

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 331.101.1: 001.891

doi: 10.30987/2658-4026-2024-4-472-481

Влияние физической нагрузки на зрительное восприятие графических элементов пользовательского интерфейса

Вероника Николаевна Малышева^{1✉}, Григорий Александрович Черепенников², Виктор Эдмундасович Янчус³

^{1,3} Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого; Санкт-Петербург, Россия

² Санкт-Петербургский государственный университет аэрокосмического приборостроения; Санкт-Петербург, Россия

¹ veronikakinorev@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7472-1589>

² gcherepennicov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9753-7124>

³ victorimop@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7220-0819>

Аннотация.

Статья посвящена исследованию влияния физической нагрузки на особенности восприятия информации в графическом интерфейсе. Рассматриваются экспериментальные результаты влияния факторов: цветовое решение, размер пиктограммы в стимуле, расстояние от центра и физическая нагрузка, на параметры шаблона рассматривания стимульного материала с графической информацией. Использовались технология айтрекинга для фиксации глазодвигательной активности и анализ параметров пульса для получения данных о физической нагруженности испытуемого. Результаты показали статистически значимую зависимость параметров шаблона рассматривания от факторов цветового решения, размера стимула, расстояния от центра и физической нагрузки на испытуемого. Результаты работы могут быть применены для разработки графических пользовательских интерфейсов систем управления.

Ключевые слова: зрительное восприятие, периферийное зрение, пользовательский интерфейс, айтрекинг, дисперсионный анализ, физическая нагрузка

Для цитирования: Малышева В. Н., Черепенников Г. А., Янчус В. Э. Влияния физической нагрузки на зрительное восприятие графических элементов пользовательского интерфейса // Эргодизайн. 2024. №4 (26). С. 472-481. <http://dx.doi.org/10.30987/2658-4026-2024-4-472-481>.

Original article

Open access article

The Impact of Physical Activity on Visual Perception of Graphic Elements of the User Interface

Veronika N. Malysheva^{1✉}, Grigory A. Cherepennikov², Viktor E. Yanchus³

^{1,3} Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University; Saint Petersburg, Russia

² Saint Petersburg State University of Aerospace Instrumentation; Saint Petersburg, Russia

¹ veronikakinorev@ya.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7472-1589>

² gcherepennicov@gmail.com; <https://orcid.org/0000-0002-9753-7124>

³ victorimop@mail.ru; <https://orcid.org/0000-0001-7220-0819>

Abstract.

The article is devoted to studying the influence of physical activity on the features of information perception in a graphical interface. The paper considers experimental results of influencing such factors as colour scheme, size of the pictogram in the stimulus, distance from the centre and physical activity, on the template parameters for viewing stimulus material with graphical information. The authors use eye-tracking technology to record eye movements and pulse parameter analysis to obtain data on the physical activity of the subject. The results show a statistically significant

dependence of the viewing template parameters on the factors of colour scheme, stimulus size, distance from the centre and physical activity on the subject. One can apply the results of the work to developing graphical user interfaces of control systems.

Keywords: visual perception, peripheral vision, user interface, eye-tracking, dispersion analysis, physical activity

For citation: Malysheva V.N., Gherepennikov G.A., Yanchus V.A. The Impact of Physical Activity on Visual Perception of Graphic Elements of the User Interface. *Ergodizayn [Ergodesign]*. 2024;4(26): 472-481. Doi: 10.30987/2658-4026-2024-4-472-481.

Введение

В настоящее время наблюдается устойчивая тенденция на развитие авиационной техники, расширение ее возможностей и повышение эффективности ее использования. Однако, наряду с этим усиливаются негативные воздействия на организм летчиков: перегрузки в воздухе, иллюзии, возникающие в результате отсутствия постоянной гравитационной вертикали в полете, а также отсутствие видимого горизонта при полетах ночью и во время облачной погоды. Летчики тренируются, чтобы переносить эти нагрузки без потери работоспособности, а все проектирование направлено на поддержание их работоспособного состояния в процессе выполнения поставленной задачи. Наше исследование сосредоточено на выяснении того, насколько изменение физического состояния летчика может повлиять на выполнение задания. Таким образом, мы стремимся понять, как изменение физического состояния пилота, вызванные перегрузками и дезориентацией, может изменить его взаимодействие с системой управления и, следовательно, повлиять на качество выполнения полетного задания [1].

Существующие исследования по теме ведутся в нескольких направлениях. В первую очередь, проведены работы, изучающие влияние физической активности на когнитивные функции в течение продолжительного времени. Например, в [3] выявлены взаимосвязи между физической активностью и когнитивными возможностями человека за 15 лет. Результаты указывают на то, что более высокая физическая активность может защищать от ухудшения эпизодическую память. Дополнительные исследования, проведенные учеными [4], [6], подтверждают связь между физической активностью и когнитивными функциями человека. Особый интерес представляет исследование [7], где изучены особенности восприятия спортсменов относительно людей, не занимающихся спортом. Результаты указывают на то, что регулярные и интенсивные тренировки способствуют сохранению высокой точности восприятия даже в условиях психоэмоционального

напряжения. Также рассмотрено воздействие на когнитивные способности человека зрительных [8], психологических [9] и тепловых нагрузок [10]. Эти исследования расширяют понимание влияния различных аспектов физической активности на когнитивные функции и открывают новые перспективы в области сохранения и улучшения когнитивного здоровья.

1. Теоретическая модель

В современных технических системах, где человек выступает в роли оператора, графическая информация в пользовательском интерфейсе играет ключевую роль в передаче данных. Основной задачей интерфейса является создание связи между человеком и машиной посредством пользовательского интерфейса. Этот интерфейс должен обеспечивать не только быстрое восприятие данных, но и интегрированность с другими элементами системы управления, включая текстовую информацию, звуковые сигналы и физические элементы управления. Учет этих данных позволит увеличить эффективность управления объектом, за счет увеличения скорости и точности передачи зрительной информации [11].

Монитор обладает фиксированной областью восприятия, ограниченной его рамками, что может влиять на способность оператора воспринимать данные, представленные в зрительной информации. Важным аспектом оптимизации восприятия является возможность масштабирования изображения на мониторах, несущее зрительную информацию. Благодаря вычислительным возможностям любой системы, возможно изменение размера объектов на мониторе, что в свою очередь влияет на их различимость и максимально возможное количество для одновременного отображения. Необходимо найти баланс между точностью и количеством объектов при изменении масштаба. Увеличение масштаба повышает различимость, но уменьшает количество объектов на экране, в то время как сокращение масштаба может усложнить их идентификацию. Оптимальное использование монитора в интерфейсе управления является

ключевым для обеспечения эффективного восприятия оператором.

Следующим важным аспектом является необходимость понимать состояние оператора при взаимодействии с интерфейсом. Одним из наиболее очевидных факторов является физическая нагрузка и усталость. Они могут возникать как в связи с тяжелой физической работой, так и в результате долгих монотонных процессов, которые должен выполнять оператор. Сердечно-сосудистая система активизируется при физических упражнениях, повышая частоту сердечных сокращений и улучшая кровоснабжение органов и тканей. Дыхательная система также реагирует, увеличивая объем и частоту дыхания для обеспечения организма дополнительным кислородом и энергией. Симпатическая нервная система стимулируется в ответ на физическую активность, что приводит к выделению адреналина и норадреналина. Эти гормоны усиливают сердечную активность и повышают уровень бодрствования. Психологические аспекты также оказываются под влиянием физической активности: выделение эндорфинов, естественных анальгетиков и антидепрессантов, способствует улучшению эмоционального состояния и снижению уровня стресса. В рамках исследования восприятия графической информации в условиях физической нагрузки, необходимо учесть эти физиологические изменения. Особенно важно это для анализа летчиков, чьи физические нагрузки могут быть значительными во время полетов и маневров, влияя на их способность быстро обрабатывать и воспринимать визуальные данные.

Основной целью выбора пульсовой зоны является выявление возможных изменений в восприятии графической информации при физической активности. Теоретически предполагается, что анаэробно-гликолитическая зона может оказывать более заметное воздействие на когнитивные процессы, связанные с восприятием.

2. Постановка эксперимента

Для анализа восприятия графической информации в условиях моделирования физической нагрузки, возможно использование двух тренировочных зон, а именно анаэробно-гликолитической и аэробно развивающей [12].

Для проведения эксперимента был разработан комплекс, включающий два упражнения – приседания и прыжки с

разведением рук в стороны – для обеспечения требуемых зон физической нагрузки. С тем, чтобы гарантировать сопоставимость нагрузки для всех испытуемых, упражнения выполнялись с максимальной интенсивностью в течение 30 сек. Структура комплекса представляет собой следующую схему:

- прыжки с разведением рук в стороны в течение 30 с;
- приседания в течение 30 с;
- прыжки с разведением рук в стороны в течение 30 с.

Для регистрации пульса в работе был использован специально разработанный датчик электрокардиограммы (ЭКГ), который считывает ЭКГ сигнал по системе отведений по Франку (через 3 электрода) [13]. Для данной работы устройство было доработано, и передача данных для анализа производилась по беспроводному протоколу связи, что позволило избежать помех при выполнении упражнений и обеспечило больший комфорт для испытуемого. Кроме того, использование ЭКГ позволило точнее определить время восстановления пациента, а также практически не давало погрешности при высоких значениях пульса [14].

Устройство надевалось на испытуемого за 5 минут до начала эксперимента с целью калибровки датчика и определения пульса в состоянии покоя. Далее производилась первичная калибровка айтрекинговой системы до физических упражнений, а затем финальная после них, соответственно [15].

В рамках данного исследования применялся программно-аппаратный комплекс SMI RED 250 [16]. Использование айтрекинговой системы позволяет получать достоверные параметрические данные шаблона рассматривания стимульного материала испытуемым [17].

В эксперименте испытуемые делились на две фокус группы: одна проходила тестирование в состоянии покоя, а вторая — под воздействием физической нагрузки. Экспериментальные данные собирались в области ближней периферии, где угол зрения составляет около 30°. Эта величина рассчитывается на основе расстояния между участником эксперимента и монитором (60 см) и размеров экрана монитора (64x40 см). Схема проведения эксперимента представлена в статьях [12].

Согласно поставленной задаче эксперимента, пиктограммы и общий фон на стимульном материале должны быть

выполнены в разных цветах: красный «r» (#ED1E2E), зеленый «g» (#019C59), синий «b» (#1C68B1), оранжевый «o» (#F68522), черный «k» (#000000), белый «w» (#FFFFFF) [20],[21].

Фон стимулов подбирается контрастным в соответствии с цветом пиктограммы. Размер

стимулов (PC) может быть: маленький 48 px, меньше среднего 56 px, средний 65 px, больше среднего 79 px, большой 94 px.

Расстояние от центра (РОЦ) до стимулов также варьировалось: минимальное 435 px и максимальное 840 px;

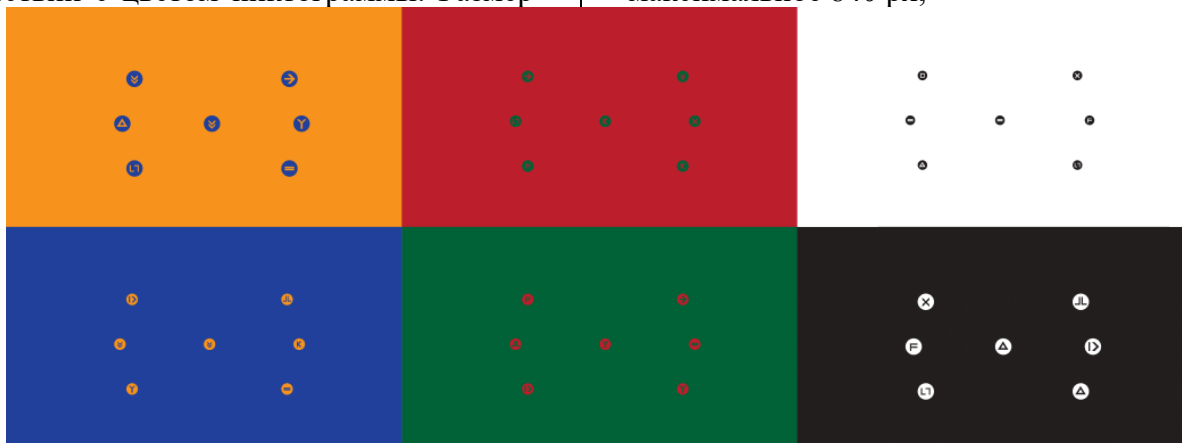


Рис. 1. Схема расположения пиктограмм (разные цветовые решения)

Fig. 1. The layout of the icons (different colors)

В предыдущем исследовании без нагрузки приняли участие 42 испытуемых [15]. В эксперименте с физической нагрузкой приняли участие 29 испытуемых в возрасте от 18 до 25 лет, являющиеся студентами Санкт-Петербургского политехнического университета Петра Великого и Санкт-Петербургского университета аэрокосмического приборостроения. Фокус-группы были сформированы с учетом различных характеристик участников, таких как пол (мужчины/женщины), образование (техническое/гуманитарное), а также наличие художественной и физической подготовки. Значение среднего пульса у испытуемых под физической нагрузкой составило 144 удара в минуту, увеличение в процентном соотношении составило приблизительно 35% относительно состояния покоя. Это является достаточным показателем для фиксации уровня физической нагрузки, характерной для выбранной тренировочной зоны.

3. Анализ результатов

Для оценки результатов эксперимента был проведен анализ следующих параметров: время рассматривания стимула; общая продолжительность фиксаций, количество фиксаций, общая длительность саккад, количество саккад и длина саккад при рассматривании одного стимула.

Для статистической обработки результатов использовался дисперсионный анализ с целью выявления влияния различных факторов на параметры шаблона рассматривания стимульного материала. Уровень значимости (p-value) для принятия гипотезы о статистическом различии выборок параметрических данных был установлен на уровне 0,05 [18]. Результаты вычислительной процедуры ANOVA и соответствующие значения p-value для параметров шаблона рассматривания представлены в таблицах 1–4.

Вычисленные значения p-value для параметра общая длительность саккад при рассматривании стимула в зависимости от факторов

Таблица 1.

Table 1.

Calculated p-value values for the total duration of saccades parameter when considering a stimulus, depending on factors

Длина саккад	
Фактор	p-value
Цветовое решение	≤0.001
Размер стимула	≤0.005
Расстояние от центра	≤0.001
Физическая нагрузка	≤0.001
РОЦ * Размер стимула	≤0.001
РОЦ * Цветовое решение	≤0.001

Таблица 2.

Вычисленные значения p-value для параметра общая длительности фиксации при рассматривании стимула в зависимости от факторов

Table 2.

Calculated p-value values for the total duration of fixations parameter when considering a stimulus, depending on factors

Общая длительность фиксации	
Фактор	p-value
Цветовое решение	≤ 0.001
Размер стимула	≤ 0.001
Расстояние от центра	≤ 0.001
Физическая нагрузка	≤ 0.001
Физическая нагрузка* Пол	≤ 0.001

Таблица 3.

Вычисленные значения p-value для параметра время рассматривания стимула в зависимости от факторов

Table 3.

Calculated p-value values for the stimulus viewing time parameter, depending on the factors

Время рассматривания стимула	
Фактор	p-value
Цветовое решение	≤ 0.001
Размер стимула	≤ 0.001
Расстояние от центра	≤ 0.0138
Физическая нагрузка	≤ 0.001

Таблица 4.

Вычисленные значения p-value для параметра общая длительность саккад при рассматривании стимула в зависимости от факторов

Table 4.

Calculated p-value values for the total duration of saccades parameter when considering a stimulus, depending on factors

Общая длительность саккад	
Фактор	p-value
Расстояние от центра	≤ 0.001
Физическая нагрузка	≤ 0.016

Таблицы содержат только представляющие интерес результаты, в которых есть статистическая зависимость параметров. Далее представлены графики распределения значений выбранных параметров в зависимости от факторов (рисунок 1–3).

Время рассмотрения стимула в среднем уменьшается при наличии физической нагрузки, однако интерес представляют два сдвига на графиках при размере пиктограммы в 56 px и красно-зеленом цветовом решении, причем выбросы наиболее ярко выражены при наименьшем расстоянии от центра (рисунок 2). Эти изменения требуют отдельного исследования.

Общая длительность фиксации в среднем уменьшается при наличии физической нагрузки, причем при большом расстоянии от центра разница уменьшается (рисунок 3).

Если учитывать половые различия испытуемых результаты будут отличны. У мужчин в условиях физической активности происходит снижение общей длительности фиксации. У женщин же общую длительность фиксации остается на прежнем уровне даже при наличии нагрузки. Подробнее о влиянии полового признака на восприятие информации в графическом интерфейсе под физической нагрузкой написано в соответствующей статье [19].

График плотности распределения количества фиксации и количества саккад в зависимости от исследуемых параметров под действием физической нагрузки и без идентичны друг другу. Это свидетельствует об отсутствии статистически значимой зависимости между параметрами шаблона рассматривания и физической нагрузкой. При

увеличении расстояния от центра происходит увеличение количества саккад и фиксаций соответственно. При учете половых различий результаты будут в некоторой степени отличаться [1.19]. Важно отметить, что при оранжево-синем цветовом решении

количество фиксаций сохраняется на одном уровне даже при различном расстоянии пиктограмм от центра. Схожий момент наблюдается на графиках плотности распределения количества саккад.

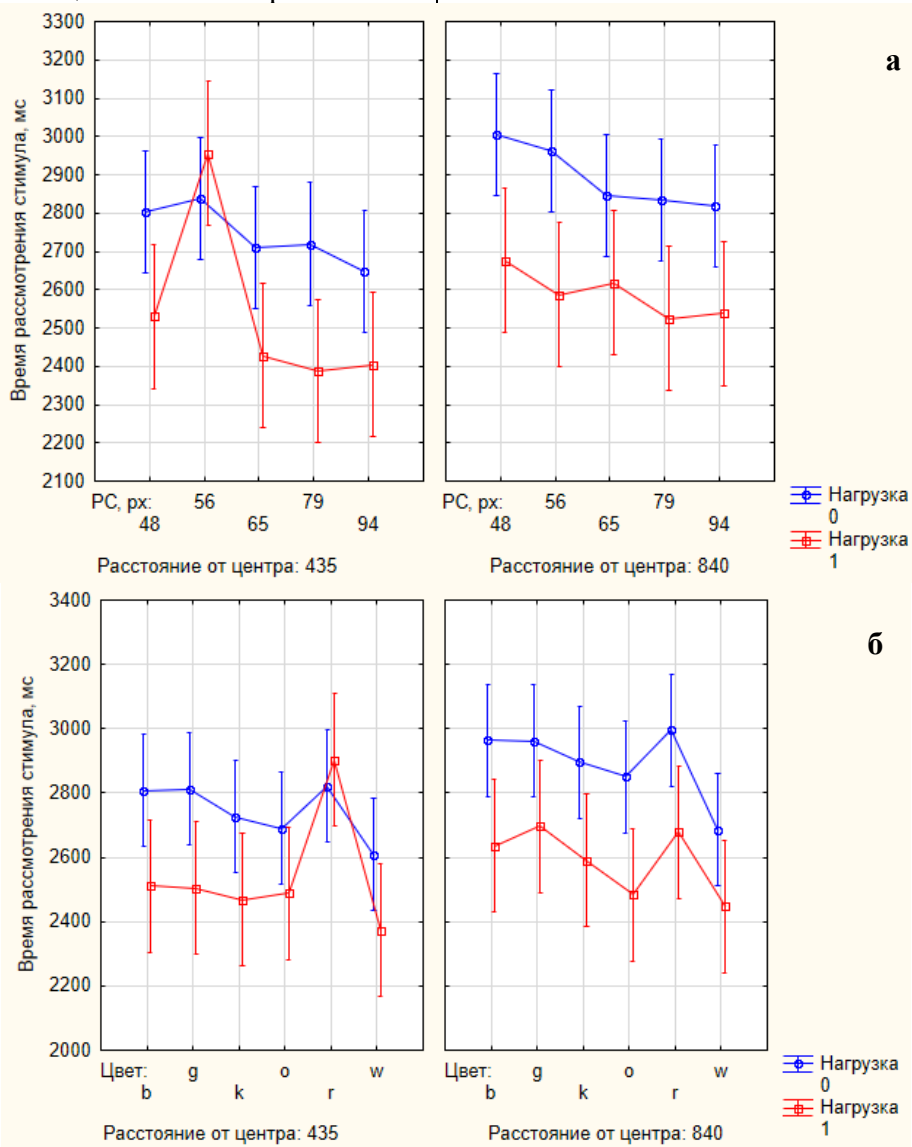
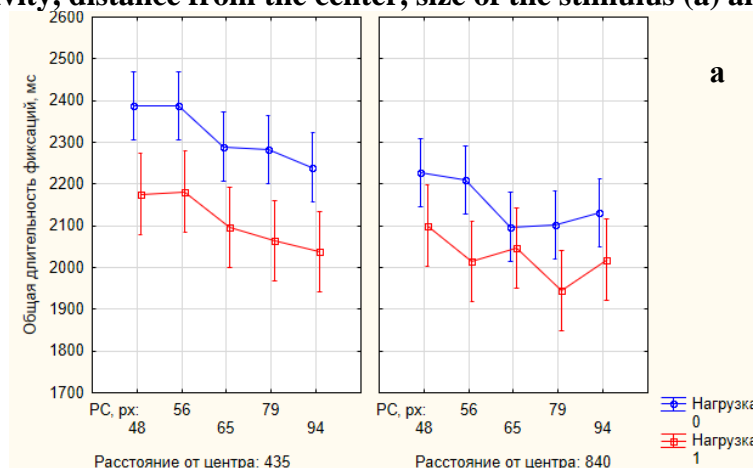


Рис. 2 График распределения значений времени рассматривания стимула в зависимости от физической нагрузки, расстояния от центра, размера стимула (а) и цвета (б)
Fig. 2 Graph of the distribution of the values of the time of viewing the stimulus depending on physical activity, distance from the center, size of the stimulus (a) and color (b)



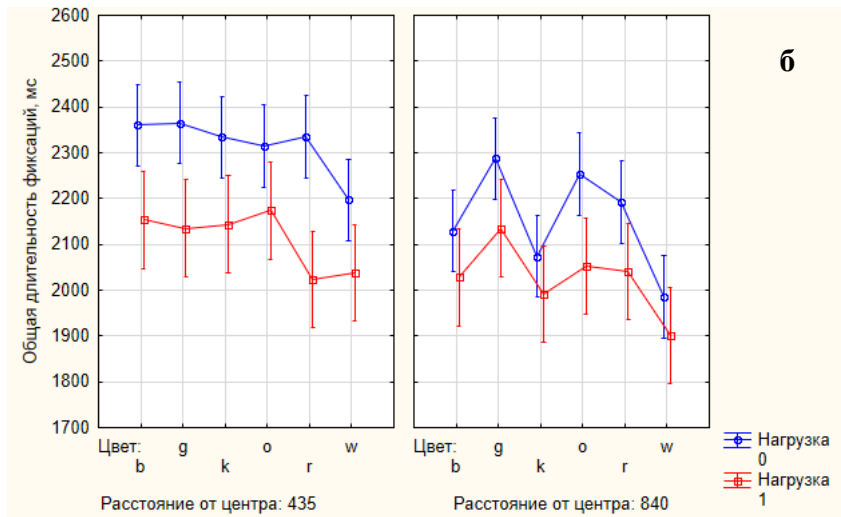


Рис. 3 График распределения значений общей длительности фиксации в зависимости от физической нагрузки, расстояния от центра, размера стимула (а) и цвета (б)
Fig. 3 Graph of the distribution of the values of the total duration of fixations depending on physical activity, distance from the center, size of the stimulus (a) and color (b)

График общей длительности саккад (рисунок 4) и количества саккад в выбранных параметрах является не показательным без учета пола испытуемого, потому как с появлением физической нагрузки у мужчин происходит увеличение количества саккад и их общей длительности. У испытуемых

женщин ситуация обратная, количество и общая длительность саккад снижается при наличии физической нагрузки [19]. Также наблюдается интересный выброс при размере стимула в 79 рх и черно белом цветовом решении: общая длительность саккад снижается при большом расстоянии от центра.

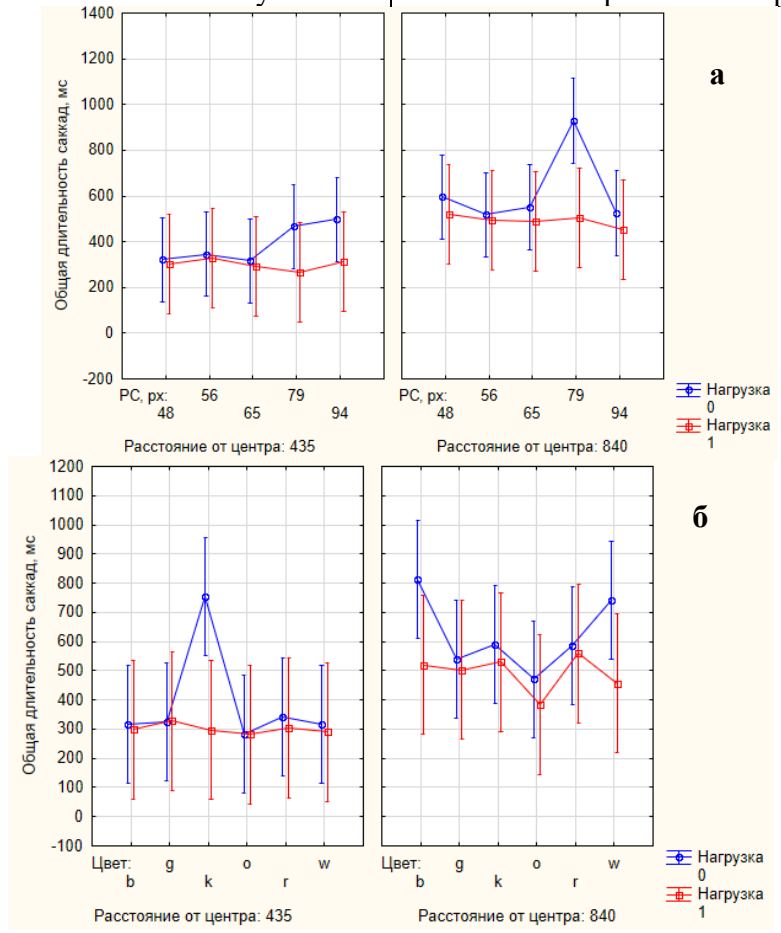


Рис. 4. График распределения значений общей длительности саккад в зависимости от нагрузки, расстояния от центра, размера стимула (а) и цвета (б)
Fig. 4. Graph of the distribution of the values of the total duration of saccades depending on the load, distance from the center, size of the stimulus (a) and color (b)

График плотности распределения длины саккад практически не изменяется при воздействии физической нагрузки на испытуемых. Но большая разница в значениях наблюдается при различном расстоянии пиктограмм от центра. Чем больше расстояние, тем длиннее саккады, что является логичным. Важно отметить, что в оранжево-синем цветовом решении, даже при большом расстоянии от центра длина саккад увеличивается на меньшее значение по сравнению с другими цветовыми решениями.

Заключение

1. Выявлена статистически значимая зависимость между временем рассматривания стимула, количеством фиксаций, общей длительностью фиксаций, количеством саккад, длиной саккад и общей длительностью саккад испытуемых от факторов цветового решения, размера стимула, расстояния от центра и физической нагрузки. Влияние полового признака было рассмотрено в отдельной работе.

2. Без учета полового признака наблюдается снижение общей длительности

фиксаций и времени рассматривания стимула при воздействии нагрузки. При этом наибольшее снижение наблюдается в бело-черном цветовом решении.

Следует учесть, что количество испытуемых в эксперименте мало для достоверных выводов. Однако, можно выдвинуть определенные гипотезы:

1. Физическая нагрузка статистически не влияет на количество фиксаций и саккад, общий шаблон рассматривания без учета полового признака сохраняется.

2. При оранжево-синем цветовом решении количество фиксаций и саккад стремится к одному уровню даже при различном расстоянии пиктограмм от центра. Длина саккад также при увеличении расстояния изменяется на меньшее значение по сравнению с другими цветовыми решениями. При этом интересных изменений в данном цветовом решении на графике общей длительности фиксаций нет.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Summerfield D., Raslau D., Johnson B., Steinkraus L.** Physiologic challenges to pilots of modern high-performance aircraft. *Aircraft Technology*. 2018;12:43-73.
2. **Newman D.G., Callister R.** Cardiovascular training effects in fighter pilots induced by occupational high G exposure. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 2008 Aug;79(8):774-8. DOI 10.3357/asem.1575.2008.
3. **Stenling A., Eriksson Sörman D., Lindwall M., Machado L.** Bidirectional Within- and Between-Person Relations Between Physical Activity and Cognitive Function. *The Journals of Gerontology Series B Psychological Sciences and Social Sciences*. 2022;77(4):704–709. DOI [10.1093/geronb/gbab234](https://doi.org/10.1093/geronb/gbab234).
4. **Cheval B., Boisgontier M., Sieber S., Ihle A., Orsholits D., Forestier C. et al.** Cognitive functions and physical activity in aging when energy is lacking. *European Journal of Ageing*. 2022;87(2):919-931. DOI 10.1007/s10433-021-00654-2.
5. **Huang Q., Zhao J., Jiang W., Wang W.** The Association between Physical Activity and Cognitive Function: Data from the China Health and Nutrition Survey. *Behavioural Neurology*. 2022(7):1-12. DOI 10.1155/2022/3438078.
6. **Ferrara N., Corbi G., Tesone J., Cellurale M., Cristofano A., Mignogna P.** Physical activity and cognitive function. *Giornale di Gerontologia*. 2013;61(2):107-113.
7. **Полякова И.В.** Психологические особенности влияния спортивной деятельности на точность восприятия // Психология когнитивных процессов. – 2021. № 10. С. 92-96. EDN ULLNL.
8. **Евтушенко А.С., Козак Л.М., Кочина М.Л. и др.** Результаты оценки функционального состояния человека при зрительном труде // Світ медицини та біології. 2015. Т. 11. №. 2-2 (50). С. 39-44. EDN UJFWET.

REFERENCES

1. **Summerfield D., Raslau D., Johnson B., Steinkraus L.** Physiologic Challenges to Pilots of Modern High-Performance Aircraft. *Aircraft Technology*. 2018;12:43-73.
2. **Newman D.G., Callister R.** Cardiovascular Training Effects in Fighter Pilots Induced by Occupational High G Exposure. *Aviation Space and Environmental Medicine*. 2008;79(8):774-8. DOI 10.3357/asem.1575.2008.
3. **Stenling A., Eriksson Sörman D., Lindwall M., Machado L.** Bidirectional Within- and Between-Person Relations Between Physical Activity and Cognitive Function. *The Journals of Gerontology. Series B. Psychological Sciences and Social Sciences*. 2022;77(4):704-709. DOI 10.1093/geronb/gbab234.
4. **Cheval B, Boisgontier M, Sieber S, Ihle A, Orsholits D, Forestier C, et al.** Cognitive Functions and Physical Activity in Aging When Energy is Lacking. *European Journal of Ageing*. 2022;87(2):919-931. DOI 10.1007/s10433-021-00654-2.
5. **Huang Q., Zhao J., Jiang W., Wang W.** The Association Between Physical Activity and Cognitive Function: Data from the China Health and Nutrition Survey. *Behavioural Neurology*. 2022(7):1-12. DOI 10.1155/2022/3438078.
6. **Ferrara N., Corbi G., Tesone J., Cellurale M., Cristofano A., Mignogna P.** Physical Activity and Cognitive Function. *Giornale di Gerontologia*. 2013;61(2):107-113.
7. **Polyakova I.V.** Psychological Features of the Influence of Sports Activities on the Accuracy of Perception. *Psychology of Cognitive Processes*. 2021;10:92-96.
8. **Evtushenko A.S., Kozak L.M., Kochina M.L., et al.** Results of Human Functional State's Assessment During the Visual Work. *World of Medicine and Biology*. 2015;11-2(50):39-44.

9. **Rațiu L., Dobre A.-M.** Job demands when exhausted: the relationship between exhaustion and the perception of job demands mediated by self-undermining. *Psihologia Resurselor Umane*. 2020;18(1):38–50. DOI [10.24837/pru.v18i1.460](https://doi.org/10.24837/pru.v18i1.460).
10. **Abbasi M., Pourhosein M., Mohammadi H., Golbabaei F.** A review on the effect of heat stresses on cognitive functions. *Journal of Health and Safety at Work*. 2020; 10(3):251–262.
11. **Сергеев С.Ф.** Санкт-Петербургское отделение Научного совета по методологии искусственного интеллекта и когнитивных исследований РАН в 2020 году // *Философские науки*. 2021. Т. 64. № 1. С. 149-154. DOI [10.30727/0235-1188-2021-64-1-149-154](https://doi.org/10.30727/0235-1188-2021-64-1-149-154). EDN XLEMRO.
12. **Мальшева В.Н., Черепенников Г.А., Янчус В.Э.** Исследование восприятия информации в графическом интерфейсе под влиянием физической нагрузки // *Физико-техническая информатика (СРТ2023)*: Материалы Международной конференции, Пушкино, 16–19 мая 2023 года. Нижний Новгород: Автономная некоммерческая организация в области информационных технологий "Научно-исследовательский центр физико-технической информатики", 2023. С. 91-102. DOI [10.54837/9785604289174_CPT2023-p91](https://doi.org/10.54837/9785604289174_CPT2023-p91). EDN VTAIMT.
13. **Malysheva V.N., Stosh A.O., Zaynullina D.M., Cherepennikov G.A.** Wireless ECG Monitoring Device with the Ability to Collect and Analyze the Received Data. In: *Indeitsev, D.A., Krivtsov, A.M. (eds) Advanced Problem in Mechanics III. APM 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering*. Springer, Cham. Springer International Publishing, 2021. 2023, 331-340. DOI [10.1007/978-3-031-37246-9_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37246-9_25).
14. **Sylta O., Tønnessen E., Seiler S.** From heart-rate data to training quantification: a comparison of 3 methods of training-intensity analysis. *International journal of sports physiology and performance*. 2014;9(1):100–107. DOI [10.1123/IJSP.2013-0298](https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0298).
15. **Янчус В.Э., Хейфиц А.Е., Борович Е.В.** Исследование восприятия графической информации в области периферийного зрения человека // *Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон"*. 2022. № 32. С. 937-946. DOI [10.20948/graphicon-2022-937-946](https://doi.org/10.20948/graphicon-2022-937-946). EDN OUOVVN.
16. **Новый стиль. Система удаленного трекинга глаз RED 250 / RED 500.** [Электронный ресурс]. URL: https://newstyle-y.ru/high-school/group_2164/group_2166/item_11065/ (дата обращения 21.12.22).
17. **Орлов П.А., Лаптев В.В., Иванов В.М.** К вопросу о применении систем ай-трекинга // *Научно-технические ведомости Санкт-Петербургского государственного политехнического университета. Информатика. Телекоммуникации. Управление*. 2014. № 5(205). С. 82-92. EDN TBBNZP.
18. **Гмурман В.Е.** Теория вероятностей и математическая статистика. Учебник. М.: Юрайт, 2018. 480 с. ISBN 978-5-534-00211-9.
19. **Мальшева В.Н., Черепенников Г.А., Янчус В.Э.** Влияние гендерного признака на восприятие информации в графическом интерфейсе под физической нагрузкой. *Труды Международной конференции по компьютерной графике и зрению "Графикон"*. 2023. № 33. С. 948-958. DOI [10.20948/graphicon-2023-948-958](https://doi.org/10.20948/graphicon-2023-948-958). EDN ZNUUUD.
20. **Андросов К.Ю., Кузьменко А.А.** Анализ конкурентной среды для разработки сайта образовательной организационной системы //
9. **Rațiu L., Dobre A.-M.** Job Demands When Exhausted: The Relationship Between Exhaustion and the Perception of Job Demands Mediated by Self-Undermining. *Psihologia Resurselor Umane*. 2020;18(1):38-50. DOI [10.24837/pru.v18i1.460](https://doi.org/10.24837/pru.v18i1.460).
10. **Abbasi M., Pourhosein M., Mohammadi H., Golbabaei F.** A Review on the Effect of Heat Stresses on Cognitive Functions. *Journal of Health and Safety at Work*. 2020;10(3):251-262.
11. **Sergeev S.F.** Saint Petersburg Branch of the RAS Scientific Council on the Methodology of Artificial Intelligence and Cognitive Research in 2020. *Russian Journal of Philosophical Sciences*. 2021;64(1):149-154. DOI [10.30727/0235-1188-2021-64-1-149-154](https://doi.org/10.30727/0235-1188-2021-64-1-149-154).
12. **Malysheva V.N., Cherepennikov G.A., Yanchus V.E.** The Study of Information Perception in the Graphical Interface Under the Influence of Physical Activity. In: *Proceedings of the International Conference on Physical and Technical Informatics (CPT 2023)*; 2023 May 16-19; Pushchino. Nizhny Novgorod: Research Centre for Physical and Technical Informatics; 2023. p. 91-102. DOI [10.54837/9785604289174_CPT2023-p91](https://doi.org/10.54837/9785604289174_CPT2023-p91).
13. **Malysheva V.N., Stosh A.O., Zaynullina D.M., Cherepennikov G.A.** Wireless ECG Monitoring Device With the Ability to Collect and Analyze the Received Data. In: *Indeitsev D.A., Krivtsov A.M., editors. Proceedings of the Conference on Advanced Problem in Mechanics (APM 2021)*. Cham: Springer International Publishing; 2021. p. 331-340. DOI [10.1007/978-3-031-37246-9_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-37246-9_25).
14. **Sylta O., Tønnessen E., Seiler S.** From Heart-Rate Data to Training Quantification: a Comparison of 3 Methods of Training-Intensity Analysis. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2014;9(1):100-107. DOI [10.1123/IJSP.2013-0298](https://doi.org/10.1123/IJSP.2013-0298).
15. **Yanchus V.E., Kheifits A.E., Borevich E.V.** Study of the Perception of Graphic Information in the Human Peripheral Vision. In: *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision Graphicon*: 2022. vol. 32. p. 937-946. DOI [10.20948/graphicon-2022-937-946](https://doi.org/10.20948/graphicon-2022-937-946).
16. **New Style. Remote Eye-Tracking System RED 250 / RED 500** [Internet] [cited 22 Dec 21]. Available from: https://newstyle-y.ru/high-school/group_2164/group_2166/item_11065/.
17. **Orlov P.A., Laptev V.V., Ivanov V.M.** Revisiting the Issue of Eye-Tracking Applying. *St. Petersburg State Polytechnical University Journal. Computer Science. Telecommunications and Control Systems*. 2014;5(205):82-92.
18. **Gmurman V.E.** Probability Theory and Mathematical Statistics. Moscow: Yurait; 2018. 480 p.
19. **Malysheva V.N., Cherepennikov G.A., Yanchus V.E.** Gender-Specific Effect on the Perception of Information in a Graphical Interface Under Physical Stress. *Proceedings of the International Conference on Computer Graphics and Vision Graphicon*. 2023;33:948-958. DOI [10.20948/graphicon-2023-948-958](https://doi.org/10.20948/graphicon-2023-948-958).
20. **Androsov K.Yu., Kuzmenko A.A.** Analysing the Competitive Environment for Developing a Website for an Educational Organizational System. *Ergodesign*.

Эргодизайн. 2022. № 4(18). С. 283-291. DOI 10.30987/2658-4026-2022-4-283-291. EDN GKSXEВ.

21. **Спасенников В.В.** Феномен цветовосприятия в эргономических исследованиях и цветоконсультировании // Эргодизайн. 2019. № 2(4). С. 3-12. DOI 10.30987/article_5cb22163c8b6b7.59336480. EDN PDEJNP.

2022;4(18):283-291. DOI 10.30987/2658-4026-2022-4-283-291.

21. **Spasennikov V.V.** The Phenomenon of Colour Perception in Ergonomic Studies and Colour Consulting. Ergodesign. 2019;2(4):3-12. DOI 10.30987/article_5cb22163c8b6b7.59336480.

Информация об авторах:

Мальшева Вероника Николаевна - магистр Высшей школы дизайна и архитектуры, тел. 89117082884, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57567080000, Research- ID-Web of Science KUD-1207-2024, Author-ID-РИНЦ 1251017

Черепенников Григорий Александрович - магистр кафедры биотехнических систем и технологий, тел. 89500343714, международные идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57567885900, Research- ID-Web of Science KUD-1329-2024

Янчус Виктор Эдмундасович - к.т.н., доцент ВШДиА, СПбПУ. идентификационные номера автора: Scopus-Author ID 57212931263, Research- ID-Web of Science HHC-3629-2022, Author-ID-РИНЦ 9700-3934

Information about the authors:

Malysheva Veronika Nikolaevna – Master of Higher School of Design and Architecture, ph. 89117082884, the author’s international identification numbers: Scopus-Author ID: 57567080000, Research- ID-Web of Science: KUD-1207-2024, Author-ID-RSCI: 1251017

Cherepennikov Grigory Aleksandrovich – Master of the Department of Biotechnical Systems and Technologies, ph. 89500343714, the author’s international identification numbers: Scopus-Author ID: 57567885900, Research-ID-Web of Science: KUD-1329-2024

Yanchus Viktor Edmundasovich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of Higher School of Design and Architecture of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University. The author’s international identification numbers: Scopus-Author ID: 57212931263, Research-ID-Web of Science: HHC-3629-2022, Author-ID-RSCI: 9700-3934

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

The authors declare no conflicts of interests.

Статья поступила в редакцию 03.09.2024; одобрена после рецензирования 10.09.2024; принята к публикации 17.09.2024. Рецензент – Сергеев С.Ф., доктор психологических наук, профессор СПбГУ, зав. НИЛ "Эргономика сложных систем" СПбПУ Петра Великого, член редакционного совета журнала «Эргодизайн»

The paper was submitted for publication on the 03rd of September 2024; approved after the peer review on the 10th of September 2024; accepted for publication on the 17th of September 2024. Reviewer – Sergeev S.F., Doctor of Sciences (Psychology), Professor of Saint Petersburg State University, Head of the Ergonomics of Complex Systems Laboratory of Peter the Great St. Petersburg Polytechnic University, member of the editorial board of the journal “Ergodesign”.