

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА ПРЯМОГО ДИСКРЕТНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ФУРЬЕ ДЛЯ УЛУЧШЕНИЯ ОЦЕНКИ ПРОСТОЙ СЕНСОМОТОРНОЙ РЕАКЦИИ У РАБОТНИКОВ АТОМНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ ПРИ ИХ ПСИХОФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ ОБСЛЕДОВАНИИ

А.Н.Царев¹, И.Г.Дибиргаджиев¹, Т.Д.Симагова¹, О.А.Касымова¹, Р.М.Степанов²

¹ ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России,
Москва, Россия

² НПО «Объединенные медицинские системы», г.Набережные Челны, Россия

Резюме. В настоящее время для оценки функционального состояния центральной нервной системы (ФС ЦНС) используют нормативы, не пересматривавшиеся 25 лет и включающие 6 показателей: средняя скорость реакции, среднеквадратичное отклонение, минимальное среднее время реакции, вариационный размах, мода и ее амплитуда.

Цель исследования – обосновать необходимость использования метода прямого дискретного преобразования Фурье для оценки результатов простой сенсомоторной реакции (ПСМР) у работников атомной промышленности при их психофизиологическом обследовании (ПФО).

Материалы и методы исследования. Материалы исследования – результаты психофизиологического обследования 3488 работников ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, проведенного в лаборатории психофизиологических исследований в период с 19.01.2021 г. по 07.03.2024 г.

Метод исследования – применение к данным ПСМР метода прямого дискретного преобразования Фурье и на основе полученного спектра частот (гармоник) вычисление показателя «Частотная плотность мощности сигнала» как интегральной характеристики психофизиологического состояния обследуемого в момент прохождения теста ПСМР.

Результаты исследования и их анализ. Новый интегральный показатель $Lg(P\omega_{norm})$ оценки уровня ФС ЦНС значимо различался между группами обследуемых с нормальными и повышенными нормативными показателями оценки ФС ЦНС по результатам ПСМР. $Lg(P\omega_{norm})$ наиболее точно характеризует временные показатели ПСМР, учитывая как их средние значения, так и их вариабельность.

Сделан вывод, что применение $Lg(P\omega_{norm})$ облегчит широкому кругу специалистов оценивать ФС ЦНС и прогнозировать надежность профессиональной деятельности работников атомной промышленности.

Ключевые слова: вариационная сенсометрия, прямое дискретное преобразование Фурье, простая сенсомоторная реакция, психофизиологическое обследование, работники атомной промышленности, ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России, частотная плотность мощности сигнала

Конфликт интересов. Авторы статьи подтверждают отсутствие конфликта интересов

Для цитирования: Царев А.Н., Дибиргаджиев И.Г., Симагова Т.Д., Касымова О.А., Степанов Р.М. Применение метода прямого дискретного преобразования Фурье для улучшения оценки простой сенсомоторной реакции у работников атомной промышленности при их психофизиологическом обследовании // Медицина катастроф. 2025. №1. С. 60-64.
<https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-1-60-64>

APPLICATION OF THE DIRECT DISCRETE FOURIER TRANSFORM METHOD TO IMPROVE THE ASSESSMENT OF SIMPLE SENSORIMOTOR RESPONSE IN NUCLEAR INDUSTRY WORKERS DURING THEIR PSYCHOPHYSIOLOGICAL EXAMINATION

А.Н.Царев¹, И.Г.Дибиргаджиев¹, Т.Д.Симагова¹, О.А.Касымова¹, Р.М.Степанов²

¹ State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency, Moscow, Russian Federation

² NPO "United Medical Systems" LLC, Naberezhnye Chelny, Russian Federation

Summary. Currently, to assess the functional state of the central nervous system (FS CNS), standards are used that have not been revised for 25 years and include 6 indicators: average reaction speed, standard deviation, minimum average reaction time, variation range, mode and its amplitude.

The aim of the study is to justify the need to use a new method – the direct discrete Fourier transform method for assessing the results of a simple sensorimotor reaction (SSMR) in nuclear industry workers during their psychophysiological examination (PPE).

Research materials and methods. Research materials - the results of a psychophysiological examination of 3488 employees of the State Scientific Center – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, conducted in the laboratory of psychophysiological studies in the period from 01/19/2021 to 03/07/2024. Research method – applying the direct discrete Fourier transform method to the SSMR data and, based on the obtained frequency spectrum (harmonics), calculating the "Frequency signal power density" indicator as an integral characteristic of the psychophysiological state of the subject at the time of the SSMR test.

Research results and their analysis. The new integral indicator $Lg(P\omega_{norm})$ for assessing the level of CNS FS significantly differed between the groups of subjects with normal and elevated standard indicators of CNS FS assessment based on the results of PSMR. $Lg(P\omega_{norm})$ most accurately characterizes the time indicators of PSMR, taking into account both their average values and their variability.

It was concluded that the use of $Lg(P_{\omega_{\text{norm}}})$ will facilitate a wide range of specialists in assessing the CNS FS and predicting the reliability of professional activity of workers in the nuclear industry.

Key words: direct discrete Fourier transform, frequency density of signal power, nuclear industry workers, psychophysiological examination, simple sensorimotor reaction, State Scientific Center – Federal Medical Biophysical Center named after A.I. Burnazyan of the Federal Medical and Biological Agency of Russia, variation sensomotor sensing

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest

For citation: Tsarev A.N., Dibirgadzhiev I.G., Simagova T.D., Kasymova O.A., Stepanov R.M. Application of the Direct Discrete Fourier Transform Method to Improve the Assessment of Simple Sensorimotor Response in Nuclear Industry Workers during Their Psychophysiological Examination. *Meditina Katastrof = Disaster Medicine*. 2025;1:60-64 (In Russ.). <https://doi.org/10.33266/2070-1004-2025-1-60-64>

Контактная информация:

Царев Алексей Николаевич – канд. мед. наук; старший научный сотрудник ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И. Бурназяна» ФМБА России

Адрес: Россия, 123098, Москва, ул. Живописная, д. 46
Тел.: +7 (903) 873-07-45

E-mail: tsarev58@yandex.ru

Contact information:

Alexey N. Tsarev – Cand. Sc. (Med.); Senior Researcher of State Research Center – Burnasyan Federal Medical Biophysical Center of Federal Medical Biological Agency

Address: 46, Zhivopisnaya Str., Moscow, 123098, Russia

Phone: +7 (903) 873-07-45

E-mail: tsarev58@yandex.ru

Введение

Основное предназначение профилактической и производственной медицины – прогнозировать, сохранять и повышать работоспособность персонала высокотехнологичных производств, которому в эпоху четвертой промышленной революции (Industry 4.0) приходится обрабатывать большой объем информации в условиях повышенного нервно-эмоционального напряжения. Постоянно увеличивающаяся нагрузка на центральную нервную систему (ЦНС) и – следовательно – на ее функциональное состояние (ФС) обуславливает необходимость внедрения новых методов оценки указанной нагрузки у лиц, работающих с источниками ионизирующего излучения (ИИ). Конструктивные подходы к количественной оценке ФС ЦНС работников критической инфраструктуры основаны в том числе на методах психофизиологической диагностики, направленной на выявление индивидуальных когнитивных особенностей. Показатели уровня ФС ЦНС позволяют прогнозировать работоспособность и надежность деятельности персонала.

Первый хронометрический эксперимент с измерением реакции человека на внешний раздражитель провел астроном Ф. В. Бессель (Friedrich Wilhelm Bessel) в 1823 г., а время реакции первыми начали измерять физиологи З. Экснер (Sigmund Exner) и Ф. Дондерс (Franciscus Donders). З. Экснер в 1887 г. впервые употребил термин «время реакции», определяя его как «время, необходимое для того, чтобы сознательным образом отвечать на какое-либо впечатление» [1]. Таким образом, скорость реакции человека измеряют уже более двух веков.

Когнитивные функции человека значительно активизировались в связи с массовым внедрением персональных компьютеров и гаджетов. Чем больше времени человек проводит за компьютерными играми, тем лучше он справляется с задачами на скорость реакции, поиск информации и переключение внимания [2].

С 1986 г. на предприятиях атомной промышленности введено психофизиологическое обследование (ПФО), одной из целей которого является оценка ФС ЦНС [3]. Психофизиологическое обследование осуществляется в соответствии с приказом Минздрава России от 28 июля 2020 г. №749н, регламентирующим порядок проведения предварительных, периодических и вне-плановых ПФО работников атомной промышленности

для выявления или исключения психофизиологических противопоказаний в целях разрешения определенных видов деятельности в атомной промышленности. Персонал предприятий проходит психофизиологическое обследование ежегодно. В приказе представлены организация процесса ПФО и необходимые методики. Нормативы оценки результатов ПФО содержатся в методических указаниях по проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников атомной промышленности, введенных в действие в 1999 г. – МУ-1999 [4].

Согласно МУ-1999, результаты простой сенсомоторной реакции (ПСМР) оценивают по шести параметрам: средняя скорость реакции, среднеквадратичное отклонение, минимальное среднее время реакции, вариационный размах, мода и ее амплитуда. Специалисту необходимо проанализировать эти показатели, оценить их взаимосвязь и на основе этой оценки сформулировать выводы. В такой форме оценка результатов обследования требует от специалиста достаточно высокой квалификации, знаний и опыта. Чтобы оптимизировать деятельность медицинского психолога, авторы с помощью математического аппарата – спектрального анализа – попытались разработать единый показатель, характеризующий ФС ЦНС. В медицине этот метод анализа используют для оценки сердечного ритма и электроэнцефалограммы – ЭЭГ [5–15].

Цель исследования – оценить возможности повысить объективность оценки функционального состояния центральной нервной системы путем применения спектрального анализа к временным показателям простой сенсомоторной реакции.

Материалы и методы исследования. Проанализированы результаты ПФО, проведенного в лаборатории психофизиологических исследований в ФГБУ «ГНЦ – Федеральный медицинский биофизический центр им. А.И.Бурназяна» ФМБА России в период с 19.01.2021 по 07.03.2024 гг. с помощью программного комплекса «Электронная система медицинских осмотров» (ЭСМО) фирмы «Квазар». Для анализа были выбраны результаты ПФО 3488 работников атомной промышленности (14013 обследований). По величине показателя «Средняя скорость простой сенсомоторной реакции» и в соответствии с нормативами, приведенными в МУ-1999 – среднее время реакции (Mср) $\leq 347,8$ мс – были выделены две группы обследуемых (табл. 1).

Таблица 1 / Table No. 1

Нормативы психодиагностических и психофизиологических методик и недопустимые величины

прогностически значимых показателей

Standards of psychodiagnostic and psychophysiological techniques and unacceptable values of prognostically significant indices

Показатель / Indicator	Среднее значение / Mean value M_{CP}	Верхняя граница нормы / Upper limit of normal $M_{CP}+2 SD$	Нижняя граница нормы / Lower limit of normal $M_{CP}-2 SD$	Недопустимые величины прогностически значимых показателей / Inadmissible values of prognostically significant indicators
Среднее время реакции (M_{cp}), мс / Mean reaction time (M_{sr}), ms	260,0	173,2	347,8	$T>400$
Среднеквадратическое отклонение (SD) / Standard deviation (SD)	59,0	31,1	87,0	–
Минимальное значение времени реакции, мс / Minimum reaction time, ms	182,4	125,0	239,8	–
Вариационный размах, мс / Variation range, ms	348,5	152,2	544,8	–
Амплитуда моды, % / Mode amplitude, %	26,4	9,8	43	–
Мода, мс / Mode, ms	231,4	146,9	315,9	–

В первую группу вошли 2897 чел. – 83,1% всех обследуемых, у которых величина показателя M_{CP} не превышала нижнюю границу нормы ($\leq 347,8$ мс). В данную группу входили 268 женщин, средний возраст которых составлял ($43,3\pm 0,9$) года и 2628 мужчин, средний возраст – ($43,7\pm 0,8$) года.

Во вторую группу вошел 591 обследуемый (26,9% всех обследуемых) – $M_{CP}>347,8$ мс, из них: 51 женщина, средний возраст – ($52,8\pm 1,9$) года и 540 мужчин, средний возраст – ($48,6\pm 0,6$) года. Результаты ПФО анализировали с применением метода быстрого преобразования Фурье (БПФ), позволяющего с высокой вероятностью оценить состояние и изменчивость времён скоростей ПСМР [16–18].

По результатам ПСМР, для каждого обследуемого в двух группах рассчитывали показатели спектрального анализа. Расчёты и статистическую обработку результатов проводили в программе MS Excel, описывая показатели в виде средних значений с ошибкой среднего ($M\pm m$) и со среднеквадратичным отклонением (SD) при нормальном распределении.

Результаты исследования и их анализ. Основным критерием заключения о наличии/отсутствии психофизиологических противопоказаний для выдачи разрешения на выполнение определённых видов деятельности в атомной промышленности является средняя скорость реакции, нормативы и недопустимые величины которой приведены в табл. 2. Однако средняя скорость реакции не отражает диапазон ПСМР, поэтому в МУ-1999 учитывают 5 показателей, в том числе

минимальное и максимальное время реакции и вариационный размах между этими показателями.

Изменение показателей вариации свидетельствует о стабильности/нестабильности нервных процессов. Например, величина SD отражает устойчивость-неустойчивость временных показателей ПСМР и характеризует состояние гомеостатических механизмов регуляции деятельности ЦНС. При анализе результатов недооценка показателя SD может приводить к неадекватной оценке ФС ЦНС.

По аналогии с вариационной кадиоинтервалографией, ФС ЦНС можно оценивать с помощью вариационной сенсометрии. Метод вариационной сенсометрии считают одним из наиболее объективных методов оценки сердечного ритма [5–7]. Однако, несмотря на явные преимущества показателей вариационной сенсометрии, в настоящее время при оценке результатов ПФО работников атомной промышленности их не используют. Авторы предлагают, в отличие от вариационной сенсометрии с вычислением отдельных показателей, рассчитывать для оценки ФС ЦНС единый показатель, учитывающий как значения, так и распределение временных показателей в вариационном ряду, а также рассчитывать десятичный логарифм нормализованного показателя средней частотной плотности мощности сигнала $Lg(P_{\omega_{norm}})$. Существенным достоинством такого показателя будет возможность полностью отразить состояние и вариативность показателей ПСМР.

При выполнении теста ПСМР у каждого обследуемого будет получен массив времён реакций, представляющих

Таблица 2 / Table No. 2

Сравнение показателей вариации простой сенсомоторной реакции (ПСМР) и $Lg(P_{\omega_{norm}})$

в двух группах обследуемых, чел. / %

Comparison of the indices of variation of SSMR and $Lg(P_{\omega_{norm}})$ in two groups of subjects, persons / %

Показатель / Indicator	1-я группа / Group 1, n=2897		2-я группа / Group 2, n=591	
	число обследуемых с показателем в пределах нормы* / number of subjects with indicator within normal limits*	число обследуемых с показателем за пределами нормы / number of subjects with indicator outside normal limits	число обследуемых с показателем в пределах нормы / number of subjects with indicator within normal limits	число обследуемых с показателем за пределами нормы / number of subjects with indicator outside normal limits
Среднеквадратичное отклонение – SD / Standard deviation – SD	2719 / 93,9	178 / 6,1	370 / 62,6	221 / 37,4
Вариационный размах / Variation range	2844 / 98,2	53 / 1,8	562 / 95,1	29 / 4,9
Амплитуда моды / Mode amplitude	2814 / 97,2	83 / 2,8	589 / 99,7	2 / 0,3
Мода / Mode	2719 / 93,9	178 / 6,1	199 / 33,7	392 / 66,3
$Lg(P_{\omega_{norm}})$	2890 / 99,8	7 / 0,2	457 / 77,3	134 / 22,7

Примечание. * Норма – это значение показателя в пределах (± 2 SD)

Note. *The normal limit is considered to be the value of the indicator within the range (± 2 SD)

собой эмпирическую функцию $f(t)$. Применив к данной функции $f(t)$ прямое дискретное преобразование Фурье по алгоритму БПФ, получим спектр амплитуд гармоник.

Согласно теореме Парсеваля, среднюю мощность функции $f(t)$ можно оценить через сумму квадратов амплитуд всех гармонических составляющих спектра этой функции. Средняя мощность функции $f(t)$ является энергетической характеристикой этого сигнала. Для характеристики всех частот спектра сигнала рассчитаем отношения средней мощности сигнала на ширину всего частотного диапазона спектра сигнала и в результате получим показатель, характеризующий среднюю плотность мощности сигнала, приходящуюся на каждую частоту в спектре этого сигнала, т.е. среднюю частотную плотность мощности сигнала (P). Указанный показатель рассчитывается по формуле (1):

$$P_\omega = \frac{\sum_{n=0}^M |A_n|^2}{(\omega_{max} - \omega_{min})} \quad (1)$$

где: M – общее количество гармоник;

A_n – амплитуда n -й гармоники;

ω_{max} – максимальная частота ненулевой гармоники в спектре;

ω_{min} – минимальная частота ненулевой гармоники в спектре.

Таким образом, средняя частотная плотность мощности сигнала оказывается вычисляемой интегральной характеристикой всего временного ряда ПСМР и отражает ФС ЦНС обследуемого.

Поскольку при БПФ количество данных должно быть равным 2^N (т.е. 32, 64, 128 и т.д.), а значения расчетных показателей зависят от их количества, мы решили стандартизовать показатель P к количеству предъявляемых стимулов ПСМР. Для этого рассчитаем нормализованный показатель средней частотной плотности мощности сигнала по формуле (2):

$$P_{\omega_{norm}} = \frac{P_\omega}{(N - 1)} \quad (2)$$

где N – количество предъявляемых стимулов.

Поскольку величина показателя оказывается большой, а различия сравнивать и оценивать визуально – трудно, предлагаем использовать десятичный логарифм нормализованного показателя средней частотной плотности мощности сигнала $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$.

После расчета $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ методом БПФ по представленным выше формулам для всех обследуемых авторы рассчитали для него среднее значение, ошибку среднего и среднеквадратичное отклонение: $(1,94 \pm 0,014)$; $SD = 0,33$. Из этого следует: для $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ верхняя граница нормы $(+2 SD) = 2,60$, а нижняя граница нормы $(-2SD) = 1,23$, что соответствует нормативным показателям в МУ-1999 (см. табл. 2).

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Чиж И.М., Косачев В.Е., Русанов С.Н., Карпенко И.В. История отечественной психофизиологии как междисциплинарной области медицины // Международный научно-исследовательский журнал. 2021. №4 (106). Ч. 2. С. 136-144.

2. Дагилева А.В., Теплов К.О., Лебедев М.Д. Зависимость скорости реакции человека от компьютерных игр // Сборник матер. XIII Всероссийской научно-практической конференции молодых ученых «Россия молодая» 20-23 апреля 2021 г., г.Кемерово. Кемерово: Кузбасский государственный технический университет им. Т.Ф.Горбачева, 2021.

В первой группе показатель $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ оказался в пределах нормы у 2890 обследуемых (99,8%). Остальные показатели в пределах нормы оказались у 2844–2719 обследуемых (98,2–93,9%). Число обследуемых с результатом показателя $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$, выходящим за пределы нормы, составило в этой группе 7 чел. (0,2%), для остальных показателей – от 53 до 178 чел. (1,8–6,1%).

Во второй группе обследуемых различия оказались более выраженным. Среднее время реакции оказалось в пределах нормы у 199–589 обследуемых (33,7–99,7%). Наиболее часто отклонялся от нормы показатель Мода у 392 обследуемых (66,3%), однако в первой группе он выходил за пределы нормы у 178 обследуемых (6,1%), т.е. оказался самым неинформативным. Аналогично изменялся показатель SD . По сравнению со всеми пятью анализируемыми показателями показатель $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ оказался в середине значений как в пределах, так и за пределами нормы. Таким образом, показатель $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ наиболее соответствует характеристике ФС ЦНС у обследуемых в целом – как в первой, так и во второй группе.

Выводы

1. В настоящее время для оценки функционального состояния центральной нервной системы используют нормативы, приведенные в МУ-1999, которые не пересматривались в течение 25 лет и не учитывают новых достижений психофизиологии человека. В связи с этим назрела необходимость пересмотреть нормативы показателей ПСМР для выявления лиц, имеющих психофизиологические противопоказания к работе на объектах атомной промышленности.

2. Показатели вариации характеризуют важное свойство ЦНС – стабильность/неустойчивость нервных процессов. Однако в МУ-1999 нормативных значений недопустимых величин ПСМР – не предложено. Поэтому их невозможно использовать для заключения о психофизиологических противопоказаниях к работе на объектах атомной промышленности.

3. Предложенный показатель $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ наиболее точно характеризует временные показатели ПСМР, учитывая как их средние значения, так и их вариабельность. При сравнительной характеристике показателя $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ и показателей, предложенных в МУ-1999, доказано, что первый позволяет оценивать ФС ЦНС более достоверно. Необходимо продолжить исследования расчета показателя $\text{Lg}(P_{\omega_{norm}})$ для других простых и сложных сенсомоторных реакций и определения его недопустимых значений.

4. Применение более совершенных – таких, как БПФ – методов математического анализа временных рядов скорости сенсомоторных реакций облегчит широкому кругу специалистов оценку ФС ЦНС и прогнозирование надежности профессиональной деятельности.

REFERENCES

1. Chizh IM, Kosachev VE, Rusanov SN, Karpenko IV. History of Russian Psychophysiology as an Interdisciplinary Field of Medicine. Mezhdunarodny Nauchno-Issledovatel'skiy Zhurnal = International Scientific Research Journal 2021;4 (106);Part 2:136-144 (In Russ.).

2. Dyagileva AV, Teplov KO, Lebedev MD. Dependence of Human Reaction Speed on Computer Games. Rossiya Molodaya = Young Russia. Kuzbass State Technical University named after T.F.Gorbachev. Collection of Materials of the XIII All-Russian Scientific and Practical Conference of Young Scientists. April 20-23, 2021. Kemerovo Publ., 2021 (In Russ.).

3. Временные методические рекомендации по организации и проведению профессионального психофизиологического отбора персонала атомных электростанций. Утв. зам. министра атомной энергетики СССР А.В.Пикуевым и Первым зам. министра здравоохранения СССР Г.В.Сергеевым 07.05.88 г.
4. Методические указания по проведению медицинских осмотров и психофизиологических обследований работников объектов использования атомной энергии №32-023/20. М.: Минздрав России, 1998.
5. Гриневич А.А., Чемерис Н.К. Спектральный анализ вариабельности сердечного ритма на основе метода Гильберта-Хуанга // Доклады Российской академии наук. Науки о жизни. 2023. Т.511. № 1. С. 395-398.
6. Pustovoit VI, Balakin El, Maksyutov NF, Murtazin AA, Samoylov AS. Change in the Functional Status of Extreme Athletes in Response to Adverse Environmental Conditions // Human. Sport. Medicine. 2022. V.22. S2. P. 22-29. DOI: 10.14529/hsm22s203
7. Пустовойт В.И., Ключников М.С., Назарян С.Е., Ероин И.А., Самойлов А.С. Вариабельность сердечного ритма, как основной метод оценки функционального состояния организма спортсменов, принимающих участие в экстремальных видах спорта. // Современные вопросы биомедицины. 2021. Т.5. №2. DOI: 10.51871/2588-0500/_2021/_05/_02/_4
8. Пустовойт В.И., Ключников М.С., Назарян С.Е., Ероин И.А., Самойлов А.С. Характеристика основных показателей вариабельности сердечного ритма у спортсменов циклических и экстремальных видов спорта // Кремлевская медицина. Клинический вестник. 2021. Т.1. С. 26-30.
9. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Ключников М.С. Скрининг-диагностика функционального состояния спортсменов-дайверов с преобладанием автономного типа регуляции // Медицина экстремальных ситуаций. 2019. Т.21. №2. С. 320-329.
10. Самойлов А.С., Никонов Р.В., Пустовойт В.И., Ключников М.С. Применение методики анализа вариабельности сердечного ритма для определения индивидуальной устойчивости к токсическому действию кислорода // Спортивная медицина: наука и практика. 2020. Т.10. № 3. С. 73-80.
11. Назарян С.Е., Орлова Н.З., Пустовойт В.И. Мишени психологической коррекции в реабилитации высококвалифицированных спортсменов // Спортивная медицина: наука и практика. 2023. Т.13. №1. С. 72-79.
12. Пустовойт В.И. Скрининг диагностика психоэмоционального состояния спортсменов, экстремальных видов спорта, методом электроэнцефалографии // Современные вопросы биомедицины. 2022. Т.6. №1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_30
13. Пустовойт В.И., Самойлов А.С., Назарян С.Е., Евсеев Р.А. Электроэнцефалографические особенности спектральных характеристик психоэмоционального состояния спортсменов, экстремальных видов спорта // Лечебная физкультура и спортивная медицина. 2020. Т. 155. №1. С. 58-65.
14. Пустовойт В.И., Назарян С.Е., Адоева Е.Я., Ключников М.С., Кириченко Н.А., Самойлов А.С. Пилотное исследование по оценке эффективности психокорректирующих методов с использованием ЭЭГ-тренинга и очков виртуальной реальности у спортсменов, участвующих в экстремальных видах спорта // Спортивная медицина: наука и практика. 2021. Т.11. № 2. С. 67-75. DOI:10.47529/2223-2524.2021.2.8
15. Муртазина Е.П., Гинзбург-Шик Ю.А. Спектральные характеристики Тета- и Альфа-ритмов ЭЭГ в покое у групп испытуемых с различной результативностью совместной деятельности в диадах // Журнал высшей нервной деятельности им. И.П. Павлова. 2023. Т.73. №1. С. 24-37.
16. Chen L, Dong Y, Liu X, Zhang H, Tang B, Huang Q. Efficient Computation of Discrete Fourier Transform on Distributed Systems with Memory Consistency // IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems. 2021. Vol. 32. No. 1. Pp. 1-14.
17. Кандидов В.П., Чесноков С.С., Шленов С.А. Дискретное преобразование Фурье // Вестник Московского государственного университета. Серия 15. Вычислительная математика и кибернетика. 2020. №2. С. 5-12.
18. Способ оценки уровня функционального состояния центральной нервной системы на основе анализа вариабельности сенсомоторных реакций с помощью прямого дискретного преобразования Фурье: Заявка на изобретение от 05.12.2023 №2023132640.
3. Temporary Methodological Recommendations on the Organization and Conduct of Professional Psychophysiological Selection of Personnel of Nuclear Power Plants. Approved by Minister of Atomic Energy of the USSR Piruev AV and the First Deputy Minister of Health of the USSR Sergeev GV dated 05/07/88 (In Russ.).
4. Methodological Guidelines for Conducting Medical Examinations and Psychophysiological Examinations of Employees of Nuclear Energy Facilities. No. 32-023/20. Moscow, Ministry of Health of the Russian Federation Publ., 1998 (In Russ.).
5. Grinevich AA, Chemeris NK. Spectral Analysis of Heart Rate Variability Based on the Hilbert-Huang Method. *Doklady Rossiyskoy Akademii Nauk. Nauki o Zhizni* = Reports of the Russian Academy of Sciences. Life Sciences, 2023;511;1:395-398 (In Russ.).
6. Pustovoit VI, Balakin El, Maksyutov NF, Murtazin AA, Samoylov AS. Change in the Functional Status of Extreme Athletes in Response to Adverse Environmental Conditions. Human. Sport. Medicine. 2022;22;S2:22-29. DOI: 10.14529/hsm22s203
7. Pustovoit VI, Klyuchnikov MS, Nazaryan SE, Yeroyan IA, Samoylov AS. Heart Rate Variability as the Main Method for Assessing the Functional State of the Body of Athletes Participating in Extreme Sports. *Sovremennyye Voprosy Biomeditsiny* = Modern Issues of Biomedicine. 2021;5;2:4 (In Russ.). DOI 10.51871/2588-0500/_2021/_05/_02/_4
8. Pustovoit VI, Klyuchnikov MS, Nazaryan SE, Yeroyan IA, Samoylov AS. Characteristics of the Main Indicators of Heart Rate Variability in Athletes of Cyclic and Extreme Sports. *Kremlevskaya Meditsina. Klinicheskiy Vestnik* = Kremlin Medicine. Clinical Bulletin. 2021;1:26-30 (In Russ.).
9. Pustovoit VI, Samoylov AS, Klyuchnikov MS. Screening-Diagnostics of the Functional State of Athletes-Divers with a Predominance of the Autonomous Type of Regulation. *Meditina Ekstremal'nykh Situatsiy* = Medicine of Extreme Situations. 2019;21;2:320-329 (In Russ.).
10. Samoilov AS, Nikonorov RV, Pustovoit VI, Klyuchnikov MS. Application of the Methodology for Analyzing Heart Rate Variability to Determine Individual Resistance to the Toxic Effects of Oxygen. *Sportivnaya Meditsina: Nauka i Praktika* = Sports Medicine: Science and Practice. 2020;10;3:73-80 (In Russ.).
11. Nazaryan SE, Orlova NZ, Pustovoit VI. Targets of Psychological Correction in the Rehabilitation of Highly Qualified Athletes. *Sportivnaya Meditsina: Nauka i Praktika* = Sports Medicine: Science and Practice. 2023;13;1:72-79 (In Russ.).
12. Pustovoit VI. Screening Diagnostics of the Psycho-Emotional State of Athletes, Extreme Sports, by Electroencephalography. *Sovremennyye Voprosy Biomeditsiny* = Modern Issues of Biomedicine. 2022;6;1. DOI: 10.51871/2588-0500_2022_06_01_30 (In Russ.).
13. Pustovoit VI, Samoylov AS, Nazaryan SE, Evseev RA. Electroencephalographic Features of Spectral Characteristics of the Psycho-Emotional State of Athletes, Extreme Sports. *Lechebnaya Fizkul'tura i Sportivnaya Meditsina* = Therapeutic Physical Education and Sports Medicine. 2020;155;1:58-65 (In Russ.).
14. Pustovoit VI, Nazaryan SE, Adoeva EYa, Klyuchnikov MS, Kirichenko NA, Samoylov AS. Pilot Study to Assess the Effectiveness of Psychocorrective Methods Using EEG Training and Virtual Reality Glasses for Athletes Participating in Extreme Sports. *Sportivnaya Meditsina: Nauka i Praktika* = Sports Medicine: Science and Practice. 2021;11;2:67-75 (In Russ.). DOI:10.47529/2223-2524.2021.2.8
15. Murtazin Ye.P, Ginzburg-Shik Yu.A. Spectral Characteristics of Theta- and Alpha-Rhythms of EEG at Rest in Groups of Subjects with Different Effectiveness of Joint Activity in Dyads. *Zhurnal Vysshey Nervnoy Deyatel'nosti im. I.P. Pavlova* = I.P. Pavlov Journal of Higher Nervous Activity. 2023;73;1:24-37 (In Russ.).
16. Chen L, Dong Y, Liu X, Zhang H, Tang B, and Huang Q. Efficient Computation of Discrete Fourier Transform on Distributed Systems with Memory Consistency. IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems, 2021;32;1:1-14.
17. Candidov VP, Chesnokov SS, Shlenov SA. Discrete Fourier Transform. *Vestnik Moskovskogo Gosudarstvennogo Universiteta* = Bulletin of the Moscow State University. Series 15. Computational Mathematics and Cybernetics. 2020;2:5-12 (In Russ.).
18. A Method for Assessing the Level of the Functional State of the Central Nervous System Based on the Analysis of the Variability of Sensorimotor Reactions Using a Direct Discrete Fourier Transform. Application for Invention No. 2023132640 dated 05.12.2023 (In Russ.).

Материал поступил в редакцию 06.11.24; статья принята после рецензирования 17.02.25; статья принята к публикации 13.03.25
The material was received 06.11.24; the article after peer review procedure 17.02.25; the Editorial Board accepted the article for publication 13.03.25