

EDN: <https://elibrary.ru/etdylp>DOI: <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-10-681-687>

УДК 616.24:616-092.18: 613.6.02

© Коллектив авторов, 2024

Флейшман А.Н., Яук А.В., Петровский С.А., Блажина О.Н., Кораблина Т.В.

Оценка возрастных особенностей состояния водителей большегрузных машин на основе спектрального анализа ЭЭГ-ЭКГ и стресс-тестов при массовых профосмотрах

ФГБНУ «Научно-исследовательский институт комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний», ул. Кутузова, 23, Новокузнецк, 654041

Исследованы возрастные физиологические особенности водителей большегрузных машин угольных разрезов на основе спектрального анализа ЭЭГ-ЭКГ и стресс-тестов, имеющих прогностическое значение в профессиональной деятельности.

Цель исследования — оценить функциональное состояние водителей большегрузных машин разных возрастных групп на основе комплексного спектрального анализа ЭЭГ-ЭКГ в условиях профосмотров.

На профосмотре исследованы спектральные показатели ЭЭГ-ЭКГ у 300 водителей мужчин в возрасте от 25 до 66 лет. Регистрация ЭЭГ осуществлялась при размещении электродов в системе 10–20. Анализ ЭЭГ проводился с предварительным визуальным анализом с последующим удалением артефактов. Оценивался уровень представительства основного альфа-ритма и его пространственного распределения. Регистрация ЭКГ осуществлялась в первом отведении. Длительность регистрации ЭЭГ-ЭКГ около 15 минут в типичной последовательности стресс-тестов: исходного состояния, ритмической фотостимуляции, гипервентиляции с периодами восстановления. Спектральный анализ ЭЭГ-ЭКГ осуществлялся в автоматическом режиме на приборе Neurotravel (Италия).

В исходных спектрах ЭЭГ найдена более низкая мощность альфа и дельта активность у водителей старшего возраста 45–66 лет, что способствовало кумулятивному эффекту стресс нагрузки. Световая стресс стимуляция значительно снижала альфа- и дельта-активность и повышала бета-активность ЭЭГ в обеих группах, при этом в старшей группе высокочастотный диапазон значительно превышал низкочастотный. Одновременно с изменениями ЭЭГ стресс фотостимуляция увеличивала энергетику спектров ЭКГ во всех частотных диапазонах.

Установлено появление дополнительных индикаторов состояния стресса при световой стимуляции у водителей старшей возрастной группы на основе показателей корреляции спектров ЭЭГ-ЭКГ (альфа/дельта) и отсутствие подобных изменений в группе молодых водителей 25–35 лет. Причем коэффициенты корреляции ЭЭГ-ЭКГ и их критические значения возрастали в группах с шагом в 6 лет с 35 до 65 лет.

Водители старшего возраста на основе нейро-кардиодинамических показателей находились в состоянии хронического стресса и вытекающих рисков здоровья и профессиональной деятельности, а найденные физиологические механизмы стресса могут быть в основе способов его профилактики.

Ограничения исследования. Исследование ограничено оценкой ЭЭГ- и ЭКГ-показателями у 300 водителей большегрузных машин.

Этика. Исследование выполнено неинвазивными методами и одобрено биоэтическим комитетом НИИ комплексных проблем гигиены и профессиональных заболеваний, протокол № 5, § 1 от 26.12.2018 г., в соответствии с Хельсинкской декларацией Всемирной медицинской ассоциации «Этические принципы проведения медицинских исследований с участием человека в качестве субъекта» с поправками 2013 г. и «Правилами надлежащей клинической практики», утвержденными приказом Минздрава России № 200н от 1 апреля 2016 г. Все обследуемые пациенты подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Ключевые слова: водители большегрузных машин; возрастные особенности; стресс-анализ ЭЭГ-ЭКГ; профосмотр

Для цитирования: Флейшман А.Н., Яук А.В., Петровский С.А., Блажина О.Н., Кораблина Т.В. Оценка возрастных особенностей состояния водителей большегрузных машин на основе спектрального анализа ЭЭГ-ЭКГ и стресс-тестов при массовых профосмотрах. *Мед. труда и пром. экол.* 2024; 64(10): 681–687. <https://elibrary.ru/etdylp> <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-10-681-687>

Для корреспонденции: Флейшман Арнольд Наумович, e-mail: anf937@mail.ru

Участие авторов:

Флейшман А.Н. — концепция и дизайн исследования, сбор и анализ данных, сбор данных литературы, написание текста;

Яук А.В. — статистическая обработка;

Петровский С.А. — сбор и обработка данных литературы;

Блажина О.Н. — сбор и обработка данных, редактирование;

Кораблина Т.В. — статистическая обработка.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Дата поступления: 12.09.2024 / Дата принятия к печати: 16.10.2024 / Дата публикации: 08.11.2024

Arnold N. Fleishman, Albina V. Yauk, Stanislav A. Petrovskiy, Olga N. Blazhina, Tatyana V. Korablina

Assessment of age-related features of the condition of heavy-duty truck drivers based on spectral analysis of EEG-ECG and stress tests during mass occupational examinations

Research Institute for Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, 23, Kutuzova St, Novokuznetsk, 654041

The authors studied the physiological characteristics of drivers of heavy-duty coal mine vehicles based on spectral analysis of EEG-ECG and stress tests, which have prognostic value in professional activity.

The study aims to assess the functional condition of heavy-duty truck drivers of different age groups based on a comprehensive spectral analysis of EEG-ECG under occupational examinations.

During the survey, the authors have studied the spectral parameters of the EEG-ECG in 300 male drivers aged 25 to 66 years. Specialists have performed EEG registration when placing electrodes in the 10–20 system. The EEG analysis was performed

with a preliminary visual analysis followed by the removal of artifacts. The scientists assessed the level of representation of the main alpha rhythm and its spatial distribution. The ECG registration was in the first lead. The duration of EEG-ECG registration is about 15 minutes in a typical sequence of stress tests: baseline, rhythmic photostimulation, hyperventilation with recovery periods. The spectral analysis of the EEG-ECG was performed automatically on a Neurotravel device (Italy). The authors found lower alpha and delta activity in the initial EEG spectra in older drivers aged 45–66 years, which contributed to the cumulative effect of stress load. Light stress stimulation significantly reduced alpha and delta activity and increased beta EEG activity in both groups, while in the older group the high-frequency range significantly exceeded the low-frequency range. Simultaneously with the changes in the EEG, stress photostimulation increased the energy of the ECG spectra in all frequency ranges.

The authors established the appearance of additional stress indicators during light stimulation in older drivers based on the correlation of EEG-ECG spectra (alpha/delta) and the absence of such changes in the group of young drivers aged 25–35 years. Moreover, the EEG-ECG correlation coefficients and their critical values increased in groups in increments of 6 years — from 35 to 65 years.

Elderly drivers, based on neuro-cardiodynamic indicators, were in a state of chronic stress and the resulting risks to health and professional activity, and the identified physiological mechanisms of stress may be at the heart of ways to prevent it.

Limitations. The study is limited to the assessment of EEG and ECG indicators in 300 heavy truck drivers.

Ethics. The study was performed using non-invasive methods and approved by the Bioethical Committee of the Research Institute of Complex Problems of Hygiene and Occupational Diseases, Protocol No. 5, § 1 dated 12/26/2018, in accordance with the Helsinki Declaration of the World Medical Association "Ethical Principles of conducting medical research with human participation as a subject" as amended in 2013 and the "Rules of Good Clinical Practice" approved by by Order of the Ministry of Health of the Russian Federation No. 200n dated April 1, 2016. All the examined patients signed a voluntary informed consent to participate in the study.

Keywords: *drivers of heavy trucks; age characteristics; stress analysis of EEG-ECG; occupational examination*

For citation: Fleishman A.N., Yauk A.V., Petrovsky S.A., Blazhina O.N., Korablina T.V. Assessment of age-related features of the condition of heavy-duty truck drivers based on spectral analysis of EEG-ECG and stress tests during mass occupational examinations. *Med. truda i prom. ekol.* 2024; 64(10): 681–687. <https://doi.org/10.31089/1026-9428-2024-64-10-681-687> <https://elibrary.ru/etdylp>

For correspondence: Arnold N. Fleishman, e-mail: anf937@mail.ru

Contribution:

Fleishman A.N. — research concept and design, data collection and analysis, literature data collection, text writing;

Yauk A.V. — statistical processing;

Petrovsky S.A. — collection and processing of literature data;

Blazhina O.N. — data collection and processing, editing;

Korablina T.V. — statistical processing.

Funding. The study had no funding.

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

Received: 12.09.2024 / Accepted: 16.10.2024 / Published: 08.11.2024

Старение в популяции человека актуализирует проблему активной трудовой деятельности лиц старшего возраста и изучения влияния возраста и рабочей нагрузки на профессиональную деятельность водителей машин [1]. Деятельность водителей большегрузных автомобилей в угольной промышленности сопряжена с большими физическими и психоэмоциональными нагрузками.

Ограничения деятельности водителей определены приказом Минздрава № 29Н от 2021 года «Об утверждении порядка проведения обязательных предварительных и периодических медицинских осмотров работников, связанных с вредными и (или) опасными производственными факторами». Ограничения, в частности, касаются диагностики любых форм потери сознания, эпилепсии и сердечно-сосудистых заболеваний. Рекомендовано, в связи с этим, использовать электроэнцефалографические и электрокардиографические исследования при профессиональных осмотрах. Вместе с тем значительный объем физиологических исследований дает возможность использовать результаты профосмотров для прогнозирования функциональных состояний водителей в процессе их деятельности. Физиологический статус водителя является одним из наиболее важных факторов в моделях прогнозирования рисков вождения. Основными показателями физиологического статуса обычно используются показатели пульса, ЭКГ, вариабельности ритма сердца (ВРС) и ЭЭГ, КТР [2, 3].

Большинство прогностических моделей использовались для представления текущего естественного состоя-

ния, а не для прогнозирования рисков в ближайшем будущем. В работе Li Y. для прогнозирования функционального состояния водителей были предложены скрытые модели Маркова на основе двухфакторных показателей движения глаз, ВРС и транспортных средств [4].

Рассмотрены мультисенсорные совмещенные вычисления на основе ЭЭГ-ЭКГ для распознавания усталости водителей [5, 6]. Опубликован обзор использования искусственного интеллекта [6].

Несмотря на разнообразие технических систем анализа, количество основных физиологических показателей остаётся стандартным. Однако среди показателей ВРС отсутствовал наиболее важный прогностический показатель околominутных ритмов — VLF-спектра ЭКГ, имеющий важное прогностическое значение при инфаркте миокарда.

Обзор частотно-временных спектральных методов в анализе ЭКГ опубликован в работе [2]. Эти методы значительно расширяют информативность ЭКГ-исследований по сравнению с визуальным анализом.

Обзор применения сигналов ЭЭГ в методах обнаружения сонливости водителя опубликован во многих работах [2, 3]. Для оценки функционального состояния водителей в режиме реального времени и острого стресса использовались энцефалографические показатели и вариабельность ритма сердца [7]. У лиц старшей возрастной группы мощность альфа-активности спектра обычно снижена, что способствует кумулятивному эффекту стрессовых нагрузок [7, 8].

Существует взаимосвязь между характером и представительством альфа-ритма и эффективностью внимания при выполнении задач по отслеживанию нескольких объектов, что весьма важно для водителей [9]. При оценке стрессового состояния и его восстановления имеет значение нормализация основного альфа-ритма мозга после состояния стресса [10]. Ранее предложен новый подход совместных ЭЭГ-ЭКГ-исследований, который оказался эффективным при оценке сонливости у водителей, что необычайно важно для предупреждения несчастных случаев [11, 12].

Расширение информативности методов анализа функциональных состояний водителей связано со спектральным анализом физиологических показателей и функциональными нагрузками или стресс-тестами. Спектральный анализ ЭЭГ широко используется в неврологии и психиатрии и реализован в программном обеспечении приборов. Электроэнцефалограф — Neurotravel Ates Medica. В частности, в оценке функционального состояния стресса значительное внимание уделяется изменениям альфа-активности ЭЭГ [12]. Ранее опубликован анализ влияния световой ритмической стимуляции на активность вегетативной нервной системы. В эксперименте показано, что световая стимуляция глаз усиливает симпатические влияния и подавляет активность блуждающих нервов, что способствует развитию стрессовых состояний [13].

Отмечено значительное влияние света на обмен веществ организма и гормоны. Доказано, что энергетическое действие света на гипоталамус осуществляется через ретино-гипоталамические пути. Экзогенная световая стимуляция усиливает обмен веществ и гормональный фон [14]. Роль функциональных нагрузок может быть определена как провокационные стресс-тесты и в сочетании с ЭЭГ-ЭКГ выявляются скрытые нарушения нервной системы. В нашем случае реализуются два типа провокационных тестов: ритмическая фотостимуляция (РФС) и гипервентиляция (ГВ). РФС активизирует деятельность ЦНС и широко используется в эпилептологии [13, 14].

Значительный поток научных статей и патентов до настоящего времени посвящен проблеме развития стрессовых состояний у водителей автотранспорта как основной причине неблагоприятных ситуаций и смертей на дорогах. Причем психоэмоциональное выраженное напряжение может быть не только у водителей грузового транспорта, но и при обычном вождении легковых машин. Стрессовые состояния чаще развиваются у лиц старшего возраста, у которых наблюдаются кумулятивные эффекты подобных состояний [8]. Прогнозирование развития стресса у водителей и возможности его предупреждения являются актуальной задачей [15].

Идентификация стрессового состояния найдена по соотношению показателей альфа/бета, тета/бета спектра ЭЭГ. Эти же показатели могут быть потенциальными биомаркерами контроля внимания водителей [16, 17].

Нейрогенные механизмы стресса проявляются в различных ЭЭГ-паттернах, в том числе снижение мощности альфа-активности в теменно-затылочных отделах ЦНС и повышение мощности бета- и тета-волн в височных отделах [18, 19]. Несмотря на обилие работ, ряд проблем прогноза стресса остается недостаточно изученным, в частности возрастные аспекты развития профессионального стресса, использование неинвазивных методов контроля функционального состояния в сочетании с стресс-пробами являются задачей последующих исследований.

Цель исследования — оценить функциональное состояние водителей большегрузных машин разных возрастных групп на основе комплексного спектрального анализа ЭЭГ-ЭКГ в условиях профосмотров.

На профосмотре обследованы ЭЭГ-ЭКГ у 300 человек в возрасте от 25 до 66 лет. Регистрация ЭЭГ осуществляется при размещении электродов в системе 10–20. Анализ ЭЭГ проводился с предварительным визуальным анализом с последующим удалением артефактов. Оценивался уровень представительства основного альфа-ритма и его пространственного распределения. Регистрация ЭКГ осуществлялась в первом отведении.

Длительность регистрации около 15 минут в типичной последовательности стресс-тестов: исходного состояния, ритмической фотостимуляции, гипервентиляции с периодами восстановления. Спектральный анализ ЭЭГ-ЭКГ реализован в программном обеспечении прибора Neurotravel ATES Medica. Современная интерпретация альфа-ритма ЭЭГ рассматривает этот ритм как основное функциональное ядро, организующее всю биоэлектрическую активность мозга в других диапазонах [13]. Идентифицируется диапазон частот ЭЭГ: *alpha* (8–12 Гц), *beta* (13–25 Гц), *theta* (4–8 Гц), *delta* (>4 Гц). Мощность спектральной плотности измеряется в $\text{мкВ}^2/\text{Гц}$.

Этот же принцип спектрального анализа реализован в канале ЭКГ, регистрируемые одновременно с ЭЭГ. Причем, параметры спектральных оценок могут быть заданы в виде периодограмм или авторегрессии.

Оценка спектральной плотности мощности осуществляется с помощью периодограмм, которые вычисляются стандартным методом как квадрат модуля дискретного преобразования Фурье сигналов ЭЭГ и ЭКГ.

Оценка значимости различий средних двух парных выборок, полученных до и после стресс-тестов, проводилась с помощью *t*-критерия Стьюдента, а отличий медианных значений — с помощью критерия Уилкоксона с уровнем значимости $p=0,05$. Результаты, полученные с помощью параметрических и непараметрических статистик, идентичны.

В рамках исследования были собраны и проанализированы данные о 300 водителях. Были выделены две возрастные группы водителей: группа 1 — лица в возрасте 26–49 лет; группа 2 — 50–68 лет.

В **таблице 1** представлены медианные показатели спектра ЭЭГ в $\text{мВ}^2/\text{Гц}$. Оценка значимости различий медианных значений проводилась с помощью критерия Уилкоксона с уровнем значимости $p=0,05$. В **таблицах 1 и 2** представлены значения медиан M_e и первого и третьего квартилей (Q_1 , Q_3) спектральных показателей ЭКГ и ЭЭГ у водителей большегрузных автомобилей.

В первой и второй группах водителей было отмечено, что фотостимуляция приводит к снижению мощности альфа-активности и значительному повышению мощности бета-активности.

В первой группе водителей 26–49 лет, статистически значимыми являются все показатели, за исключением Тета. Для второй группы водителей 50–68 лет, статистически значимыми являются различия: для альфа-диапазона при сравнении выборок после фотостимуляции и гипервентиляции; для бета-диапазона при сравнении выборок в состоянии покоя, после фотостимуляции и гипервентиляции.

Из **таблицы 2** видно, что фотостимуляция приводит к увеличению мощностей кардиодинамических показателей во всех диапазонах спектра.

Таблица 1 / Table 1
Медианные показатели спектра ЭЭГ в мкВ²/Гц в двух группах водителей при нагрузочных тестах
Median EEG spectrum values in $\mu V^2/Hz$ in two groups of drivers during stress tests

Показатели	Первая группа 26–49 лет, n=230 человек			
	Диапазон			
	Дельта	Тета	Альфа	Бета
В состоянии покоя	10,8 (9,2; 13,1)*	7,6 (6,3; 9,8)	18,3 (11,9; 27)*	7,6 (5,8; 9,7)*
Фотостимуляция	9,6 (8,2; 11,7)*	7,8 (6,5; 9,7)	14,7 (9,7; 20,7)*	9,7 (7,3; 12,1)*
Гипервентиляция	10,4 (8,6; 13,3)*	8,0 (6,3; 10,6)	20,5 (12,2; 28,6)*	8,3 (6,4; 10,5)*
	Вторая группа 50–68, n=70 человек			
	Диапазон			
	Дельта	Тета	Альфа	Бета
В состоянии покоя	9,7 (8,55; 11,55)	6,7 (5,67; 8,45)	15,2 (7,05; 23,07)	7,3 (5,7; 9,95)
Фотостимуляция	9,2 (7,85; 12,82)	6,8 (6,15; 8,72)	12,0 (8,62; 18,9)	10,3 (7,27; 12,92)
Гипервентиляция	9,3 (7,67; 10,77)	7,6 (5,7; 8,9)	16,5 (10,22; 26,55)	8,1 (6,47; 10,8)

Примечание: * — статистически значимые отличия показателя спектра ЭЭГ для первой и второй групп при анализе данных таблиц 1 и 2.
Note: * — statistically significant differences in the EEG spectrum indices for the first and second groups when analyzing the data in tables 1 and 2.

Таблица 2 / Table 2
Медианные показатели спектра ЭКГ в мкВ²/Гц в двух группах водителей при нагрузочных тестах
Median values of the ECG spectrum in $\mu V^2/Hz$ in two groups of drivers during stress tests

Показатели	Первая группа 26–49 лет, n=230 человек			
	Диапазон			
	Дельта	Тета	Альфа	Бета
В состоянии покоя	45,0 (34,5; 59,5)*	55,3 (40,5; 73,0)	55,5 (41,2; 71,1)*	62,5 (44,8; 76,6)*
Фотостимуляция	48,3 (36,5; 65,6)*	56,2 (41,9; 74,1)*	56,2 (43,2; 72,6)*	63,4 (47,8; 77,7)*
Гипервентиляция	44,2 (35,3; 60,7)*	55,1 (41,4; 71,8)*	57,7 (43,1; 70,6)	64,4 (47,3; 78,3)
	Вторая группа 50–68, n=70 человек			
	Диапазон			
	Дельта	Тета	Альфа	Бета
В состоянии покоя	44,5 (36,02; 53,92)*	55,3 (37,07; 76,82)	56,1 (37,57; 72,02)	62,2 (42,1; 74,4)*
Фотостимуляция	47,3 (38,5; 58,92)*	57 (39,725; 75,22)	58,2 (41,5; 73,82)	61,3 (45,3; 76,92)*
Гипервентиляция	45,3 (37,67; 59,6)	54,7 (37,47; 74,07)	55,5 (41,4; 72,45)	62,2 (44,92; 74,87)

Идентичные диапазоны спектров пары ЭКГ-ЭЭГ дают возможность корректной оценки взаимодействия нейрорадиодинамических взаимосвязей на основе новых стресс показателей — альфа/дельта диапазонов.

Для оценки функционального состояния и стресса водителей был проведен корреляционный анализ между отношением показателей альфа/дельта (*табл. 3*).

Установлено появление индикаторов состояния стресса при световой стимуляции у водителей старшей возрастной группы на основе показателей корреляции спектров ЭЭГ-ЭКГ (альфа/дельта) и отсутствие подобных изменений в группе молодых водителей 25–35 лет, причем коэффициенты корреляции и их критические значения возрастали в группах с шагом в 6 лет с 35 до 65 лет.

Коэффициент корреляции оценивался с помощью таблицы критических значений коэффициента корреляции Спирмена, при $p=0,05$, критические значения коэффициентов корреляции для групп представлены в *таблице 3*. В группе 50–66 лет коэффициент корреляции 0,61 между отношением диапазонов альфа/дельта ЭЭГ-ЭКГ указывает на сильную положительную связь между этими двумя показателями. Корреляции ЭЭГ-ЭКГ альфа/бета и альфа/тета были не достоверны.

Важно отметить, что эти коэффициенты корреляции имеют статистическую значимость согласно таблице критических значений Спирмена. Это подтверждает усиление связи между нейрорадиодинамическими показателями и их изменением с возрастом внутри соответствующих возрастных групп водителей.

В условиях общего старения населения проблемы безопасности вождения лиц старшего и пожилого возраста становятся особенно актуальными. Согласно японской статистике, доля пожилых водителей, попавших в дорожно-транспортные происшествия, за последние годы увеличилась почти вдвое [20]. Причиной этого явления чаще называют ухудшение здоровья, стрессовые состояния, усиливающиеся у лиц пожилого возраста, снижение скорости реакции. Психофизиологические исследования показывают, что водители старшего возраста часто недооценивают своё состояние. Это снижает роль самоотчётов в оценке стрессовой ситуации.

Процессы старения вызывают системные изменения в организме, которые приводят к снижению зрительных, гормональных, когнитивных и двигательных функций, влияющих на управление транспортом [21]. Особое место в сложных ситуациях управления транспортом отво-

Таблица 3 / Table 3

Коэффициенты корреляции и критические значения Спирмена Альфа/Дельта спектров ЭЭГ-ЭКГ в двух группах водителей при стресс тестах**Correlation coefficients and critical values of Spearman Alpha/Delta EEG-ECG spectra in two groups of drivers with stress tests**

Показатели	Возраст, лет			
	27–36	37–43	44–49	50–66
ЭЭГ в состоянии покоя (Альфа/Дельта) – ЭКГ в состоянии покоя (Альфа/Дельта)	–0,05	–0,11	0,16	–0,07
ЭЭГ, фотостимуляция (Альфа/Дельта) – ЭКГ, фотостимуляция (Альфа/Дельта)	0,22	0,28	0,34	0,61
ЭЭГ, гипервентиляция (Альфа/Дельта) – ЭКГ, гипервентиляция (Альфа/Дельта)	0,03	–0,01	0,13	0,3
Критические значения Спирмена	0,279	0,235	0,259	0,263

дят стрессовому состоянию водителей, проявляющихся значительно у лиц старшего возраста по сравнению с молодыми [21].

В настоящем исследовании нами использованы новые физиологические маркеры стрессовых состояний в двух взаимозависимых ЭЭГ-ЭКГ спектральных показателях функционального состояния организма в спокойном состоянии и при стресс-пробах [22]. Результаты сравнивались в двух возрастных группах 25–45 и 46–65 лет. В старшей возрастной группе стрессовые показатели возрастали с шагом 10 лет, что рассматривалось как дополнительный показатель хронического стресса. В группе молодых водителей эти стресс-маркеры не зарегистрированы.

В анализе полученных результатов исследований нами использованы принципы нейро-висцеральных интегративных моделей, подробно описанных в работе Thayer J.F. [23]. Эти принципы реализованы в корреляционном анализе ЭЭГ-ЭКГ-спектров, раскрывающем механизм формирования стрессового состояния у лиц старшего возраста по сравнению с молодыми водителями и возможными профилактическими мероприятиями.

Выводы:

1. Высокий уровень работоспособности у водителей 25–45 лет характеризуется высоким уровнем энергетики кардио- и нейродинамических процессов, гарантирую-

щих длительную и эффективную профессиональную деятельность и способствующих восстановлению оптимального функционального состояния после высокой физической и психоэмоциональной нагрузки.

2. Сниженная энергетика волновых процессов ЭЭГ-ЭКГ в старшей возрастной группе 50–65 лет способствует развитию нейросоматической патологии, а также кумулятивному эффекту стресса. Наиболее выраженной стресс-нагрузкой при симпатoadренальной активации для кардиодинамических процессов водителей большегрузных машин оказалась РФС. В восстановительных процессах наилучшим тестом была вентилиционная нагрузка с парасимпатической активностью.

3. В оценке развития стрессовых состояний у водителей старшей возрастной группы важную роль играют новые нейрокardiодинамические взаимоотношения, которые проявляются в коэффициентах корреляции стресса альфа/дельта спектров ЭЭГ-ЭКГ и отсутствие этих корреляций у молодых водителей.

4. При стрессовых состояниях в старшей возрастной группе происходит централизация управления периферической регуляции, в том числе сердечно-сосудистой системы. Высокие корреляции ЭЭГ-ЭКГ околominутных тета ритмов имеют фундаментальные основания, так как они контролируют основной обмен и центральную вазусную систему.

Список литературы (пп. 1–6, 8–12, 14–23 см. References)

- Некрасова М.М. Изменения энцефалографических параметров и спектральных показателей вариабельности сердечного ритма при проведении функциональных проб у водителей со стажем. *Здоровье населения и среда обитания* — 3НиСО. 2016; (7): 28–30. <https://elibrary.ru/wffzvl>
- Базанова О.М. Современная интерпретация альфа-активности ЭЭГ. *Международный неврологический журнал*. 2011; 8: 96–104. <https://elibrary.ru/oxdtb>

References

- Salvia E., Petit C., Champely S., Chomette R., Di Rienzo F., Collet C. Effects of age and task load on drivers' response accuracy and reaction time when responding to traffic lights. *Front Aging Neurosci*. 2016; 8: 169. <https://doi.org/10.3389/fnagi.2016.00169>
- Stancin I., Cifrek M., Jovic A. A review of EEG signal features and their application in driver drowsiness detection systems. *Sensors (Basel)*. 2021; 21(11): 3786. <https://doi.org/10.3390/s21113786>
- Arefnezhad S., Hamet J., Eichberger A., Frühwirth M., Ischebeck A., Koglbauer I.V., et al. Driver drowsiness estimation using EEG signals with a dynamical encoder-decoder modeling framework. *Sci Rep*. 2022; 12(1): 2650. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05810-x>
- Li Y., Wang F., Ke H., Wang L.L., Xu C.C. A driver's physiology sensor-based driving risk prediction method for lane-changing process using hidden Markov model. *Sensors (Basel)*. 2019; 19(12): 2670. <https://doi.org/10.3390/s19122670>
- Wang L., Song F., Zhou T.H., Hao J., Ryu K.H. EEG and ECG-based multi-sensor fusion computing for real-time fatigue driving recognition based on feedback mechanism. *Sensors (Basel)*. 2023; 23(20): 8386. <https://doi.org/10.3390/s23208386>
- Cao Z. A review of artificial intelligence for EEG-based brain-computer interfaces and applications. *Brain Science Advances*. 2020; 6(3): 162–70. <https://doi.org/10.26599/BSA.2020.9050017>
- Nekrasova M.M. Changes of encephalographic parameters and spectral indices of heart rate variability when conducting

- functional tests at drivers. *Zdorov'ye naseleniya i sreda obitaniya* — ZNiSO. 2016; 7 (280): 28–30 <https://elibrary.ru/wffzvl> (in Russian).
8. Manor R., Cheaha D., Kumarnsit E., Samerphob N. Age-related deterioration of alpha power in cortical areas slowing motor command formation in healthy elderly subjects. *In Vivo*. 2023; 37(2): 679–84. <https://doi.org/10.21873/invivo.13128>
 9. Snodgrass R.G., Jiang X., Stephensen C.B., Laugero K.D. Cumulative physiological stress is associated with age-related changes to peripheral T lymphocyte subsets in healthy humans. *Immun Ageing*. 2023; 20(1): 29. <https://doi.org/10.1186/s12979-023-00357-5>
 10. Zhang Y., Lu Y., Wang D., Zhou C., Xu C. Relationship between individual alpha peak frequency and attentional performance in a multiple object tracking task among ice-hockey players. *PLoS One*. 2021; 16(5): e0251443. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0251443>
 11. Nicholson A.A., Densmore M., Frewen P.A., Neufeld R.W.J., Théberge J., Jetly R. et al. Homeostatic normalization of alpha brain rhythms within the default-mode network and reduced symptoms in post-traumatic stress disorder following a randomized controlled trial of electroencephalogram neurofeedback. *Brain Commun*. 2023; 5(2): fcad068. <https://doi.org/10.1093/braincomms/fcad068>
 12. Geoffroy G., Chaari L., Tournet J.-Y., Wendt H. Drowsiness detection using joint EEG-ECG data with deep learning. 2021 29th European Signal Processing Conference (EUSIPCO). Aug. 23–27 2021, Dublin, Ireland. 2021: 955–9. <https://doi.org/10.23919/EUSIPCO54536.2021.9616046>
 13. Bazanova O.M. A modern interpretation of the alpha activity of the EEG. *Mezhdunarodnyy nevrologicheskiy zhurnal*. 2011; 8: 96–104. <https://elibrary.ru/oxdtb> (in Russian)
 14. Nijima A., Nagai K., Nagai N., Akagawa H. Effects of light stimulation on the activity of the autonomic nerves in anesthetized rats. *Physiol Behav*. 1993; 54(3): 555–61. [https://doi.org/10.1016/0031-9384\(93\)90249-f](https://doi.org/10.1016/0031-9384(93)90249-f)
 15. Ishihara A., Courville A.B., Chen K.Y. The complex effects of light on metabolism in humans. *Nutrients*. 2023; 15(6): 1391. <https://doi.org/10.3390/nu15061391>
 16. Siam A.I., Gamel S.A., Talaat F.M. Automatic stress detection in car drivers based on non-invasive physiological signals using machine learning techniques. *Neural Computing and Applications*. 2023; 35(17): 12891–904. <https://doi.org/10.1007/s00521-023-08428-w>
 17. Putman P., Verkuil B., Arias-Garcia E., Pantazi I., van Schie C. EEG theta/beta ratio as a potential biomarker for attentional control and resilience against deleterious effects of stress on attention. *Cogn Affect Behav Neurosci*. 2014; 14(2): 782–91. <https://doi.org/10.3758/s13415-013-0238-7>
 18. Wen T.Y., Aris S.A.M. Electroencephalogram (EEG) stress analysis on alpha/beta ratio and theta/beta ratio. *Indones. J. Electr. Eng. Comput. Sci*. 2020; 17(1): 175–82. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v17.i1.pp175-182>
 19. Park K.S., Choi H., Lee K.J., Lee J.Y., An K.O., Kim E.J. Patterns of electroencephalography (EEG) change against stress through noise and memorization test. *International Journal of Medicine and Medical Sciences*. 2011; 3(14): 381–9. <https://doi.org/10.5897/IJMMS.9000167>
 20. Zhao Y., Yamamoto T., Kanamori R. Study of older male drivers' driving stress compared with that of young male drivers. *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*. 2020; 7(4): 467–81. <https://doi.org/10.1016/j.jtte.2018.10.011>
 21. Robertsen R., Lorås H.W., Polman R., Simsekoglu O., Sigmundsson H. Aging and driving: a comparison of driving performance between older and younger drivers in an on-road driving test. *Sage Open*. 2022; 12(2). <https://doi.org/10.1177/21582440221096133>
 22. Mazlan M.R., Sukor A.S.A., Adom A. H., Jamaluddin R. Review of analysis of EEG signals for stress detection. *AIP Conf Proc*. 2024; 2934(1): 040007. <https://doi.org/10.1063/5.0181590>
 23. Thayer J.F., Mather M., Koenig J. Stress and aging: A neurovisceral integration perspective. *Psychophysiology*. 2021; 58(7): e13804. <https://doi.org/10.1111/psyp.13804>

Сведения об авторах:

- | | |
|----------------------------------|--|
| Флейшман Арнольд Наумович | заведующий лабораторией прикладной нейрофизиологии, д-р мед. наук, профессор.
E-mail: anf937@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2823-4074 |
| Яук Альбина Викторовна | инженер лаборатории прикладной нейрофизиологии.
E-mail: yauk.a@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0004-5798-3842 |
| Петровский Станислав Альфредович | младший научный сотрудник лаборатории прикладной нейрофизиологии.
E-mail: staspetrovskiy@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-1337-0989 |
| Блажина Ольга Николаевна | заведующий отделением периодических медицинских осмотров.
E-mail: olgablaz9@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0121-2246 |
| Кораблина Татьяна Валентиновна | инженер лаборатории прикладной нейрофизиологии.
E-mail: kortv07@bk.ru
https://orcid.org/0000-0002-0956-3606 |

About the authors:

- | | |
|-------------------------|---|
| Arnold N. Fleishman | Head of the Applied Neurophysiology Laboratory, Dr. of Sci. (Med.), Professor.
E-mail: anf937@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-2823-4074 |
| Albina V. Yauk | Engineer of the Applied Neurophysiology Laboratory.
E-mail: yauk.a@inbox.ru
https://orcid.org/0009-0004-5798-3842 |
| Stanislav A. Petrovskiy | Junior Researcher of The Applied Neurophysiology Laboratory.
E-mail: staspetrovskiy@yandex.ru
https://orcid.org/0000-0002-1337-0989 |
| Olga N. Blazhina | Head of the Department for Periodic Medical Examinations.
E-mail: olgablaz9@mail.ru
https://orcid.org/0000-0002-0121-2246 |

Tatyana V. Korablina

Engineer of the Applied Neurophysiology Laboratory.

E-mail: kortv07@bk.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0956-3606>
