при сравнении исследуемых показателей.

Однофакторный дисперсионный анализ выявил у машинистов статистически значимые различия в значениях показателей ИМ:

- ИМ между группами (1), (3), (4) $F(3, 1148)=21,771$, $p=0,000$;
- коэффициент соответствия индекса Мызникова ($K_{\text{ИМ}}$) между (1), (2), (3), (4) $F(3, 1148)=39,808$, $p=0,000$;
- показатель изменения ИМ между всеми возрастными группами $F(3, 1148)=39,808$, $p=0,000$.

Идеальные величины («ЧСС», «АДА», «ИМ») показателей системы кровообращения выявили статистически значимые отличия в разных возрастных группах у машинистов.

По результатам исследований четырёх возрастных групп помощников машинистов получены аналогичные данные. Выявлены статистически значимые различия показателей гемодинамики: ИМ, коэффициента соответствия индекса Мызникова ($K_{\text{ИМ}}$), показателя изменения ИМ, а также идеальных величин («ЧСС», «АДА», «ИМ»).

Таблица 2 / Table 2

Изменения показателей индекса Мызникова у машинистов локомотивов (I) и помощников (II) четырех возрастных групп ($M \pm \sigma$)
Changes in Myznikov index in locomotive drivers (I) and assistants (II) of four age groups ($M \pm \sigma$)

Показатели	Группа 20–29 ($n=263$)	Группа 30–39 ($n=300$)	Группа 40–49 ($n=300$)	Группа 50–59 ($n=289$)
ИМ, усл. ед.	(I) 119,59±10,54	117,62±2,32	115,56±9,49	113,35±10,97
	(II) 120,51±10,49	117,89±10,65	115,25±11,11	114,55±10,5
«ЧСС», уд./мин	(I) 69,33±1,60	69,45±1,63	69,91±1,87	70,37±1,76
	(II) 69,27±1,64	69,39±1,67	69,82±1,95	70,48±1,82
«АДА», мм рт. ст.	(I) 73,13±2,28	73,29±2,32	73,94±2,66	74,62±2,5
	(II) 73,04±2,34	73,21±2,38	73,83±2,78	74,77±2,59
«ИМ», усл. ед.	(I) 112,41±3,69	112,66±3,75	113,72±4,29	114,8±4,05
	(II) 112,26±3,78	112,53±3,85	113,53±4,5	115,05±4,18
К _{Сим} , %	(I) 106,42±9,06	104,48±8,85	101,69±8,32	98,76±9,22
	(II) 107,36±8,73	104,83±9,45	101,56±9,41	99,61±8,77
Изменение ИМ, %	(I) 6,42±9,06	4,48±8,85	1,69±8,32	-1,24±9,22
	(II) 7,36±8,73	4,83±9,45	1,56±9,41	-0,39±8,77

Коэффициент показывает, насколько ИМ выше норматива и позволяет сопоставить полученное значение ИМ с диагностическими критериями функциональных состояний у работников различных профессиональных групп по величине индекса [10]. При этом выделяются следующие уровни адаптации к факторам трудового процесса и производственной среды: состояние дезадаптации с крайне низкими значениями ИМ (до 86,2 усл. ед.) и величинами ниже среднего (от 86,3 до 102,8 усл. ед.). К удовлетворительному уровню адаптации относят диапазон значений ИМ 102,9–136,1 усл. ед. Оценка функционального напряжения проводится по значениям ИМ в пределах 136,2–152,8 усл. ед., перенапряжения физиологических систем — более 152,9 усл. ед.

По результатам физиологических исследований наблюдалось более высокое значение ИМ ($119,59 \pm 10,54$ усл. ед.) у машинистов возрастной группы 20–29 лет в отличие от остальных возрастных групп. Однако все значения ИМ находились в пределах градации удовлетворительного уровня адаптации организма к факторам трудового процесса и производственной среды.

Персонализированный анализ физиологических показателей выявил соответствие ИМ стадии функционального напряжения (выше 136,2 усл. ед.) у машинистов в возрасте 20–29 лет — в 5,32% случаев, 30–39 лет — 2,33%, 40–49 лет — 1,33%, 50–59 лет — 2,01% случаев. Суммарно в 11,0% (10,99%) случаев у машинистов регистрировалось функциональное напряжение сердечно-сосудистой системы организма при предрейсовом медицинском осмотре.

Значения ИМ указывают на формирование состояния удовлетворительной адаптации к условиям труда и трудового процесса. У помощников машинистов 20–29 лет этот показатель составил $120,51 \pm 10,49$ усл. ед.; у лиц, достигших возраста 50–59 лет, — $114,55 \pm 10,5$ усл. ед. Величины ИМ у помощников машинистов других возрастных групп (30–39 лет и 40–49 лет) занимают промежуточное положение. У помощников машинистов наблюдались показатели ИМ «выше среднего» у 8,3% лиц в возрасте 20–29 лет; 3,6% — 30–39 лет; 2,3% — 40–49 лет; 2,4% — 50–59 лет, суммарно это составило 16,7% случаев и соответствует состоянию функционального напряжения.

Персонализированный анализ результатов физиологических исследований установил, что у машинистов функциональное напряжение организма выявлено в 11,0% случаев. В профессиональной группе помощников машинистов такое состояние наблюдалось в 16,7% случаев. Подобные различия между двумя профессиональными группами являются незначительными.

Функциональное состояние машинистов локомотивов оценивали с использованием математического метода, основанного на вычислении идеальных величин ПСК, коэффициента соответствия ПСК к идеальной величине. Наблюдалось формирование состояния удовлетворительной адаптации к условиям труда и трудового процесса по средним арифметическим значениям ИМ.

На основе данных предсменного медицинского контроля проведён индивидуальный анализ рассчитанных значений ИМ в течение всего рабочего цикла с 1 января по 31 декабря. Распределение ИМ в течение всего рабочего периода у машинистов разных возрастных групп 30–34 лет, 55–59 лет представлено на гистограмме (рис. 1).

Установлена более однородная гистограмма показателей ИМ у машинистов в возрасте 55–59 лет по сравнению с возрастной группой 30–34 года. Количество выходов показателей ИМ за нормативный диапазон 102,8–136,2 у машиниста локомотива 58 лет (среднего возраста) составило 8 ед. против 20 ед. у машиниста в возрасте 31 год, т. е. молодого возраста.

По-видимому, функциональное состояние лиц среднего возраста 55–59 лет более стабильно. Возможно, это обусловлено эффективной гипотензивной терапией в связи с высокой распространённостью артериальной гипертензии у лиц данной возрастной группы.

Сравнительный анализ результатов исследования гистограмм ИМ у работников двух профессиональных групп выявил более однородную гистограмму у помощников машинистов в связи с меньшей напряжённостью труда (класс НТ 2). Анализ ИМ у лиц различного возраста показал, что тенденция сохраняется, но количество выскакивающих величин меньше.

Сохраняется однородность гистограммы ИМ у помощников машиниста возрастного периода 55–59 лет по сравнению с группой 30–34 лет. Так, количество выскаки-

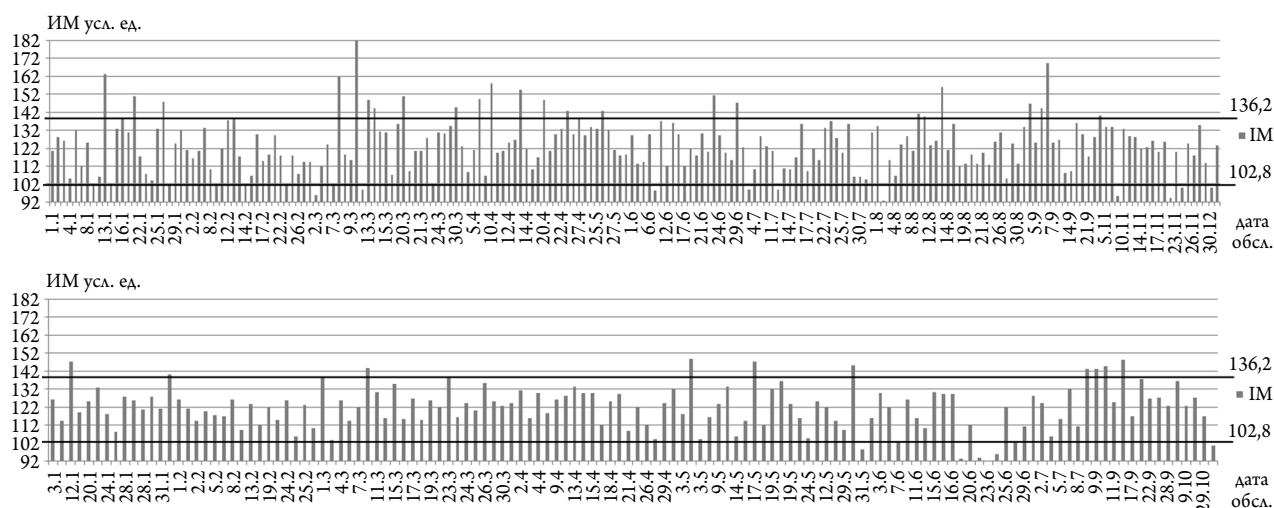


Рис. 1. Распределение индекса Мызника в течение всего рабочего периода у машинистов разных возрастных групп (31 год, 58 лет)

Fig. 1. Distribution of Myznikov's index during the whole working period in machinists of different age groups (31-year-old, 58-year-old).

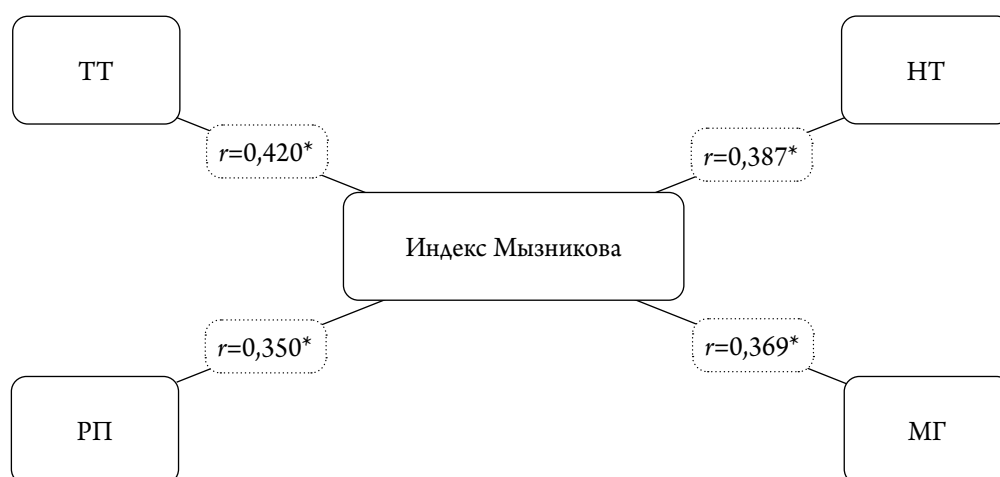


Рис. 2. Корреляционные зависимости индекса Мызникова с факторами трудового процесса

Примечание: ($p \leq 0,01^{**}$, $p \leq 0,05^{*}$).

Fig. 2. Correlations of Myznikov index with labor process factors

Note: ($p \leq 0.01^{**}$, $p \leq 0.05^{*}$).

вающих величин показателей ИМ за нормативный диапазон 102,8–136,2 усл. ед. у помощника машиниста В. возрастной группы 30–34 года составляет 34 ед., у возрастной группы 50–59 лет — 14 ед. Полученные результаты обусловлены более низкой напряжённостью труда (2 допустимый класс). В отдельных случаях у лиц старшей возрастной группы значения ИМ соответствуют функциональному напряжению (136,3–152,8 усл. ед.) и перенапряжению физиологических систем (более 152,8 усл. ед.)

Дополнительное использование ВИК оправданно и повышает информативность полученных результатов. Индекс Кердо направлен на выявление типа вегетативной регуляции, преобладания пара- или симпатических влияний. По результатам исследований наблюдается у лиц молодого возраста (30–34 лет) разнонаправленные изменения ВИК на протяжении календарного года (нормативное значение ВИК от +15,0 до –15,0 единицы). При индивидуальном анализе полученные гистограммы демонстрируют изменчивость показателя ВИК у лиц 30–34 лет и большую однородность у лиц 55–59 лет.

Результатами исследований установлена информативность ИМ среди значительного набора других индексов и методик. Функциональное состояние машинистов локомотивов оценивали с использованием математического метода, основанного на вычислении идеальных величин ПСК, коэффициента соответствия ПСК к идеальной величине. Наблюдалось формирование состояния удовлетворительной адаптации к условиям труда и трудового процесса по средним арифметическим значениям индекса Мызникова (ИМ).

Представляет определённый интерес оценка корреляционных взаимоотношений самого ИМ с факторами напряжённости и тяжести труда (рис. 2). Выявлена прямая взаимосвязь ИМ с интегральным показателем напряжённости трудового процесса, которая составила $r=0,387$ при $p \leq 0,05$. Наблюдались невысокие коэффициенты корреляции индекса с тяжестью труда ($r=0,420$; $p \leq 0,05$) и факторами тяжести труда, такими как рабочая поза ($r=0,350$, $p \leq 0,05$).

Это демонстрирует особенности физического труда в современных условиях трудовой деятельности, связанные с поддержанием неблагоприятной рабочей позы

«сидя» у лиц операторских профессий и разовый подъём тяжёлых грузов у работников водительских профессий (спецтранспорта).

Обобщая вышесказанное, следует отметить, что в результате упорядочения матрицы интеркорреляций все показатели напряжённости и тяжести труда трудового процесса были распределены по ранговым местам. Центральное место в этой системе занимает напряжённость труда. Остальные показатели распределялись следующим образом: режим работы, тяжесть труда, интеллектуальная нагрузка, рабочая поза, что указывает на необходимость учёта этих факторов при рационализации труда работников операторского умственного труда.

Обсуждение. Использование ИМ в рамках математического метода, основанного на вычислении идеальных величин ПСК, коэффициента соответствия ПСК к идеальной величине выявил его информативность при оценке функционального состояния работников. Определение корреляционных взаимоотношений ИМ с факторами напряжённости и тяжести труда выявило прямую взаимосвязь индекса с интегральным показателем напряжённости трудового процесса ($r=0,387$ при $p \leq 0,05$), тяжестью труда ($r=0,420$; $p \leq 0,05$), рабочей позы и массой груза ($r=0,350$; $r=0,369$, $p \leq 0,05$). Для лиц операторских профессий (машинисты и помощники машинистов локомотивов) в настоящее время является характерным длительное поддержание неблагоприятной рабочей позы «сидя».

Математический метод определения ИМ относится к методам донозологической диагностики, направленным на выделение лиц с различным уровнем адаптации к факторам трудового процесса и производственной среды, что даёт возможность определять риск формирования заболеваний. В.П. Казначеев и соавторы (1980) [23] отмечали, что донозологические или пограничные состояния встречаются у практически здоровых людей, которые находятся вне сферы медицинского наблюдения до тех пор, пока не обратятся к врачу по поводу какого-либо очевидного заболевания. Применительно к задачам профилактической медицины диагностика донозологических состояний предусматривает использование физиологических методов и показателей для оценки степени адаптации организма к факторам трудового процесса и производственной среды.

И используется для определения следующих уровней адаптации к среде: дезадаптация, удовлетворительная адаптация к условиям окружающей среды, обусловленная достаточными функциональными возможностями организма; функциональное напряжение, которое выражается в активизации систем нейрогуморальной регуляции для выработки количества энергии, необходимого организму в условиях стресса. Перенапряжение физиологических систем обусловлено истощением функционального резерва и резким снижением функциональных возможностей организма.

Персонализированный анализ результатов физиологических исследований позволил выявить функциональное напряжение организма со значениями ИМ выше 136,2 усл. ед., у машинистов в 11,0% случаев, у помощников машинистов в 16,7% случаев.

Полученные данные подтверждают информативность расчётных индексов (ИМ) и производных показателей гемодинамики, таких как минутный объём крови и периферическое сосудистое сопротивление при оценке функционального состояния операторов, в первую очередь реакций ССС при предсменном медицинском осмотре.

Совершенствование физиологических критериев, методов и критериев оценки факторов трудового процесса работников нервно-эмоционального умственного труда с учётом лиц разных возрастных групп направлено на сохранение трудового потенциала и здоровья работающих.

Заключение. Профессиографическим анализом трудовой деятельности установлено воздействие факторов напряжённости и тяжести труда (классы от 2 до 3.2) на психофизи-

ологическое состояние работников локомотивных бригад для количественной оценки физиологических сдвигов по показателям и индексам системы кровообращения в зависимости от возрастных характеристик. У машинистов и помощников машинистов в четырёх возрастных группах выявлено статистически значимые различия показателей гемодинамики ($p < 0,02$). Величины ИМ соответствуют состоянию функционального напряжения в 11,0–16,7% случаев. Индивидуальным анализом установлена более однородная гистограмма показателей ИМ у работников в возрасте 55–59 лет по сравнению с возрастной группой 30–34 года, что указывает на стабильное функциональное состояние. Это подтверждается данными вегетативного индекса Кердо. Группы машинистов и помощников машинистов ОАО «РЖД» являются группами повышенного риска перенапряжения и развития производственно обусловленных заболеваний ССС (гипертонической болезни, ишемической болезни сердца, инфаркта миокарда). Высокий уровень напряжённости труда может формировать неблагоприятные функциональные состояния работающих, снижать уровень безопасности движения. Показана по результатам исследований в системе мониторинга уровня здоровья и адаптационных резервов организма работников нервно-эмоционального напряженного труда информативность ИМ среди других индексов и методик оценки функционального состояния системы кровообращения в качестве критериев донозологической диагностики.

Результаты исследований указывают на необходимость коррекции функционального состояния машинистов и помощников машинистов локомотивов и рационализацию труда (целесообразные графики сменности, режим труда и отдыха).

Список литературы

- Алпаев Д.В., Сериков В.В., Дмитриева Е.В., Костенко Н.А., Жовнерчук Е.В. Суточная динамика артериального давления в условиях сменной работы железнодорожного транспорта. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(9): 914–920. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-914-920> <https://elibrary.ru/zcejo>
- Юшкова О.И., Матюхин В.В., Бухтияров И.В. и др. Прогноз снижения работоспособности и нарушения здоровья при воздействии факторов напряжённости труда в зависимости от класса условий труда. *Мед. труда и пром. экол.* 2014; 1: 8–13. <https://elibrary.ru/rzphcd>
- Закревский Д.С., Кот Т.П. Анализ тяжести и напряжённости труда водителей городского пассажирского транспорта. *Переработка и управление качеством сельскохозяйственной продукции: сборник статей V Международной научно-практической конференции, Минск, 25–26 марта 2021 г.* Минск; БГАТУ, 2021.
- Патология сердечно-сосудистой системы. Часть 1. Важнейшие показатели кровообращения, применяемые для оценки функциональных нарушений сердечно-сосудистой системы. *Методические рекомендации*. М.: 2014: 28.
- Gómez-Salgado C., Camacho-Vega J.C., Gómez-Salgado J., García-Iglesias J.J., Fagundo-Rivera J., Allande-Cussó R., Martín-Pereira J. and Ruiz-Frutos C. Stress, fear, and anxiety among construction workers: a systematic review. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1226914. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1226914>
- Gu H., Lee J., Hwang Y., Kim J., Lee S., Kim S.J. Job burnout among workers with different shift regularity: interactive factors between sleep, depression, and work environment. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1131048. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1131048>
- Vňuková M.S., Sebalo I., Brečka T., Anders M., Ptáček R. Burnout syndrome in the Czech Republic: The decreasing trend over the years. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1099528. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1099528>
- Lu Y., Li Z., Chen Q., Fan Y., Wang J., Ye Y., Chen Y., Zhong T., Wang L., Xiao Y., Zhang D., Yu X. Association of working hours and cumulative fatigue among Chinese primary health care professionals. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1193942. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1193942>
- Зимницкий С.С. О расстройствах секреторной деятельности желудочных желёз с точки зрения функциональной диагностики: Клинич. лекции (для студентов и врачей). М.: Мосздраво; 1926.
- Довгуша В.В., Мызников И.А. *Отдых на этапах учебно-боевой деятельности подводников: пособие для врачей ВМФ. Изд. 2-е, перераб. и доп.* СПб.: ООО «Пресс-Сервис» ФГУП «НИИ промышленной и морской медицины» ФМБА РФ; 2010.
- Баевский Р.М., Берсенева А.П. Донозологическая диагностика. *Cardiometry*. 2017; 10: 66–76. <https://doi.org/10.12710/cardiometry.2017.10.5563>
- Шляхто Е.В., Конради А.О. Персонализированная медицина. История, современное состояние проблемы и перспективы внедрения. *Российский журнал персонализированной медицины*. 2021; 1: 6–20.
- Crawley Francis P. Personalised Medicine and the Role of Patients in Healthcare and Health Research in Europe. *Journal of Health Development*. 2019; 30: 33–36.
- Terkola R., Antonanzas F., Postma M. Economic evaluation of personalized medicine: a call for real-world data. *Eur. J. Health Econ*. 2017; 9: 1065–1067.
- Р 2.2.2006-05. *Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда: руководство*. М.; 2005.
- Глико А.И., Решетнев В.Г., Решетнева Е.М. Математический метод оценки индивидуальных показателей гемодинамики

- человека. Серия: диагностическая гемодинамика. Выпуск 3. Клинические диагностические критерии математического метода. Санкт-Петербург; 1997.
17. Глико Л.И., Решетнев В.Г. «Идеальные» величины диастолического артериального давления (методика расчёта). Материалы научно-практической конференции. Гипертоническая болезнь и нейроциркуляторная дистония у военнослужащих. Л.: ВМедА им. С.М. Кирова; 1980.
 18. Вагин Ю.Е., Деунезева С.М., Хлытина А.А. Вегетативный индекс Кердо: роль исходных параметров, области и ограничения применения. Физиология человека. 2021; 47(1): 31–42.
 19. Формулы и алгоритмы, применяемые для определения показателей. <https://clck.ru/3BiS2E> (дата обращения 20.02.2024).
 20. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage. *Acta neurovegetativa*. 1966; Bd. 29(2): 250–268.
 21. Загрядский В.П., Сулимо-Самуйлло З.К. Методы физиологических исследований. Л.: Наука; 1976.
 22. Иванов С.А., Невзорова Е.В., Гулин А.В. Количественная оценка функциональных возможностей сердечно-сосудистой системы. *Вестник ТГУ*. 2017; 22(6): 1535–1540. <https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-6-1535-1540>
 23. Казначеев В.П., Баевский Р.М., Берсенева А.П. Донозологическая диагностика в практике массовых обследований населения. Л.: Медицина; 1980.

References

1. Alpaev D.V., Serikov V.V., Dmitrieva E.V., Kostenko N.A., Zhovnerchuk E.V. Daily dynamics of blood pressure during shift work of railway transport. *Gigiena i sanitariya*. 2023; 102(9): 914–920. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-9-914-920> <https://elibrary.ru/zcejoi> (in Russian).
2. Yushkova O.I., Matyuhin V.V., Buhtiyarov I.V. et al. Forecast of decreased performance and health problems when exposed to labor stress factors, depending on the class of working conditions. *Med. truda i prom. ekol*. 2014; 1: 8–13. <https://elibrary.ru/rzphcd> (in Russian).
3. Zakrevskij D.S., Kot T.P. Analysis of the severity and intensity of work of drivers of urban passenger transport. *Processing and quality management of agricultural products: collection of articles of the V International Scientific and Practical Conference, Minsk, March 25–26, 2021*. Minsk; BSATU, 2021 (in Russian).
4. Pathology of the cardiovascular system. Part 1. The most important indicators of blood circulation used to assess functional disorders of the cardiovascular system. *Guidelines*. M.: Garnitura Tajms; 2014: 28 (in Russian)
5. Gómez-Salgado C., Camacho-Vega J.C., Gómez-Salgado J., García-Iglesias J.J., Fagundo-Rivera J., Allande-Cussó R., Martín-Pereira J. and Ruiz-Frutos C. Stress, fear, and anxiety among construction workers: a systematic review. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1226914. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1226914>
6. Gu H., Lee J., Hwang Y., Kim J., Lee S., Kim S.J. Job burnout among workers with different shift regularity: interactive factors between sleep, depression, and work environment. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1131048. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1131048>
7. Vňuková M.S., Sebalo I., Brečka T., Anders M., Ptáček R. Burnout syndrome in the Czech Republic: The decreasing trend over the years. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1099528. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1099528>
8. Lu Y., Li Z., Chen Q., Fan Y., Wang J., Ye Y., Chen Y., Zhong T., Wang L., Xiao Y., Zhang D., Yu X. Association of working hours and cumulative fatigue among Chinese primary health care professionals. *Front. Public Health*. 2023; 11: 1193942. <https://doi.org/10.3389/fpubh.2023.1193942>
9. Zimnickij S.S. On disorders of the secretory activity of the gastric glands from the point of view of functional diagnostics: *Clinical lectures (for students and doctors)*. M.: Moszdravotd; 1926 (in Russian).
10. Dovgusha V.V., Myznikov I.L. Rest during the stages of combat training activities for submariners: a manual for Navy doctors. 2nd ed., revised and additional. SPb.: ООО «Press-Servis» FGUP «NII promyshlennoj i morskoy mediciny» FMBA RF; 2010 (in Russian).
11. Baevskij R.M., Berseneva A.P. Prenosological diagnostics. *Cardiometry*. 2017; 10: 66–76. <https://doi.org/10.12710/cardiometry.2017.10.5563> (in Russian)
12. Shlyakht E.V., Konradi A.O. Personalized medicine. History, current state of the problem and prospects for implementation. *Rossiiskij zhurnal personalizirovannoj mediciny*. 2021; 1: 6–20 (in Russian).
13. Crawley Francis P. Personalised Medicine and the Role of Patients in Healthcare and Health Research in Europe. *Journal of Health Development*. 2019; 30: 33–36.
14. Terkola R., Antonanzas F., Postma M. Economic evaluation of personalized medicine: a call for real-world data. *Eur. J. Health Econ*. 2017; 9: 1065–1067.
15. R 2.2.2006-05. Guide on Hygienic Assessment of Factors of Working Environment and Work Load. *Criteria and Classification of Working Conditions*. M.; 2005 (in Russian).
16. Gliko L.I., Reshetnev V.G., Reshetneva E.M. A mathematical method for assessing individual human hemodynamic parameters. *Series: diagnostic hemodynamics. Issue 3. Clinical diagnostic criteria of the mathematical method*. Sankt-Peterburg; 1997 (in Russian).
17. Gliko L.I., Reshetnev V.G. "Ideal" values of diastolic blood pressure (calculation method). *Materials of the scientific and practical conference. Hypertension and neurocirculatory dystonia in military personnel*. L.: VMedAim. S.M. Kirova, 1980 (in Russian).
18. Vagin Yu.E., Deunezheva S.M., Hlytina A.A. Vegetative Kerdo index: the role of initial parameters, areas and limitations of application. *Fiziologiya cheloveka*. 2021; 47(1): 31–42 (in Russian).
19. Formulas and algorithms used to determine hemodynamic parameters. <https://clck.ru/3BiS2E> (Accessed 20.02.2024) (in Russian).
20. Kérdő I. Ein aus Daten der Blutzirkulation kalkulierter Index zur Beurteilung der vegetativen Tonuslage. *Actaneurovegetativa*. 1966; Bd. 29(2): 250–268.
21. Zagryadskij V.P., Sulimo-Samujillo Z.K. *Methods of physiological research*. L.: Nauka; 1976 (in Russian).
22. Ivanov S.A., Nevzorova E.V., Gulina A.V. Quantitative assessment of the functional capabilities of the cardiovascular system. *Vestnik TGU*. 2017; 22(6): 1535–1540. <https://doi.org/10.20310/1810-0198-2017-22-6-1535-1540> (in Russian).
23. Kaznacheev V.P., Baevskij R.M., Berseneva A.P. *Prenosological diagnostics in the practice of mass population surveys*. L.: Medicina; 1980 (in Russian).

Информация об авторах:

- Глухов Дмитрий Валерьевич* заведующий лабораторией физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «НИИ МТ», д-р мед. наук.
E-mail: vm LABOR@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5704-0650>
- Юшкова Ольга Игоревна* главный научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «НИИ МТ», д-р мед. наук, профессор.
E-mail: doktorolga@indox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6704-3537>
- Капустина Ангелина Владимировна* ст. научн. сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «НИИ МТ», канд. биол. наук.
E-mail: ft-matuhin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8631-0074>
- Форверц Анна Юрьевна* младший научный сотрудник лаборатории физиологии труда и профилактической эргономики ФГБНУ «НИИ МТ».
E-mail: a.forverts@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3485-5221>
- Костенко Наталья Алексеевна* ст. научн. сотрудник отдела по изучению гигиенических проблем в медицине труда группы виброакустических факторов ФГБНУ «НИИ МТ», начальник управления организации медицинской помощи Центральной дирекции здравоохранения филиала ОАО «РЖД», канд. мед. наук.
E-mail: KostenkoNA@rosminzdrav.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6290-6586>

Information about the authors:

- Dmitry V. Glukhov* Head of the Laboratory of Occupational Physiology and Preventive Ergonomics, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Dr. Sci. (Med.), Professor.
E-mail: vm LABOR@yandex.ru
<https://orcid.org/0000-0001-5704-0650>
- Olga I. Yushkova* Chief Researcher, Laboratory of Occupational Physiology and Preventive Ergonomics, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Dr. Sci. (Med.), Professor.
E-mail: doktorolga@indox.ru
<https://orcid.org/0000-0002-6704-3537>
- Angelina V. Kapustina* Senior Researcher, Laboratory of Occupational Physiology and Preventive Ergonomics, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Cand. Sci. (Biol.).
E-mail: ft-matuhin@mail.ru
<https://orcid.org/0000-0001-8631-0074>
- Anna Yu. Forverts* Junior Researcher, Laboratory of Occupational Physiology and Preventive Ergonomics, Izmerov Research Institute of Occupational Health.
E-mail: a.forverts@irioh.ru
<https://orcid.org/0000-0002-3485-5221>
- Natalia A. Kostenko* Senior Researcher of the Department for the Study of Hygienic Problems in Occupational Medicine, group of Vibroacoustic Factors, Izmerov Research Institute of Occupational Health, Head of the Department of Organization of Medical Care of the Central Directorate of Healthcare of the branch of JSC Russian Railways, Cand. Sci. (Med.).
E-mail: KostenkoNA@rosminzdrav.ru
<https://orcid.org/0000-0001-6290-6586>