

## Психофизиологические корреляты предрасположенности операторов к развитию критического уровня утомления

Антон Евгеньевич Науменко ✉, Анжелика Евгеньевна Клаучек, Мария Сергеевна Костюченко

Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия

**Аннотация.** Такие факторы, как эмоциональный стресс, экстремальные условия выполняемой работы, нервно-психическое напряжение, необходимость длительного поддержания повышенного уровня внимания могут привести к нарушениям, дезадаптации и развитию утомления оператора. В ходе исследования нами выявлены статистически достоверные различия attentionно-мнестических показателей работоспособности у групп операторов с отсутствием или наличием критического уровня утомления. Установлено, что использование комплекса психофизиологических тестов «Ягуар» параллельно с исследованием операций сенсомоторного слежения программой Smile является информативным для дифференцировки групп операторов с отсутствием или наличием критического уровня утомления.

**Ключевые слова:** операторский состав, критический уровень утомления, моделируемая операторская деятельность, стрессовая нагрузка

ORIGINAL RESEARCHES

Original article

doi: <https://doi.org/10.19163/1994-9480-2023-20-1-29-32>

## Psychophysiological correlates of operators' predisposition to the development of critical fatigue level

Anton E. Naumenko ✉, Angelika E. Kluczek, Maria S. Kostyuchenko

Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia

**Abstract.** Factors such as emotional stress, extreme work conditions, neuropsychiatric stress, the need to maintain an increased level of attention for a long time can lead to violations, maladaptation and the development of operator fatigue. In the course of the study, we revealed statistically significant differences in attentional-mnemonic performance indicators in groups of operators with the absence or presence of a critical level of fatigue. It is established that the use of a complex of psychophysiological tests "Jaguar" in parallel with the study of sensorimotor tracking operations by the program "Smile" is informative for differentiating groups of operators with the absence or presence of a critical level of fatigue.

**Keywords:** operator staff, critical level of fatigue, operator activity modeling, stress test

Несмотря на широкое распространение автоматизации и роботизации производственных процессов, утомление работающего, развивающееся в процессе операторской деятельности, продолжает оставаться основным фактором снижения ее эффективности, представляя угрозу безопасному и безаварийному ее выполнению [1, 2]. В настоящее время деятельность в системе «человек – машина» рассматривается в ГОСТ Р 43.4.18-2020 с новых позиций, расширенно, как взаимодействие в системе «человек – информация», то есть как психофизиологическая информационная деятельность [3]. В связи с этим поиск информативных психофизиологических критериев для установления критического уровня утомления (КУУ) у операторов является актуальным и представляет большой теоретический и практический интерес.

### ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Установить индивидуальные attentionно-мнестические психофизиологические составляющие деятельности и работоспособности у лиц операторского профиля, позволяющие дифференцировать группу с отсутствием и группу с высокой вероятностью развития критического уровня утомления.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Было обследовано 90 здоровых мужчин в возрасте 18–23 лет, у которых был предварительно выработан устойчивый навык сенсомоторной операторской деятельности. Исследование операций сенсомоторного слежения предварительно проводилось с помощью компьютерной программы Smile [4]. Для оценки уровней работоспособности исследовались attentionно-мнестические компоненты деятельности с использованием

тестов оригинальной лицензированной компьютерной программы Effecton Studio, пакет «Ягуар» с определением: 1) времени простой зрительно-моторной реакции (ПЗМР); 2) времени сложной зрительно-моторной реакции (СЗМР); 3) стабильности умственной деятельности; 4) работоспособности при дефиците времени; 5) помехоустойчивости умственной деятельности. При статистическом анализе полученных результатов использовался U-критерий Манна – Уитни.

**РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ  
И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ**

Первый этап исследований был посвящен созданию банка утверждений, отражающих основные причины ошибочных действий операторского состава МЧС. Затем была проведена экспертная оценка с участием 14 независимых экспертов руководителей служб. Расчет степени согласованности экспертов по коэффициенту конкордации (W) позволил выделить наиболее информационно значимые причины ошибочных действий (табл. 1).

Используя выделенные категории ошибочных действий, рассчитали индивидуальный показатель профессиональной надежности, который продемонстрировал высокую корреляцию с уровнем утомления, оцененным по методике «Степень хронического утомления» ( $r = - 0,62$ ;  $p < 0,05$ ). Ранее нами уже использовалась модель сенсомоторного слежения (программа Smile) для оценки эффективности операторской деятельности в выделенных группах операторов. Результативность выполнения теста определялась средней величиной рассогласования для каждого режима сенсомоторного слежения, которая сравнивалась со средним значением ошибки, допустимым при эффективной деятельности, составляющим в среднем ( $4,2 \pm 0,15$ ) мм для 1-го режима, ( $5,9 \pm 0,24$ ) мм для 2-го режима и ( $9,1 \pm 0,29$ ) мм для 3-го режима соответственно.

Результаты оценки успешности моделируемой операторской деятельности обследуемых представлены в табл. 2.

Таблица 1

**Методика субъективной оценки уровня риска ошибочных действий операторского состава**

Информационно значимые причины ошибочных действий	Степень риска		
	низкая	средняя	высокая
- отказ от продолжения выполнения управляющих действий при развитии критического уровня утомления (W = 0,85)	0	1	2
- критическое снижение эффективности управляющих действий или прекращение деятельности вследствие эмоционального стресса и паники (W = 0,78)	0	1	2
- нарушение алгоритма управляющих действий на фоне утомления со снижением attentionно-мнестических и сенсомоторных характеристик (W = 0,75)	0	1	2
- несоблюдение алгоритма управляющих действий, нарушение их последовательности (W = 0,67)	0	1	2
- снижение эффективности управляющих действий в условиях дефицита или избытка информации, воздействия информационных помех (W = 0,67)	0	1	2

Таблица 2

**Показатели успешности операторской деятельности у операторов с наличием и отсутствием утомления: оценка качества слежения (M ± m)**

Группа обследуемых	Кол-во наблюдений	1-й режим слежения	2-й режим слежения	3-й режим слежения
Отсутствие утомления	50	3,00 ± 0,08	4,35 ± 0,11	6,90 ± 0,21
Наличие утомления	50	3,20 ± 0,09	4,50 ± 0,19	7,80 ± 0,26*

\*Различия между группами в пределах одного режима слежения статистически достоверны ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, операторы с наличием утомления демонстрировали более низкую статистически значимую эффективность деятельности при выполнении более сложного задания, соответствующего третьему режиму сенсомоторного слежения. При этом ошибка-рассогласование увеличивалась по мере повышения сложности теста, но не превышала допустимую вели-

чину во всех предъявляемых режимах у операторов обеих групп. По результатам объективной оценки операторской работоспособности и степени ее снижения были сформированы 2 группы по 45 человек: 1-я группа – лица с отсутствием КУУ, 2-я группа – лица с наличием КУУ. Сравнительный статистический анализ психофизиологических параметров представлен в табл. 3.

**Показатели attentionно-мнестических психофизиологических составляющих деятельности и работоспособности у лиц операторского профиля с наличием и отсутствием утомления (M ± m)**

Показатели		Отсутствие критического уровня утомления, N = 50	Наличие критического уровня утомления, N = 50
Время простой зрительно-моторной реакции (тир)	Среднее время ПЗМР, мс	251,0 ± 12,4	310,0 ± 8,9
Время сложной зрительно-моторной реакции	Среднее время СЗМР, мс	323 ± 10	379,0 ± 10,2
	Доля ошибочных ответов, %	9,45 ± 2,25	37,00 ± 5,33
Стабильность умственной деятельности	Время ответа на 1 страницу, с	70,30 ± 2,37	77,00 ± 3,21
	Дисперсия времени ответа на 1 страницу, с	9,80 ± 4,48	15,60 ± 5,09
	Ошибки на 1 страницу	0,40 ± 0,68	1,30 ± 0,43
	Дисперсия количества ошибок на 1 страницу	0,3 ± 0,1	1,1 ± 0,2
Работоспособность при дефиците времени	Среднее время экспозиции, мс	816,0 ± 178,4	1114,0 ± 206,1
	Доля правильных ответов, %	81,4 ± 2,4	46,3 ± 4,3
Помехоустойчивость умственной деятельности	Среднее время ответов без помех, мс	1965,0 ± 190,9	2804,0 ± 212,1
	Среднее время ответов с помехами, мс	1804,0 ± 176,1	2976,0 ± 234,4
	Коэффициент помехоустойчивости, %	94,4 ± 6,2	86,3 ± 7,3
	Общее количество ошибок, %	3,5 ± 0,9	4,6 ± 0,7

При сравнении показателей ПЗМР и СЗМР в двух группах было установлено достоверное увеличение среднего времени ПЗМР с (251 ± 12,4) миллисекунд (мс) в 1-й группе до (310 ± 8,9) мс во 2-й (p < 0,05), среднего времени СЗМР с (323 ± 10) мс в 1-й группе до (379 ± 10,2) мс во 2-й (p < 0,05), а также доли ошибочных ответов с (9,45 ± 2,25) % в 1-й группе до (37 ± 5,33) % во 2-й (p < 0,05). Анализ стабильности умственной деятельности обнаружил достоверное увеличение среднего времени ответа на один тестовый блок с (70,3 ± 2,37) с в 1-й группе до (77 ± 3,21) с во 2-й (p < 0,05), увеличение дисперсии времени ответа на один тестовый блок с (9,8 ± 4,48) с в 1-й группе до (15,6 ± 5,09) с во 2-й (p < 0,05), увеличение количества ошибок на один тестовый блок с (0,4 ± 0,68) в 1-й группе до (1,3 ± 0,43) во 2-й (p < 0,05) и увеличение дисперсии количества ошибок на один тестовый блок с (0,3 ± 0,1) в 1-й группе до (1,1 ± 0,2) во 2-й (p < 0,05). Оценка работоспособности при дефиците времени выявила тенденцию к увеличению среднего времени экспозиции с (816 ± 178,4) мс в 1-й группе до (1114 ± 206,1) мс во 2-й (p < 0,05) и одновременное уменьшение доли правильных ответов с (81,4 ± 2,4) % в 1-й группе до (46,3 ± 4,3) % во 2-й (p < 0,05). Тест на помехоустойчивость умственной работоспособности показал увеличение среднего времени ответов без помех с (1965 ± 190,9) мс в 1-й группе до (2804 ± 212,1) мс во 2-й (p < 0,05), среднего

времени ответов с помехами с (1804 ± 176,1) мс в 1-й группе до (2976 ± 234,4) мс во 2-й (p < 0,05), уменьшение коэффициента помехоустойчивости с (94,4 ± 6,2) % в 1-й группе до (86,3 ± 7,3) % во 2-й (p < 0,05) и увеличение общего количества ошибок с (3,5 ± 0,9) в 1-й группе до (4,6 ± 0,7) во 2-й (p < 0,05).

**ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

1. Выявлены статистически достоверные различия attentionно-мнестических показателей работоспособности у групп операторов с отсутствием или наличием критического уровня утомления.

2. Использование комплекса психофизиологических тестов «Ягуар» параллельно с исследованием операций сенсомоторного слежения программой Smile является информативным для дифференцировки групп операторов с отсутствием или наличием критического уровня утомления.

**СПИСОК ИСТОЧНИКОВ**

1. Клаучек С.В., Кудрин Р.А., Кочегура Т.Н. и др. Физиологические основы эффективности операторской деятельности и ее биорезонансная коррекция. Волгоград: Изд-во Волгоград, 2009. 218 с.

2. Michielsen H.J., Vries J.D., Van Heck G.L. Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: the Fatigue Assessment. *J Psychosom Res.* 2003;54(4):345–352.

3. Информационное обеспечение техники и операторской деятельности. Система «человек – информация». Процессы информационно-обменные при осуществлении с проведением человеко-информационных взаимодействий информационной деятельности. ГОСТ Р 43.4.18-2020. СПС КонсультантПлюс.

4. Бубнова А.Е., Науменко А.Е., Клаучек С.В. Физиологические особенности вегетативной реактивности как прогностический критерий критического уровня утомления у операторов. Вестник Волгоградского государственного медицинского университета. 2019;72(4):60–64.

#### REFERENCES

1. Klaucek S.V., Kudrin R.A., Kochegura T.N. et al. Physiological basis of the efficiency of operator activity and

its bioresonance correction. Volgograd, Volgograd, VolgSMU Publishing house, 2009. 218 p. (In Russ.).

2. Michielsen H.J., Vries J.D., Van Heck G.L. Psychometric qualities of a brief self-rated fatigue measure: the Fatigue Assessment. *J Psychosom Res.* 2003;54(4):345–352.

3. GOST R 43.4.18-2020 Information support of equipment and operator activities. The human–information system. Information exchange processes in the implementation of human–informational interactions of information activities. Document number: 43.4.18-2020. SPS ConsultantPlus. (In Russ.).

4. Bubnova A.E., Naumenko A.E., Klaucek S.V. Physiological features of vegetative reactivity as a prognostic criterion of the critical level of fatigue in operators. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo medicinskogo universiteta = Journal of the Volgograd State Medical University.* 2019;72(4): 60–64. (In Russ.).

**Конфликт интересов.** Авторы декларируют отсутствие явных и потенциальных конфликтов интересов, связанных с публикацией настоящей статьи.

#### Информация об авторах

*А.Е. Науменко* – старший преподаватель кафедры нормальной физиологии, Волгоград, Россия; [new-hayman@yandex.ru](mailto:new-hayman@yandex.ru)  
*А.Е. Клаучек* – кандидат медицинских наук, доцент кафедры неврологии, психиатрии, мануальной медицины и медицинской реабилитации, Институт непрерывного медицинского и фармацевтического образования, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; [bubnovaae@yandex.ru](mailto:bubnovaae@yandex.ru)

*М.С. Костюченко* – студентка 6-го курса, 10-й группы лечебного факультета, Волгоградский государственный медицинский университет, Волгоград, Россия; [kostyuchenkomariya@yandex.ru](mailto:kostyuchenkomariya@yandex.ru)

Статья поступила в редакцию 21.11.2022; одобрена после рецензирования 13.01.2023; принята к публикации 16.03.2023.

**Competing interests.** The authors declare that they have no competing interests

#### Information about the authors

*A.E. Naumenko* – Senior Lecturer of the Department of Normal Physiology, Volgograd, Russia; [new-hayman@yandex.ru](mailto:new-hayman@yandex.ru)  
*A.E. Kluchek* – Candidate of Medical Sciences, Associate Professor of the Department of Neurology, Psychiatry, Manual Medicine and Medical Rehabilitation, Institute of Continuing Medical and Pharmaceutical Education, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia; [bubnovaae@yandex.ru](mailto:bubnovaae@yandex.ru)

*M.S. Kostyuchenko* – 6th year student, 10th group of the Faculty of Medicine, Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia, [kostyuchenkomariya@yandex.ru](mailto:kostyuchenkomariya@yandex.ru)

The article was submitted 21.11.2022; approved after reviewing 13.01.2023; accepted for publication 16.03.2023.