

<https://doi.org/10.47183/mes.2025-422>

УДК 613.693



ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ АЙТРЕКИНГА В ДИАГНОСТИКЕ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЛЕТЧИКА

О.А. Анненков[✉], А.А. Благинин, Е.В. Ивченко, Д.В. Овчинников, С.П. Ляшедько

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Разработка и внедрение в практику авиационного врача новых и эффективных методов оценки функционального состояния летчика в процессе его профессиональной деятельности остается одной из актуальных задач. Это обусловлено необходимостью сохранения профессионального здоровья летчика, а следовательно, профессиональной надежности и безопасности полетов. По данным современных исследователей, айтрекинг получил большое распространение в медицине и парамедицинских областях. Окуломоторная активность человека находится в зависимости от воздействия множества как внешних, так и внутренних факторов, особенно в период выполнения различных видов когнитивных задач, и имеет большой потенциал в диагностике функционального состояния людей экстремальных профессий.

Цель исследования. Изучить и научно обосновать возможности применения айтрекинга в диагностике функционального состояния летчика.

Материалы и методы. В исследовании приняли участие 22 летчика, которые выполняли полеты на авиационных тренажерах с моделированием аварийных и нештатных ситуаций. Летчики были разделены на две группы в зависимости от правильности действий в аварийной ситуации. Группа 1 ($n = 10$) (средний возраст $25,5 \pm 2,0$ года) по 10-балльной шкале оценивалась в диапазоне от 7 до 8 баллов, а группа 2 ($n = 12$) (средний возраст $31,5 \pm 2,0$ года) — в диапазоне от 8 до 9 баллов. Функциональное состояние летчиков оценивали до и после полета на тренажере в процессе выполнения когнитивных задач. При этом регистрировали показатели регуляции сердечного ритма (посредством математико-статистических и спектральных показателей кардиоритмограммы), сбалансированности и подвижности нервных процессов (оценка простой и сложной сенсомоторных реакций), свойств внимания, а также окуломоторной активности с использованием айтрекера. Статистическую обработку данных проводили с использованием программного обеспечения Microsoft® Excel-2016, пакета прикладных программ SPSS 26.

Результаты. У летчиков группы 1 зарегистрировано снижение скоростных характеристик саккад, признаки перенапряжения адаптационных механизмов организма по данным вариабельности сердечного ритма и снижение уровня функционирования центральной нервной системы. В группе 2 у испытуемых не зафиксировано достоверных изменений характеристик фиксации и перемещения взора, при этом при анализе кардиоритмограммы зафиксировано умеренное напряжение адаптационных механизмов, а также повышение уровня функционирования центральной нервной системы. При корреляционном анализе полученных данных установлены сильные статистические связи скоростных показателей перемещения взора с показателями вариабельности ритма сердца (ПАРС, $r_s = 0,53$; $p \leq 0,01$) и свойствами внимания, такими как объем ($r = -0,62$, $p \leq 0,01$) и распределение ($r_s = -0,57$; $p \leq 0,01$).

Выводы. Изменение показателей окуломоторной активности летчика при выполнении когнитивных задач в процессе моделирования аварийных и нештатных ситуаций на авиационном тренажере имеет сонаправленный характер с динамикой регуляции сердечного ритма, свойств внимания, баланса и подвижности нервных процессов. Скоростные показатели саккад имеют сильные статистические связи с интегральным показателем ПАРС, характеризующим степень напряжения адаптационных механизмов организма, а также с объемом и распределением внимания. Айтрекинг имеет большой потенциал в диагностике функционального состояния летчика в процессе профессиональной деятельности как современный эффективный интегральный метод.

Ключевые слова: летчик; авиационная медицина; функциональное состояние; вариабельность сердечного ритма; ЦНС; окуломоторная активность; аварийная ситуация

Для цитирования: Анненков О.А., Благинин А.А., Ивченко Е.В., Овчинников Д.В., Ляшедько С.П. Перспективы применения айтрекинга в диагностике функционального состояния летчика. *Экстремальная биомедицина*. 2026;28(2):306–314. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-422>

Финансирование: исследование выполнено без спонсорской поддержки.

Соответствие принципам этики: исследование одобрено на заседании независимого этического комитета при Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова (протокол № 274 от 24.01.2023). Все участники подписали добровольное информированное согласие на участие в исследовании.

Потенциальный конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

✉ Анненков Олег Александрович bnm.oleg@yandex.ru

Статья поступила: 28.10.2025 **После доработки:** 16.12.2025 **Принята к публикации:** 23.12.2025 **Online first:** 02.02.2026

PROSPECTS FOR APPLYING EYE TRACKING IN FUNCTIONAL STATE ASSESSMENT OF PILOTS

Oleg A. Annenkov[✉], Andrey A. Blaginin, Evgeniy V. Ivchenko, Dmitry V. Ovchinnikov, Semyon P. Lyashedko

Kirov Military Medical Academy, St. Petersburg, Russia

Introduction. The development and implementation of improved methods for assessing the functional state of pilots during their professional activities remains a priority direction in aviation medicine due to the need to preserve the professional health and reliability of pilots and, consequently, ensure flight safety. According to contemporary research, eye tracking is increasingly gaining application in medical and paramedical fields. Human oculomotor activity is influenced by numerous internal and external factors, especially during the performance

© О.А. Анненков, А.А. Благинин, Е.В. Ивченко, Д.В. Овчинников, С.П. Ляшедько, 2026

of various cognitive tasks. Therefore, its assessment holds significant potential for diagnosing the functional state of individuals in extreme professional settings.

Objective. To study and substantiate the potential of applying eye tracking technologies for assessment of the functional state of pilots.

Materials and methods. The study involved 22 pilots who were requested to perform flights on aviation simulators with simulated emergency and abnormal situations. The pilots were divided into two groups based on the correctness of their actions in emergency situations. Group 1 ($n = 10$) (mean age 25.5 ± 2 years) was rated in the range of 7–8 points on a 10-point scale, while Group 2 ($n = 12$) (mean age 31.5 ± 2 years) was rated in the range of 8–9 points. The functional state of the pilots was assessed both before and after the simulator flight during the performance of various cognitive tasks. Parameters of heart rate regulation (via mathematical-statistical and spectral parameters of the cardiogram), balance and mobility of nervous processes (assessment of simple and complex sensorimotor reactions), attention properties, and oculomotor activity using an eye tracker were recorded. Statistical data processing was performed using the Microsoft® Excel-2016 software and the SPSS 26 application software package.

Results. In Group 1, the pilots demonstrated a decrease in saccadic velocity characteristics, signs of strain of the body's adaptation mechanisms according to heart rate variability data, and a reduction in the functional level of the central nervous system. In Group 2, the pilots showed no significant changes in fixation and gaze movement characteristics. However, the cardiogram revealed moderate strain of adaptation mechanisms and an increased functional level of the central nervous system. Correlation analysis of the data obtained established tight statistical relationships of the velocity parameters of gaze movement with both heart rate variability parameters (PARS, $r_s = 0.53$; $p \leq 0.01$) and attention properties, such as capacity ($r = -0.62$, $p \leq 0.01$) and distribution ($r_s = -0.57$; $p \leq 0.01$).

Conclusions. Changes in the oculomotor activity parameters of a pilot during the performance of cognitive tasks while simulating emergency and abnormal situations on an aviation simulator exhibit a co-directional pattern with the dynamics of heart rate regulation, attention properties, as well as the balance and mobility of nervous processes. Saccadic velocity parameters showed tight statistical relationships with both the integral PARS indicator, characterizing the degree of strain of the body's adaptation mechanisms, and attention capacity and distribution. Eye tracking holds significant potential for diagnosing the functional state of pilots during professional activities as a modern, effective, and integral method.

Keywords: pilot; aviation medicine; functional state; heart rate variability; central nervous system; oculomotor activity; emergency situation

For citation: Annenkov O.A., Blagin A.A., Ivchenko E.V., Ovchinnikov D.V., Lyashedko S.P. Prospects for applying eye tracking in functional state assessment of pilots. *Extreme Medicine*. 2026;28(2):306–314. <https://doi.org/10.47183/mes.2025-422>

Funding: the study received no external funding.

Compliance with ethical principles: the study was approved by the Independent Ethics Committee at the Kirov Military Medical Academy (Minutes No. 274 dated 24.01.2023). All participants signed voluntary informed consent to participate in the study.

Potential conflict of interest: the authors declare no conflict of interest.

✉ Oleg A. Annenkov bnm.oleg@yandex.ru

Received: 28 Oct. 2025 **Revised:** 16 Dec. 2025 **Accepted:** 23 Dec. 2025 **Online first:** 2 Feb. 2026

ВВЕДЕНИЕ

Сохранение и прогнозирование динамики профессионального здоровья летчика, по мнению исследователей, является одним из ключевых элементов безопасности полетов современной авиации [1, 2]. В связи с этим оценка функционального состояния и работоспособности летчика в процессе профессиональной деятельности стала рутинной и обязательной составляющей работы авиационного врача.

Данные мероприятия проводятся не только в период выполнения полетов авиационной частью, но также во время повседневной деятельности летчика. Это осуществляется при полетах на авиационных тренажерах и в рамках психофизиологической подготовки летчиков к действию различных факторов полета [3–5]. Особое значение динамика функционального состояния организма летчиков имеет при проведении специальных методов исследований, при моделировании влияния экстремальных факторов авиационного полета в наземных условиях [7, 8], медицинском освидетельствовании летного состава врачебными комиссиями [6] и подготовке курсантов в летных учебных заведениях [7].

В настоящее время существует достаточно большое количество методик для оценки функционального состояния и профессиональной работоспособности летчика. Отечественные исследователи разработали как монопараметрические подходы,

когда регистрируются физиологические, психофизиологические и психологические показатели человека и осуществляется их комплексная оценка, так и полипараметрические решения. Так, например, много работ посвящено оценке регуляции сердечного ритма как интегрального показателя функционального состояния организма летчика, в частности, детально описаны возможности математического и спектрального анализа variability сердечного ритма [8, 9]; проведены исследования, раскрывающие потенциал компьютерной стабильности для оценки вестибулярной функции как статокинетической функциональной системы человека [10]. Помимо этого, были изучены и разработаны многие другие методики и подходы, целью которых было внедрение интегральных, валидных, предельно удобных в практической работе авиационного врача решений для мониторинга функционального состояния летчика.

В этой связи большой интерес представляет айтрекинг как метод оценки окуломоторной активности и его потенциал в оценке функционального состояния летчика. Данная методика изучается уже не одно десятилетие [11]. Она нашла широкое применение как в медицине, например в нейрофизиологии, нейрохирургии, психиатрии и офтальмологии [12, 13], так и в ряде парамедицинских областей [14]. Стоит отметить, что возможности применения айтрекинга в области авиационной медицины уже изучались, однако в этих работах преимущественно рассматривались вопросы восприятия информации

¹ Зибарев ЕВ. Научное обоснование концепции оценки напряженности труда у пилотов гражданской авиации: дис. ... д-ра мед. наук. 2023.

и распределения внимания, имеющие ключевое значение для авиационной эргономики. Так, была проведена оценка функционального состояния и работоспособности пилотов гражданской авиации при выполнении полетов на авиационных тренажерах, а также курсантов-пилотов гражданской авиации¹ [15, 16]. Особенностью этой работы стала оценка окулomotorной активности пилота в процессе полета на авиационном тренажере. По мнению известных отечественных исследователей, окулomotorная активность человека напрямую связана с решением когнитивных задач, а эффективность их решения находится под сильным влиянием различных внутренних и внешних факторов [12]. Айтрекинг имеет достаточно большой потенциал для оценки влияния различных факторов профессиональной деятельности летчика на его функциональное состояние и работоспособность.

Таким образом, для нас крайне важно понять психофизиологические основы применения показателей окулomotorной активности в диагностике функционального состояния летчика в процессе профессиональной деятельности. В этих целях было проведено исследование по оценке функционального состояния летчиков в период проведения наземной подготовки на авиационных тренажерах.

Цель исследования — оценка возможности использования айтрекинга в диагностике функционального состояния летчика.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В исследовании приняли участие 22 человека из числа летчиков Юго-Восточной Азии. Все испытуемые — мужчины в возрасте 24–47 лет (средний возраст $28,8 \pm 2,0$ года), которые на момент обследования не имели острых и обострений хронических заболеваний, включая органы зрения и нервную систему. Все летчики имеют практический опыт реальных полетов и тренажерной подготовки с моделированием аварийных ситуаций в полете на самолетах Як-130.

В ходе исследования летчики занимались подготовкой на авиационных тренажерах самолетов Як-130. Каждый летчик выполнял один вылет по заданному маршруту и параметрам полета. Во время полета руководитель полетов моделировал воздействие внешнего стресс-фактора путем создания нештатной аварийной ситуации, таковыми были отказы органов и систем управления, отказы двигателей, сброс тормозного парашюта в полете и другие. Во время вылета моделировалась только одна нештатная ситуация. В аварийной ситуации летчик должен был совершить ряд действий в соответствии с алгоритмом и завершить полет. По итогам выполненного задания руководитель полетов оценивал действия летчика по 10-балльной шкале в соответствии с установленными руководящими документами протоколом.

Из числа летчиков, принявших участие в исследовании, были сформированы две группы, в основу разделения были положены результаты полета на тренажере (Як-130, Россия).

Группа 1 включала 10 летчиков со средним баллом 7,3 в диапазоне 7–8 баллов, при этом средний

возраст в этой группе составил $25,5 \pm 2,0$ года, а средний общий налет — 261 ч. В группу 2 вошли 12 летчиков, получивших средний балл 8,2 в диапазоне 8–9 баллов. Средний возраст у них составил $31,5 \pm 2,0$ года, а налет — 603 ч. Таким образом, сформированные группы имели не только различные результаты по итогам тренажерной подготовки, но и обусловившие их значимые отличия по возрасту и уровню профессиональной подготовленности.

Для оценки динамики функционального состояния летчиков на фоне воздействия стресс-фактора проводилось их обследование за 15 мин до выполнения полета на тренажере и в течение 15 мин непосредственно после завершения полета.

Диагностика функционального состояния летчиков в периоды предполетной подготовки и после вылета на тренажере осуществлялась по единому плану и заключалась в оценке регуляции сердечного ритма (РСР), уровня функционирования центральной нервной системы (ЦНС) и регистрации окулomotorной активности у летчиков при выполнении когнитивной задачи.

Оценка РСР проводилась посредством анализа математико-статистических показателей кардио-ритмограммы: моды (M_0 , m_s), отражающей уровень функционирования синусового узла; амплитуды моды (A_{M_0} , %), свидетельствующей об активности симпатической нервной системы; вариационного размаха (BP , m_s), связанного с активностью парасимпатического отдела вегетативной нервной системы; индекса напряжения регуляторных систем (ИН, отн. ед.), который отражает активность симпатической регуляции ритма; спектральных показателей: мощности высокочастотных колебаний (HF — high frequency, m_s^2), отражающих парасимпатическое влияние на ритм; низкочастотных колебаний (LF — low frequency, m_s^2), связанных с активностью симпатической нервной системы; очень низкочастотных колебаний (VLF — very low frequency, m_s^2), связанных с гуморальным влиянием на сердечный ритм; соотношения LF/HF (отн. ед.), свидетельствующего о балансе влияния симпатического и парасимпатического отделов нервной системы на ритм; общей мощности спектра (TP — total power, m_s^2), отражающей суммарное вегетативное влияние на ритм сердца; а также интегрального показателя активности регуляторных систем (ПАРС, отн. ед.) [17], записанного в течение 5 мин на оборудовании «ВНС-Ритм» российского производства.

Состояние ЦНС исследовали с помощью оборудования российского производства «НС-Психотест» путем регистрации простой и сложной сенсомоторных реакций (ПСМР и ССМР), реакции на движущийся объект (РДО), критической частоты световых мельканий (КЧСМ); осуществляли оценку устойчивости и концентрации внимания методиками «Помехоустойчивость» и «Оценка внимания» путем сравнения из результатов. При выполнении теста «Черно-красные таблицы Шульце – Платонова» определялись объем (ОВ), распределение (РВ) и переключаемость (ПВ) внимания по пятибалльной шкале оценок. При этом объем внимания оценивался в диапазонах: 0–29, 30–37, 38–50, 51–60, 61 и более баллов; распределение внимания:

² Мантрова И.Н. Методическое руководство по психофизиологической и психологической диагностике. Иваново; 2005.

0–43, 44–56, 57–87, 88–106, 107 и более баллов; переключаемость внимания: 0–9, 10–17, 18–31, 32–40, 41 и более баллов².

Запись окуломоторной активности проведена на айтрекере (SMI RED250, Германия) при выполнении летчиком когнитивной задачи в виде теста «Черно-красные таблицы Шульце – Платонова». Анализ записанных данных осуществлялся штатным для данного оборудования программным обеспечением SMI BeGaze; анализировали количественные показатели фиксации и саккад (количество и частота); временные параметры: длительность фиксации и саккад (короткие — менее 200 мс, средние — 200–350 мс и длинные — более 350 мс фиксации); скоростные характеристики саккад: пиковая, средняя скорость и амплитуда [12].

Математико-статистический анализ выполнен с использованием программного обеспечения Microsoft® Excel-2016, пакета прикладных программ SPSS 26, с расчетом критерия Вилкоксона. Значения всех показателей представлены в виде медианы (M_e) и верхнего и нижнего квартилей [Q_1 ; Q_3], соответствующих 25 и 75 перцентилем распределения. Сравнению подлежали показатели, зарегистрированные до полета на тренажере и после него. Все различия считали статистически достоверными при уровне значимости $p < 0,05$. Корреляционный анализ проведен с использованием коэффициента ранговой корреляции Спирмена, при этом статистически значимыми считали показатели при уровне $p < 0,05$.

Обследование летчиков проводили в первой половине дня в тихом и проветриваемом отдельном помещении с температурой воздуха +22 °С. Все испытуемые дали добровольное согласие на участие в исследовании, которое проведено в соответствии с нормами биомедицинской этики (Declaration of Helsinki and European Community directives, 8/609 EC).

РЕЗУЛЬТАТЫ

При исследовании окуломоторной активности (количественных и временных характеристик фиксации)

у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на авиационном тренажере в обеих группах не выявлено статистически значимых изменений за исключением снижения на 9% ($p < 0,05$) количества фиксации в группе 2. Соответствующие данные представлены в таблице 1.

Результаты оценки особенностей перемещения взора — количественных, временных и скоростных характеристик саккад отражены в таблице 2.

Статистически значимые изменения зарегистрированы в группе 1, которые представлены снижением скоростных показателей саккад: снижение пиковой скорости саккад на 9% ($p < 0,05$), средней скорости на 6% ($p < 0,05$) и амплитуды саккад на 17% ($p < 0,05$), при этом количественные и временные характеристики не показали достоверных изменений. В группе 2 достоверные изменения отмечены только в уменьшении количества саккад на 8% ($p < 0,05$).

Для оценки динамики функционального состояния летчиков при моделировании аварийной ситуации в полете и физиологического обоснования характера изменений показателей окуломоторной активности проведена оценка РСР.

В группе 1 зарегистрированы следующие статистически значимые изменения: повышение показателя ВР на 18% (с 193 до 227 с), повышение ТР на 12% (с 3756 до 4194 мс²), VLF на 46% (с 1200 до 1780 мс²), повышение на 25% показателя ПАРС (с 3,0 до 3,75 балла) и снижение HF на 26% (с 1629 до 1250 мс²), ИН на 16% (с 155 до 131 отн. ед.) (рис. 1).

В группе 2 также отмечены статистически значимые изменения: повышение АМО на 32%, ИН на 67% (с 293 до 488 отн. ед.); снижение ТР на 33% (с 2602 до 1749 мс²), LF на 39% (с 1153 до 699 мс²) и соотношения LF/HF на 30% (с 1,93 до 1,35 отн. ед.) (рис. 2).

Влияние действий летчика в аварийной ситуации при моделировании условий полета на авиационном тренажере на его функциональное состояние оценивали по изменению уровня функционирования ЦНС. При этом регистрировали скорость зрительно-моторных реакций, подвижность нервных процессов зрительного анализатора, сбалансированность

Таблица 1. Характеристика фиксации у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на авиационном тренажере

Показатель	Группа летчиков	Фоновое значение	Значение после полета на тренажере
Количество фиксации, ед.	Группа 1	240 [191; 257]	232 [222; 256]
	Группа 2	348 [259; 338]	315 [276; 308]*
Частота фиксации, ед. в сек	Группа 1	7,33 [7,04; 8,00]	7,53 [7,08; 8,21]
	Группа 2	7,36 [6,91; 7,94]	7,45 [7,05; 8,04]
Длительность фиксации, мс	Группа 1	246 [217; 261]	244 [220; 254]
	Группа 2	232 [214; 254]	232 [219; 246]

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: * — уровень статистической значимости $p \leq 0,05$ при сравнении показателей до и после полета на тренажере; данные представлены в виде медианы (M_e) и верхнего и нижнего квартилей [Q_1 ; Q_3].

Таблица 2. Характеристика саккад у летчиков до и после моделирования аварийной ситуации на авиационном тренажере

Показатель	Группа летчиков	Фоновое значение	Значение после полета на тренажере
Количество саккад, ед.	Группа 1	235 [181; 255]	228 [218; 254]
	Группа 2	337 [249; 336]	309 [270; 301]*
Частота саккад, ед/с	Группа 1	7,10 [6,51; 7,90]	7,41 [6,93; 8,13]
	Группа 2	7,14 [6,81; 7,90]	7,32 [6,86; 7,94]
Длительность саккады, мс	Группа 1	23,70 [21,94; 23,955]	23,30 [21,80; 24,40]
	Группа 2	26,9 [25,1; 29,1]	26,8 [24,7; 29,0]
Амплитуда саккад, град.	Группа 1	1,86 [1,38; 1,78]	1,53 [1,29; 1,62]*
	Группа 2	1,93 [1,51; 1,94]	1,91 [1,52; 1,90]
Наибольшая скорость саккады, град/с	Группа 1	199 [166; 220]	181 [155; 204]*
	Группа 2	199 [168; 231]	189 [160; 198]
Средняя скорость саккады, град/с	Группа 1	65,9 [56,1; 71,5]	62,0 [53,0; 69,0]*
	Группа 2	63,5 [54,6; 70,1]	63,0 [55,0; 67,0]

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: * — уровень статистической значимости $p \leq 0,05$ при сравнении показателей до и после полета на тренажере; данные представлены в виде медианы (M_e) и верхнего и нижнего квартилей [Q_1 ; Q_3].

процессов возбуждения и торможения, а также характеристик внимания.

В группе 1 у летчиков зарегистрированы достоверные изменения ряда показателей: уменьшение по модулю отрицательного значения времени РДО на 37% (с -12,7 до -8,0 мс), увеличение показателей

распределения внимания на 50% (с 71,9 до 108,0 балла) и переключения внимания на 94% (с 39,4 до 76,3 балла) по сравнению с фоновыми значениями ($p < 0,05$). Другие психофизиологические показатели, в том числе устойчивость и концентрация внимания, не имели статистически значимых изменений (рис. 3).



Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 1. Результаты математического и спектрального анализа кардиоритмограммы у летчиков группы 1 до и после полета на тренажере: BP — вариационный размах, ИН — индекс напряжения регуляторных систем, ПАРС — показатель активности регуляторных систем, TP — общая мощность спектра, VLF — мощность очень низкочастотных колебаний, HF — мощность высокочастотных колебаний

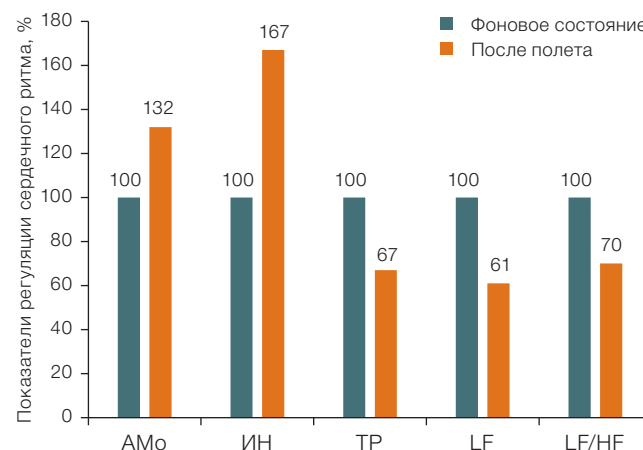


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 2. Результаты математического и спектрального анализа кардиоритмограммы у летчиков группы 2 до и после полета на тренажере: AMo — амплитуда моды; ИН — индекс напряжения регуляторных систем; TP — общая мощность спектра; LF — мощность низкочастотных колебаний; LF/HF — соотношение мощности низко- и высокочастотных колебаний



Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 3. Динамика реакции на движущийся объект и характеристик внимания у летчиков группы 1 до и после полета на тренажере: РДО — реакция на движущийся объект

При оценке сенсомоторных реакций у летчиков 2 группы также зафиксированы достоверные изменения: увеличение по модулю отрицательного значения РДО в 2,2 раза: с -6,1 до -13,0 мс ($p < 0,05$) и переключения внимания в 2,6 раза: с 6,8 до 17,7 балла ($p < 0,05$). Другие психофизиологические показатели, как и в группе 1, не имели статистически значимых изменений (рис. 4).

В целях выявления статистических взаимосвязей оculoмоторной активности с особенностями регуляции сердечного ритма и уровнем функционирования ЦНС при выполнении когнитивных задач был выполнен корреляционный анализ. При этом исследовали данные, полученные до и после начала полета и непосредственно после полета на тренажере. Наиболее значимые результаты корреляционного анализа представлены в таблице 3.

Таблица 3. Корреляционный анализ показателей регуляции сердечного ритма, уровня функционирования ЦНС и оculoмоторной активности у летчиков до и после полета на тренажере, ($n = 22$)

Показатель	До полета на тренажере			После полета на тренажере		
	Объем внимания	Распределение внимания	ПАРС	Объем внимания	LF/HF	ПАРС
Доля коротких фиксаций	–	–	–	–	0,44*	0,69*
Доля средних фиксаций	–	–	–	–	0,42*	0,54*
Длительность саккады	-0,74*	-0,60*	–	-0,83*	–	0,64*
Амплитуда саккады	-0,43*	-0,52*	0,45*	-0,53*	–	0,53*
Пиковая скорость саккады	-0,56*	-0,57*	0,48*	-0,62*	–	0,51*
Средняя скорость саккады	-0,61*	-0,55*	0,44*	-0,66*	–	0,48*

Таблица составлена авторами по собственным данным

Примечание: уровень статистической значимости * — $p \leq 0,05$; * — $p \leq 0,01$; * — $p \leq 0,001$; LF/HF — соотношение мощности низко- и высокочастотных колебаний, ПАРС — показатель активности регуляторных систем.

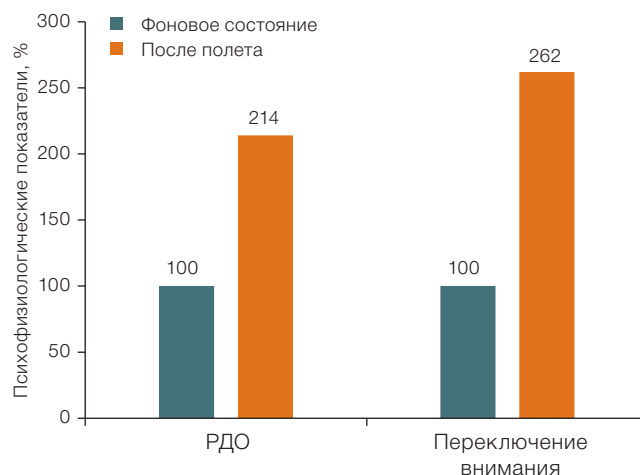


Рисунок подготовлен авторами по собственным данным

Рис. 4. Динамика реакции на движущийся объект и характеристик внимания у летчиков группы 2 до и после полета на тренажере: РДО — реакция на движущийся объект

Установлены сильные обратные корреляционные взаимосвязи скоростных показателей оculoмоторной активности с объемом и распределением внимания, а также сильные прямые связи с показателем активности регуляторных систем и соотношением баланса мощности низко- и высокочастотных колебаний.

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Анализ устойчивости положения взора по характеристикам фиксации, не выявивший статистически значимых изменений, свидетельствует об отсутствии точки приложения для данных параметров окулографии в настоящей работе. Количество и длительность фиксаций в большей степени отражают состояние зрительного анализатора при решении сложных когнитивных задач или в сложных условиях их выполнения [12–14].

В проведенном исследовании когнитивные задачи решались до и после моделирования аварийной ситуации, но не в процессе выполнения полетного задания на тренажере, когда на летчика действует максимальный спектр стресс-факторов профессиональной деятельности. Вследствие этого различные параметры фиксации взгляда не показали достоверных изменений.

В то же время анализ результатов оценки перемещения взгляда выявил достоверное снижение скоростных параметров саккад у летчиков с более низкими результатами полета на тренажере (группа 1). По мнению ряда авторов, саккады оказывают некоторое реципрокное влияние на когнитивную функцию, а снижение скорости саккад наблюдается при нейрофизиологических расстройствах [12]. В представленном исследовании наличие заболеваний или патологических состояний у летчиков было исключено на этапе формирования группы испытуемых. В силу этого описанные особенности перемещения взгляда могут быть обусловлены изменением функционального состояния летчиков группы 1 на фоне воздействия стресс-факторов при моделировании аварийной ситуации, что в обязательном порядке оказывает вегетативное влияние на работу всех анализаторов человека, включая зрительный. Наиболее вероятным функциональным состоянием с более низкими результатами полета на тренажере в группе 1 после полетов является утомление, которое характеризуется как нормальное, но сопровождается снижением работоспособности человека и уровня функционирования физиологических систем.

Анализ РСР как интегрального показателя функционального состояния у летчиков позволяет сделать несколько заключений. У летчиков 1-й группы можно говорить о выраженном напряжении регуляторных систем с тенденцией к перенапряжению адаптационных механизмов. В исследованиях Р.М. Баевского и соавт. перенапряжение характеризуется несколько рассогласованными изменениями показателей РСР [8]. С одной стороны, в группе 1 отмечено снижение индекса напряжения регуляторных систем и повышение вариационного размаха, отражающего увеличение парасимпатического влияния, а с другой — повышение общей мощности спектра, свидетельствующего об общем снижении вегетативного влияния и централизации управления ритмом. Однако это снижение преимущественно обусловлено уменьшением парасимпатического влияния, что несколько противоречит данным вариационной пульсометрии. Повышение показателя ПАРС отражает сдвиг напряжения регуляторных систем в область выраженного напряжения [8, 17]. При этом с физиологической точки зрения можно увидеть конкордантные изменения параметров variability сердечного ритма и скоростных показателей саккад, отражающих снижение когнитивной активности и, вероятно, утомления зрительного анализатора.

Оценка РСР в группе 2 до и после моделирования аварийных ситуаций на тренажере позволяет сделать вывод о повышении централизации управления ритмом и общего вегетативного влияния на него, что подтверждено значимыми увеличением ИН, симпатического влияния (АМО), уменьшением общей мощности

спектра. Уменьшение ТР обусловлено статистически значимым снижением симпатического влияния, но на тенденционном уровне можно увидеть синхронное с ним снижение парасимпатического и гуморального влияния [8].

Данные результаты РСР, с учетом отсутствия достоверных изменений параметров фиксации и саккад при окулографии, позволяют заключить, что у летчиков в группе 2 на фоне выполнения полетов на авиационном тренажере сформировалось нормальное функциональное состояние с умеренным напряжением адаптационных механизмов и систем регуляции организма и сохранением профессиональной работоспособности.

Анализ результатов, полученных при исследовании уровня функционирования ЦНС и характеристик внимания у летчиков до и после моделирования аварийных ситуаций на тренажере, продемонстрировал разные фоновые значения в двух группах. В 1-й группе у участников (с более низкими результатами полета на тренажере) имело место значимое преобладание процессов возбуждения над процессами торможения в отличие от летчиков из группы 2. Такая же ситуация наблюдалась и при рассмотрении характеристик внимания. В группе 1 регистрировали показатели, соответствующие низкой подвижности нервных процессов, а во второй — высокой. Характеристики внимания в полной мере подтверждают разницу фонового функционального состояния летчиков, описанную показателями реакции на движущийся объект. Вероятно, базовой основой для этих отличий является различный уровень профессиональной подготовленности летчиков в двух группах и уровень их психологической готовности к действиям в условиях аварийных и нештатных ситуаций в полете.

Динамика этих параметров, зарегистрированных сразу после выполнения полета в группе 1, отражает еще большее снижение уровня функционирования ЦНС по сравнению с фоновыми, что может быть интерпретировано как перенапряжение адаптационных механизмов организма [17]. Это в полной мере соответствует результатам, полученным при окулографии и анализе скоростных показателей саккад в группе 1, которые свидетельствуют о снижении когнитивной активности и, возможно, развитии утомления.

Во 2-й группе летчиков после полетов на тренажере отмечено усиление преобладания процессов возбуждения в ЦНС, что можно охарактеризовать как мобилизацию психофизиологических резервов. Отсутствие достоверных изменений характеристик внимания, за исключением незначительного снижения переключаемости (с 5-го до 4-го уровня), не может свидетельствовать о значимом снижении подвижности нервных процессов. Данные результаты, с учетом отсутствия достоверных изменений скоростных показателей саккад и характеристик фиксации взгляда в группе 2, свидетельствуют о сохранении нормального функционального состояния организма летчиков с сохранением их профессиональной работоспособности, что обеспечивается умеренным напряжением регуляторных систем [17].

Проведенный корреляционный анализ параметров окуломоторной активности с показателями

РСР и уровнем функционирования ЦНС указывает на то, что скоростные показатели окуломоторной активности находятся в тесной статистической взаимосвязи с интегральным показателем вариабельности ритма сердца ПАРС, повышение значений которого отражает напряжение регуляторных механизмов организма. Со свойствами внимания, такими как объем и распределение, установлены обратные корреляционные связи, что отражает связь активации глазодвигательной активности со сложностью когнитивных задач и мобилизацией психофизиологических резервов. В меньшей степени скоростные параметры саккад связаны с показателями спектрального анализа ритмограммы и уровня функционирования ЦНС.

Выводы

Анализ результатов оценки окуломоторной активности летчиков при выполнении когнитивных задач в условиях моделирования аварийных ситуаций на авиационном тренажере позволяет сделать несколько выводов:

1. Анализ показателей окуломоторной активности в комплексе с показателями регуляции сердечного ритма, уровня функционирования ЦНС и характеристик внимания свидетельствует о развитии утомления у летчиков с более низкими результатами полетов на тренажере и сохранении нормального функционального состояния у летчиков с высоким уровнем психофизиологических резервов из группы 2. Показатели окуломоторной активности у летчиков имеют статистически значимые изменения на фоне

динамики функционального состояния в процессе профессиональной деятельности.

2. Динамика скоростных показателей окуломоторной активности у летчиков, таких как скорость и амплитуда саккад, сопоставлена с изменениями регуляции сердечного ритма и отражает степень напряжения регуляторных систем организма и мобилизации физиологических резервов, что показано в динамике индекса напряжения регуляторных систем, показателя активности регуляторных систем, а также спектральных показателей кардиоритмограммы.

3. Изменения показателей окуломоторной активности сопоставлены с динамикой объема и распределения внимания, сбалансированности и подвижности нервных процессов и отражают уровень функционирования центральной нервной системы.

Скоростные показатели окуломоторной активности имеют сильную статистически значимую корреляционную взаимосвязь с интегральным показателем регуляции сердечного ритма ПАРС, а также объемом и распределением внимания, что свидетельствует об их зависимости от функционального состояния организма в целом. Анализ показателей окуломоторной активности позволяет осуществлять оценку функционального состояния организма летчика. Для полного раскрытия потенциала айтрекинга целесообразно оценить динамику показателей окуломоторной активности летчика в период непосредственного воздействия факторов профессиональной деятельности, а также во время умственной работы аналитического характера.

Литература / References

1. Пономаренко ВА, Алексеенко МС, Долгов АА. Психофизиологические компоненты профессиональной надежности пилота. *Проблемы безопасности полетов*. 2018;6:3–18.
Ponomarenko VA, Alekseenko MS, Dolgov AA. Psychophysiological components of professional reliability of pilot. *Flight Safety Issues*. 2018;6:3–18 (In Russ.). EDN: [OTYBBP](#)
2. Жданык ИМ, Исаенков ВЕ, Ворона АА, Филатов ВН, Никифоров ДА. Профессиональная надежность военного летчика: медицинские и социально-психологические аспекты. *Военно-медицинский журнал*. 2016;337(6):30–6.
Zhdanko IM, Isaenkov VE, Vorona AA, Filatov VN, Nikiforov DA. Professional reliability of military pilots: medical and social-psychological aspects. *Military Medical Journal*. 2016;337(6):30–6 (In Russ.). EDN: [WLBOWT](#)
3. Благинин АА, Лапшина ТА, Данг КГ. Эффективность различных режимов тренировки на статозерометре для повышения переносимости пилотажных перегрузок у вьетнамских мужчин. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2022;4:32–5.
Blaginin AA, Lapshina TA, Dang QH. The efficiency of different training regimes at statoergometer to increase the tolerance to aerobic overloads in vietnamese men. *Kremlin Medicine Journal*. 2022;4:32–5 (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/cgma/z5xh-auvp-pgv4>
4. Благинин АА, Лапшина ТА, Емельянов ЮА, Баковец ДВ, Дудина ЕА. Переносимость умеренных степеней гипоксии военнослужащими женского пола в разные фазы овариально-менструального цикла. *Кремлевская медицина. Клинический вестник*. 2024;2:64–7.
Blaginin AA, Lapshina TA, Emelyanov YuA, Bacovets DV, Dudina EA. Moderate hypoxia tolerance by military females in different phases of their ovarian-menstrual cycle. *Kremlin Medicine Journal*. 2024;2:64–7 (In Russ.). <https://doi.org/10.48612/cgma/4b2h-5829-gr7x>
5. Лапшина ТА, Благинин АА, Емельянов ЮА, Баковец ДВ. Оценка статической мышечной выносливости нижних конечностей у военнослужащих женского пола. *Профессиональное здоровье военнослужащих. Материалы Всеармейской научно-практической конференции (к 100-летию со дня рождения профессора И.Д. Кудрина)*. СПб.; 2023.
Lapshina TA, Blaginin AA, Emelyanov YuA, Bacovets DV. Assessment of static muscular endurance of the lower extremities in female military personnel. *Professional health of military personnel*. Materials of the All-Army scientific and practical conference (on the 100th anniversary of the birth of Professor I.D. Kudrin). St. Petersburg; 2023 (In Russ.). EDN: [GMFYLR](#)
6. Серговец АА, Пастухов АГ, Земляков СВ, Дацко АВ, Чурилов ЮК, Вовкодав ВС и др. Развитие системы медицинского освидетельствования авиационного персонала государственной авиации Российской Федерации. *Военно-медицинский журнал*. 2021;342(3):66–73.
Sergoventsev AA, Pastukhov AG, Zemlyakov SV, Datsko AV, Churilov YuK, Vovkodav VS, et al. Development of the system of medical examination of aviation personnel of the state aviation of the Russian Federation. *Military Medical Journal*. 2021;342(3):66–73 (In Russ.). EDN: [ZUOWCV](#)
7. Баринов СВ, Корсунов СВ. Основное содержание теоретической фундаментальной подготовки и практи-

- ческой летной выучки курсантов в высшем военном авиационном училище летчиков. *IX Международная научно-практическая конференция молодых ученых, посвященная 58-й годовщине полета Ю.А. Гагарина в космос*. Сборник научных статей по итогам конференции. Краснодар; 2019.
- Barinov SV, Korsunov SV. The main content of theoretical fundamental training and practical flight training of cadets at the Higher Military Aviation School of pilots. *IX International Scientific and Practical Conference of Young Scientists dedicated to the 58th anniversary of Yuri Gagarin's flight into space*. Conference proceedings of the scientific-practical conference. Krasnodar; 2019 (In Russ.).
EDN: [ABFDGE](#)
8. Баевский РМ, Черникова АТ. Проблема физиологической нормы: математическая модель функциональных состояний на основе анализа variability сердечного ритма. *Авиакосмическая и экологическая медицина*. 2002;36(6):11–7.
Baevsky RM, Chernikova AT. The problem of physiological norm: a mathematical model of functional states based on the analysis of heart rate variability. *Aerospace and Environmental Medicine*. 2002;36(6):11–7 (In Russ.).
EDN: [SAAWAJ](#)
 9. Анненков ОА, Овчинников ДВ, Иваков ЮМ, Синельников СН, Баковец ДВ. Оценка адаптационных возможностей летчиков в периоды подготовки и выполнения полетов: ретроспективное исследование. *Морская медицина*. 2025;11(2):135–43.
Annenkov OA, Ovchinnikov DV, Ivakov YuM, Sinelnikov SN, Bakovets DV. Assessment of adaptive capabilities of pilots during flight training and performance: a retrospective study. *Marine Medicine*. 2025;11(2):135–43 (In Russ.).
EDN: [RUUSTQ](#)
 10. Жильцова ИИ, Альжев НВ. Опыт применения компьютерной стабильности для предполетного и послеполетного контроля функционального состояния организма летчиков. *Военно-медицинский журнал*. 2020;341(12):47–54.
Zhiltsova II, Alzhev NV. Experience of using computer posturography for pre-flight and post-flight control of the functional state of the body of pilots. *Military Medical Journal*. 2020;341(12):47–54 (In Russ.).
EDN: [GDTNCT](#)
 11. Жильцова ИИ, Альжев НВ, Анненков ОА, Лапшина ТА. Влияние психоэмоционального напряжения на постральную устойчивость по показателям спектра статокинезиограммы и variability сердечного ритма. *Военно-медицинский журнал*. 2018;339(6):61–9.
Zhiltsova II, Alzhev NV, Annenkov OA, Lapshina TA. Influence of psychoemotional stress on postural stability on the parameters of the statokinesiogram spectrum and heart rate variability. *Military Medical Journal*. 2018;339(6):61–9 (In Russ.).
EDN: [XYPOBN](#)
 12. Барабанщиков ВА, Жегало АВ. *Айтрекинг: методы регистрации движения глаз в психологических исследованиях и практике*. М.: Когито-Центр; 2014.
Barabanshchikov VA, Zhegalo AV. *Eye-tracking: methods of eye movement registration in psychological research and practice*. Moscow: Kogito-Center Publ. House; 2014 (In Russ.).
EDN: [TQWJHL](#)
 13. Шелепин ЕЮ, Скуратова КА, Лехницкая ПА, Шелепин КЮ. Айтрекинг как инструмент медицинской диагностики. *Российский психологический журнал*. 2024;21(4):168–94.
Shelepin EYu, Skuratova KA, Lekhnitskaya PA, Shelepin KYu. Eye tracking as a tool for medical diagnosis. *Russian Psychological Journal*. 2024;21(4):168–94 (In Russ.).
<https://doi.org/10.21702/2yd85727>
 14. Fox SE, Faulkner-Jones BE. Eye-Tracking in the Study of Visual Expertise: Methodology and Approaches in Medicine. *Frontline Learning Research*. 2017;5(3):29–40.
<https://doi.org/10.14786/flr.v5i3.258>
 15. Талева АИ, Звягина НВ. Окуломоторная активность при решении зрительных когнитивных задач в различных временных условиях. *Сенсорные системы*. 2021;35(3):217–27.
Taleeva AI, Zvyagina NV. Oculomotor activity in solving visual cognitive tasks under different time conditions. *Sensory Systems*. 2021;35(3):217–27 (In Russ.).
<https://doi.org/10.31857/S0235009221030045>
 16. Меркулова АГ, Калинина СА. Распределение зрительного внимания при подготовке пилотов-курсантов к летной деятельности. *Гигиена и санитария*. 2017;96(8):752–5.
Merkulova AG, Kalinina SA. The distribution of the visual attention in the training of student-pilots for the flight activity. *Hygiene and Sanitation*. 2017;96(8):752–5 (In Russ.).
<https://doi.org/10.18821/0016-9900-2017-96-8-752-755>
 17. Михайлов ВМ. *Вариабельность ритма сердца: опыт практического применения*. Иваново: Ивановская государственная академия; 2000.
Mikhailov VM. *Heart rate variability. Practical application experience*. Ivanovo: Ivanovo State Medical University Publishing House; 2000 (In Russ.).
EDN: [UBBQTR](#)

Вклад авторов. Все авторы подтверждают соответствие своего авторства критериям ICMJE. Наибольший вклад распределен следующим образом: О.А. Анненков — сбор материалов, написание черновика рукописи; А.А. Благинин — обзор литературы; Е.В. Ивченко — дизайн исследования, утверждение окончательного варианта статьи; Д.В. Овчинников — интерпретация данных, написание статьи; С.П. Ляшедько — статистический анализ полученных данных, визуализация данных.

Об авторах:

Анненков Олег Александрович, канд. мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-3521-9057>

Благинин Андрей Александрович, д-р мед. наук, д-р псих. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3820-5752>

Ивченко Евгений Викторович, д-р мед. наук, профессор, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5582-1111>

Овчинников Дмитрий Валерьевич, канд. мед. наук, доцент, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8408-5301>

Ляшедько Семен Петрович, д-р мед. наук, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8533-850X>