

## Исследование влияния тестовых и игровых интеллектуальных нагрузок на функциональное состояние человека

© С.Г. Терехин<sup>1</sup>, Л.Т. Наурзбаева<sup>1</sup>, А.Е. Черняков<sup>2</sup>, А.В. Аладов<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, Санкт-Петербург, Россия

<sup>2</sup> НТЦ микроэлектроники РАН, Санкт-Петербург, Россия

Email: Stasok32@yandex.ru

Поступило в Редакцию 2 мая 2024 г.

В окончательной редакции 4 июня 2024 г.

Принято к публикации 30 октября 2024 г.

Диагностика функционального состояния человека как системного ответа организма в условиях деятельности имеет большое практическое значение в различных областях (медицине, биофизике, психофизиологии, физиологии труда и т. д.). В биофизике и прикладной физиологии для этих целей в качестве экспресс-метода часто используют анализ критической частоты слияния мельканий (КЧСМ). Для реализации метода КЧСМ нами использован прибор экспресс-диагностики функционального состояния. В качестве интеллектуальной нагрузки для испытуемых применялись тестовые задания и компьютерная игра-головоломка. Результаты исследований продемонстрировали, что использование указанного прибора экспресс-диагностики позволяет проводить оперативную оценку функционального состояния человека.

**Ключевые слова:** функциональное состояние, критическая частота слияния мельканий, экспресс-диагностика, биофизика, психофизиология.

DOI: 10.61011/PJTF.2024.23.59403.6521k

Диагностика функционального состояния (ФС) человека как реакции организма в условиях текущей деятельности имеет большое практическое значение в различных областях (медицина, биофизика, психофизиология, физиология труда и др.). В прикладной физиологии особое значение имеют методы экспресс-диагностики, которые позволяют оценить ФС человека за короткий промежуток времени на основе набора показателей. Наиболее важными из них являются показатели функционального состояния центральной нервной системы (включая кору головного мозга) как основной регулирующей системы организма [1,2].

Функциональное состояние мозга можно определить как фоновую (исходную для изучаемого эффекта) активность нервных центров, которые обуславливают текущую деятельность и ее эффективность. Во время вовлечения в различные виды деятельности организм всегда реагирует как единое целое, активируя центральную и вегетативную нервную системы, регулируя активность сердечно-сосудистой и дыхательной систем [3].

Подход к оценке ФС [4] базируется на концепциях, согласно которым тип реакции нервной системы зависит от ее текущего состояния, которое определяется по двум ключевым физиологическим характеристикам: возбудимость и лабильность. В зависимости от соотношения возбудимости и физиологической лабильности происходит изменение реакции живой системы в виде трех последовательных качественных состояний: физиологический отдых, возбуждение или торможение. Возбудимость является мерой чувствительности нервной системы, лабильность является ее скоростной характе-

ристической [5]. Физиологическая лабильность определяет предел эффективности всей живой системы.

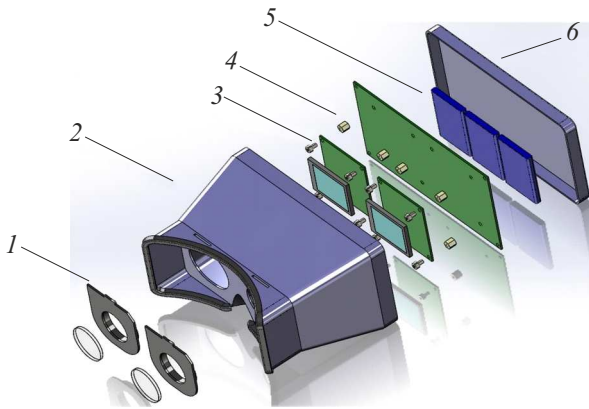
Традиционно в области психофизиологии базовым биофизическим системным показателем оценки лабильности нервной системы является критическая частота слияния мельканий (КЧСМ, CFFF) [6]. Судить о возбудимости в целом возможно по пороговому ответу на силу раздражения и косвенно по сравнению реакции на световые импульсы с различными параметрами [7].

В рамках настоящей работы исследовалось влияние различных видов интеллектуальной нагрузки (тестовой и игры-головоломки) на ФС методом КЧСМ, реализованным в приборе экспресс-диагностики ФС. Данное устройство, представленное в настоящей работе, реализует концептуальное использование новой конструкции с большей автономией и расширенной функциональностью, которая более подробно описана в работе [8].

Исследования проводились с привлечением 26 здоровых волонтеров (студенты второго курса СПбПУ) в возрасте 20–25 лет.

Для регистрации значений КЧСМ использовался прибор экспресс-диагностики функциональных состояний, который включает в себя планшет или мобильный телефон с программным обеспечением для управления тестированием и устройство тестирования ФС, которое регистрирует ответ испытуемого [8].

Устройство тестирования представляет собой модульно-компонованное изделие, конструктивно выполненное в индивидуальном корпусе (рис. 1). Корпус имеет отверстие для размещения разъема для подключения датчиков и манипуляторов с кнопками.



**Рис. 1.** Устройство тестирования. 1 — окуляр, 2 — корпус, 3 — дисплей, 4 — драйвер, 5 — главная плата с радиомодулем, 6 — задняя крышка.

В состав устройства тестирования входят:

- очки с оптическими элементами, необходимые для отображения светового стимула на каждый глаз испытуемого;

- модуль визуализации с OLED-дисплеем, который непосредственно визуализирует программу теста;

- плата управления OLED-дисплеями с микроконтроллером, которая получает информацию о реакции испытуемых с помощью кнопок-манипуляторов (моторная реакция) и записывает полученную информацию в реальном времени во временную память. Вся полученная информация направляется по беспроводному каналу связи Wi-Fi на планшет.

Подача светового импульсного воздействия осуществляется в оба глаза одновременно, равномерно в центральной части зрительного поля. Для стимуляции на дисплей подается один из выбранных цветов: красный ( $\lambda_{peak} = 610 \text{ nm}$ ) или зеленый ( $\lambda_{peak} = 535 \text{ nm}$ ). Световое импульсное воздействие подается с нарастающей частотой от 10 до 70 Hz (шаг изменения частоты 1 Hz) при заданной фиксированной интенсивности. Площадь светового пятна составила 10 пикселей при яркости  $80 \text{ cd/m}^2$  для одного пикселя. Яркость пятна составляла  $400\text{--}800 \text{ cd/m}^2$ , что соответствует безопасному уровню яркости для глаз согласно стандартам светобиологической безопасности для ламп и ламповых систем (ГОСТ Р МЭК 62471–2013), и позволяла четко видеть световой объект для проведения теста по экспресс-методике.

В качестве интеллектуальной нагрузки использовались специально сформированный блок тестовых заданий на основе IQ-тестов, а также компьютерная игра-головоломка. Оба вида нагрузки сформированы с учетом требований от участника высокой концентрации, внимания, логического мышления и запоминания групп элементов. Время воздействия обеих нагрузок составляло 30 min. Индивидуальные значения КЧСМ для 26 испытуемых измерялись в контроле, непосредственно до нагрузки, а также сразу после тестовых заданий на

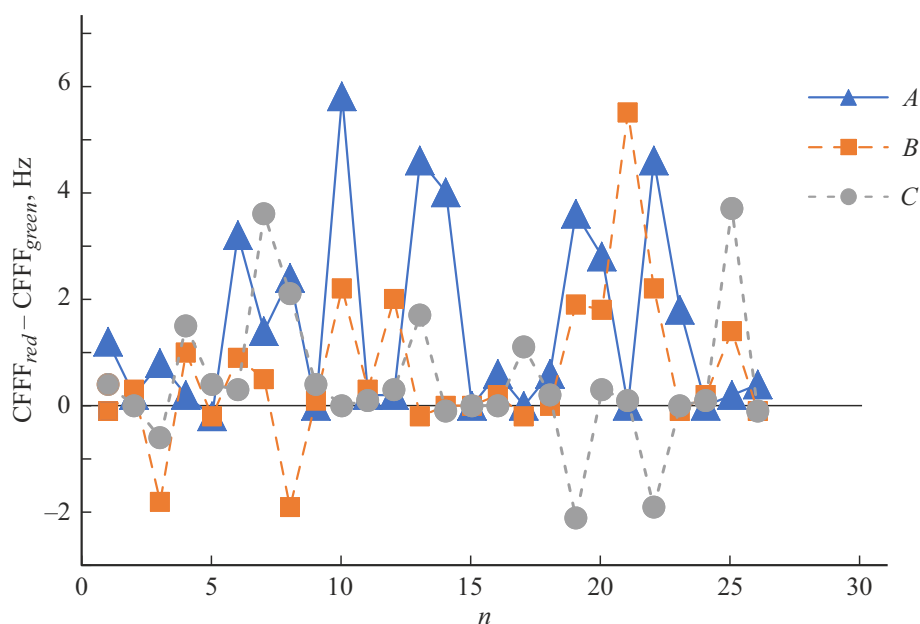
основе IQ-тестов и после игры-головоломки. Процесс измерения занимал суммарно 30 min. Таким образом, общее время проведения эксперимента для одного испытуемого составляло 60 min. Частота мельканий во время испытаний находилась в пределах 20–50 Hz для световых мельканий красного и зеленого цвета.

Оценкой утомляемости по методу КЧСМ является снижение разности реакции на красный и зеленый свет:  $CFFF_{red} - CFFF_{green} < 0$  [6].

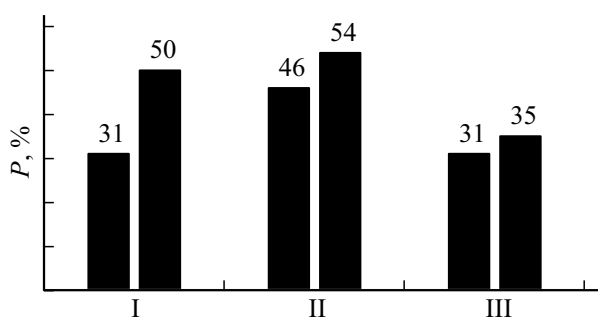
Результаты измерений (рис. 2) показали, что для тестовых нагрузок и для игры-головоломки средние значения разности КЧСМ в диапазоне частоты мельканий экспериментов на красный и зеленый цвет снизились на 58 и 50% соответственно относительно контроля. Заметное (8%) различие в снижении реакции на стимул выявляет тенденцию большей утомляемости при монотонной работе в сравнении с игровым форматом нагрузки. Дополнительно для оценки утомляемости использовалась корректурная проба Бурдона, которую испытуемые заполняли в течение 3 min до и после нагрузки. Для тестов средний процент правильности снизился на 4.99% относительно контроля, для игры — на 4.56%. Полученные данные отражают эффективность нагрузок, однако субъективность метода способа оценки не позволяет однозначно выделить корреляции с другими результатами. На рис. 3 представлены результаты в процентном выражении от общего числа испытуемых для каждой пары данных: левый столбец гистограммы соответствует нагрузке в виде тестовых заданий, правый — игре-головоломке. Гистограммы I и II отражают характер выраженности реакций на нагрузки (за выраженную реакцию принимались отклонения значений КЧСМ после нагрузки более чем на 2 Hz в обе стороны относительно контроля [9]). Гистограмма I соответствует значениям для красного цвета, гистограмма II — для зеленого цвета. Пара столбцов III показывает долю испытуемых от общего числа, у которых разность КЧСМ красного и зеленого цвета снижалась относительно контроля:  $CFFF_{red} - CFFF_{green} < 0$  [6].

Таким образом, из полученных результатов следует, что снижение величины КЧСМ для красного цвета относительно зеленого достоверно выявляет утомляемость в обоих случаях с помощью простого экспресс-метода и позволяет проводить оперативную оценку ФС человека.

Разработанный прибор экспресс-диагностики позволяет проводить оперативную оценку ФС человека за достаточно ограниченный промежуток времени (30 min). Различные виды умственной работы вызывают разную степень утомляемости, которую можно оценивать количественно по методике КЧСМ, что важно учитывать при экспресс-диагностике ФС в ходе исследований разного рода профессиональной деятельности. Проведенное исследование коррелирует с другими работами данного направления [9], однако в последних отсутствует сравнительная оценка утомляемости по конкретным видам деятельности.



**Рис. 2.** Разность реакции (значений КЧСМ) у испытуемых на красный и зеленый свет. *A* — до нагрузки, *B* — после нагрузки „задание“, *C* — после нагрузки „игра-головоломка“, *n* — номер испытуемого.



**Рис. 3.** Доля *P* испытуемых (от общего числа) с выраженной реакцией на красный (I) и зеленый (II) цвет до и после нагрузки, а также доля испытуемых (от общего числа) со снижением значений разности КЧСМ красного и зеленого цвета (III). Левый столбец — тестовые задания, правый — игра.

### Финансирование работы

Исследования выполнены при финансовой поддержке Минобрнауки России в рамках реализации программы Научного центра мирового уровня по направлению „Передовые цифровые технологии“ СПбПУ (соглашение № 075-15-2022-311 от 20.04.2022 г.).

### Соблюдение этических стандартов

Все процедуры, выполненные в исследовании с участием людей, соответствуют этическим стандартам институционального и/или национального комитета по исследовательской этике и Хельсинкской декларации 1964 г. и ее последующим изменениям или сопостави-

мым нормам этики. От каждого из включенных в исследование участников было получено информированное добровольное согласие.

### Конфликт интересов

Авторы заявляют, что у них нет конфликта интересов.

### Список литературы

- [1] Л.П. Павлова, А.Ф. Романенко, *Системный подход к психофизиологическому исследованию мозга человека* (Наука, Л., 1988), с. 70.
- [2] Л.П. Павлова, *Доминанты деятельного мозга человека* (Информ-Навигатор, СПб., 2017), с. 26.
- [3] И.Б. Ушаков, А.В. Богомолов, Ю.А. Кукушкин, *Рос. физиол. журн. им. И.М. Сеченова*, **100** (10), 1130 (2014).
- [4] А.А. Ухтомский, *Учение о доминанте* (Юрайт, М., 2017), с. 149.
- [5] М.И. Виноградов, *Физиология трудовых процессов* (Медицина, М., 1966), с. 208.
- [6] Л.П. Павлова, А.Д. Ноздрачев, *Вестн. СПбГУ. Сер. 3, вып. 2*, 91 (2005).
- [7] А.Д. Ноздрачев, Л.П. Павлова, И.Н. Январева, в сб. *Фундаментальная наука и клиническая медицина* (СПб., 2007), с. 82–83.
- [8] A.V. Aladov, D.N. Berlov, A.E. Chernyakov, Y.A. Chiligina, A.L. Zakgeim, in *2021 Joint Conference — 11th Int. Conf. on energy efficiency in domestic appliances and lighting and 17th Int. Symp. on the science and technology of lighting* (IEEE, 2022), p. 1–4.
- [9] Р.Р. Ахмадеев, И.Ф. Тимербулатов, Д.И. Кошелев, Е.М. Евтушенко, М.Ф. Тимербулатова, *Вестн. РУДН. Сер. Медицина*, **23** (2), 178 (2019).  
DOI: 10.22363/2313-0245-2019-23-2-178-186