

УДК 616-009.8

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

# Система оценки отслеживания линий взгляда (ай-трекинг) для диагностики состояния интегративных функций головного мозга

К.М. Наумов<sup>1</sup>, И.Ю. Чаплиев<sup>1, 3</sup>, И.В. Литвиненко<sup>1</sup>, Н.В. Цыган<sup>1</sup>, В.Ю. Лобзин<sup>1, 2</sup>, А.В. Рябцев<sup>1</sup><sup>1</sup> Военно-медицинская академия, Санкт-Петербург, Россия;<sup>2</sup> Медицинский институт Санкт-Петербургского государственного университета, Санкт-Петербург, Россия;<sup>3</sup> Институт физиологии им. И.П. Павлова РАН, Санкт-Петербург, Россия

## АННОТАЦИЯ

**Актуальность.** В настоящее время на фоне увеличения в мире доли населения старшей возрастной группы все более актуальным становится вопрос ранней диагностики развивающихся когнитивных нарушений у пациентов с различными заболеваниями нервной системы, а также поиск эффективных биомаркеров, которые бы свидетельствовали о начале их развития. Когнитивные функции являются высшим проявлением сложных интегративных процессов, протекающих в центральной нервной системе, одним из наиболее важных путей поступления информации в которую является зрительный анализатор. В процессе оценки окружающего пространства глазодвигательная система выполняет сложнейшую работу по синхронизации зрительных осей глаз для получения максимально четкого изображения. Последовательность и продолжительность фиксации на элементах объекта определяются в том числе и процессом мышления, который определяет анализ и усвоение получаемых сведений через интеграцию афферентной информации. Именно нарушения в работе этой системы могут возникать на ранних этапах развития когнитивных дисфункций, как следствие дезинтеграционных процессов в головном мозге. Таким образом, маркеры дезинтеграции могут быть важными предикторами развивающихся когнитивных нарушений при различных заболеваниях нервной системы.

**Цель:** разработать методику оценки состояния системы положения глаз у пациентов в норме и при различных заболеваниях нервной системы.

**Материалы и методы.** В процессе работы нами был разработан эксперимент в виде последовательности визуальных стимулов с аудио- и текстовым сопровождением, которые предъявлялись с определенной последовательностью и за ограниченное время, который предъявлялся обследуемым лицам в рамках решения поставленной им когнитивной задачи. Фиксация движений глаз осуществлялась в реальном времени с помощью системы ай-трекинга Pupil Invisible, содержащей в своей конструкции две интегрированные инфракрасные камеры с частотой 200 Гц. По результатам оценки цифровых характеристик параметров движений глаз (количество фиксаций, их длительность и положение на координатной оси) генерировались и анализировались т.н. «тепловые карты».

**Результаты.** В целях улучшения возможности количественной оценки получаемых тепловых карт нами разработана методика количественной оценки получаемых результатов. Разработанные методики позволяют начать сбор данных для выделения типовых глазодвигательных паттернов дезинтеграции при решении когнитивных задач, как у здоровых лиц, так и у пациентов с когнитивными нарушениями для последующего применения методики в клинической практике.

**Ключевые слова:** ай-трекинг; биомаркер; движения глаз; дезинтеграционные процессы; деменция; когнитивные нарушения; тепловая карта.

## Как цитировать

Наумов К.М., Чаплиев И.Ю., Литвиненко И.В., Цыган Н.В., Лобзин В.Ю., Рябцев А.В. Система оценки отслеживания линий взгляда (ай-трекинг) для диагностики состояния интегративных функций головного мозга // Известия Российской военно-медицинской академии. 2024. Т. 43, № 4. С. 411–418. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

# Eye line tracking evaluation system (Eye-tracking) for diagnosing the state of integrative brain functions

Konstantin M. Naumov<sup>1</sup>, Il'ya U. Chapliev<sup>1, 3</sup>, Igor' V. Litvinenko<sup>1</sup>, Nikolay V. Tsygan<sup>1</sup>, Vladimir Yu. Lobzin<sup>1, 2</sup>, Aleksandr V. Ryabtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine, Department of Postgraduate Medical Education, Saint Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

## ABSTRACT

**BACKGROUND:** Currently, against the background of an increase in the proportion of the population of the older age group in the world, the issue of early diagnosis of developing cognitive impairment in patients with various diseases of the nervous system, as well as the search for effective biomarkers that would indicate the beginning of their development, is becoming more and more urgent. Cognitive functions are the highest manifestation of complex integrative processes occurring in the central nervous system, one of the most important ways of information entry into which is the visual analyzer. In the process of assessing the surrounding space, the oculomotor system performs the most difficult work to synchronize the visual axes of the eyes to obtain the clearest possible image. The sequence and duration of fixations on the elements of the object are determined, among other things, by the thinking process, which determines the analysis and assimilation of the received information. It is the disturbances in the work of this system that can occur at the early stages of the development of cognitive dysfunctions, as a result of disintegration processes in the brain. Thus, disintegration markers may be important predictors of developing cognitive impairment in nervous system diseases.

**AIM:** of the work was to develop a method for assessing the state of the eye position system in patients with initial cognitive dysfunctions.

**MATERIALS AND METHODS:** In the process, we developed an experiment in the form of a sequence of visual stimuli with audio and text accompaniment, which were presented with a certain sequence and for a limited time, which was presented to the subjects as part of the solution of the cognitive task. Eye movements were recorded in real time using the Pupil Invisible air-tracking system, which contains two integrated infrared cameras with a frequency of 200 Hz in its design. Based on the results of assessing the digital characteristics of the parameters of eye movements (the number of fixations, their duration and position on the coordinate axis), the so-called "heat maps" were generated and analyzed.

**RESULTS:** In order to be able to quantify the resulting heat maps, we have developed a methodology for quantifying the results obtained. The developed methods make it possible to start collecting data to identify typical oculomotor patterns in solving cognitive tasks, both in healthy people and in patients with mild cognitive impairment, for the subsequent application of the method in clinical practice.

**Keywords:** biomarker; cognitive impairment; dementia; disintegration processes; eye movements; eye-tracking; heatmap.

## To cite this article

Naumov KM, Chapliev IU, Litvinenko IV, Tsygan NV, Lobzin VYu, Ryabtsev AV. Eye line tracking evaluation system (Eye-tracking) for diagnosing the state of integrative brain functions. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2024;43(4):411–418. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

Received: 02.10.2024

Accepted: 19.10.2024

Published: 15.11.2024

DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

# 用于诊断脑整合功能状态的视线跟踪（眼动追踪） 评估系统

Konstantin M. Naumov<sup>1</sup>, Il'ya U. Chapliev<sup>1, 3</sup>, Igor' V. Litvinenko<sup>1</sup>, Nikolay V. Tsygan<sup>1</sup>,  
Vladimir Yu. Lobzin<sup>1, 2</sup>, Aleksandr V. Ryabtsev<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Military Medical Academy, Saint Petersburg, Russia;

<sup>2</sup> Saint Petersburg State University, Faculty of Medicine, Department of Postgraduate Medical Education, Saint Petersburg, Russia;

<sup>3</sup> Pavlov Institute of Physiology, Russian Academy of Sciences, Saint Petersburg, Russia

## 摘要

**背景。**随着全球老年人口比例的增加，对神经系统各种疾病患者进行早期认知障碍诊断，并寻找有效的生物标志物以识别其早期发展已变得越来越重要。认知功能是中枢神经系统复杂整合过程的高级表现，其中视觉分析器是信息输入的最重要途径之一。眼动系统在评估周围空间时通过同步视觉轴线获取最清晰的图像。眼睛对物体元素的注视顺序和持续时间在一定程度上受到思维过程的影响，该过程决定了通过整合传入信息对所获得数据的分析和理解。该系统的功能障碍可能在认知功能障碍的早期阶段出现，反映了大脑中的解整合过程。因此，解整合标志物可能是神经系统疾病进展中认知障碍的重要预测指标。

**研究目的。**开发一种评估正常及神经系统各种疾病患者眼位系统状态的方法。

**材料和方法。**我们设计了一个实验，通过带有音频和文本提示的视觉刺激序列呈现给受试者，并在限定时间内按特定顺序显示，以帮助受试者完成指定的认知任务。使用Pupil Invisible眼动追踪系统实时记录眼动，该系统包含两个200 Hz的集成红外摄像头。通过分析眼动参数（注视次数、持续时间及坐标轴位置）的数字特征生成并分析所谓的“热图”。

**结果。**为了提高获得的热图的量化评估能力，我们开发了一种量化评估方法。该方法可以开始收集数据，以识别健康人和认知障碍患者在完成认知任务时的典型解整合眼动模式，从而促进该方法在临床实践中的应用。

**关键词：**眼动追踪；生物标志物；眼动；解整合过程；痴呆；认知障碍；热图。

## To cite this article

Naumov KM, Chapliev IU, Litvinenko IV, Tsygan NV, Lobzin VYu, Ryabtsev AV. 用于诊断脑整合功能状态的视线跟踪（眼动追踪）评估系统. *Russian Military Medical Academy Reports*. 2024;43(4):411–418. DOI: <https://doi.org/10.17816/rmmar636667>

Received: 02.10.2024

Accepted: 19.10.2024

Published: 15.11.2024

## АКТУАЛЬНОСТЬ

В настоящее время все чаще звучат призывы к формированию здорового образа жизни, которые находят отклик среди молодежи. Однако не следует забывать о том, что одной из наиболее многочисленных групп населения являются люди пожилого и старческого возраста. Для них вопрос формирования условий, позволяющих продлить физическое и когнитивное здоровье, представляется не менее актуальным. С середины XX в. благодаря научным открытиям, достижениям медицины, а также успехам в социальной и экономической сферах большинства стран доля людей старше 65 лет неуклонно растет. Это сопровождается увеличением числа возрастзависимых заболеваний, включая в том числе и связанные с нейродегенеративными процессами, такие как болезнь Альцгеймера и другие формы деменции.

Процесс старения связан с повышенным риском развития нейродегенеративных заболеваний, так как чаще всего они сопровождаются развитием когнитивных нарушений. Особое внимание в настоящее время уделяется поиску предикторов и биомаркеров, которые бы свидетельствовали о начале их развития, поскольку предполагается, что раннее выявление признаков заболеваний позволит более эффективно проводить их профилактику и лечение. Таким образом, одними из главных задач здравоохранения становятся профилактика, ранняя диагностика и лечение возрастзависимых заболеваний. Важной целью в данном направлении является развитие концепции «здорового старения», которую Всемирная организация здравоохранения (ВОЗ) определяет как процесс развития и поддержания функциональных возможностей, необходимых для активной и полноценной жизни в пожилом возрасте [1].

Согласно данным ВОЗ, в мире насчитывается около 50 млн человек, страдающих деменцией, большинство из которых — пациенты с болезнью Альцгеймера [2]. Развивающиеся нарушения когнитивных функций у этих пациентов существенно ухудшают качество их жизни и увеличивают расходы как родственников, так и государства на оказываемую таким людям помощь, медицинскую и социальную. Существующие методы диагностики, которые позволяют выявлять развитие данных состояний, не обладают необходимой чувствительностью на ранних стадиях развивающегося патологического процесса, а также требуют участия высококвалифицированных специалистов. Активно используемые методы нейровизуализации, такие как магнитно-резонансная и позитронно-эмиссионная томография и пр., не обладают в настоящий момент высокой чувствительностью на ранних стадиях, являются дорогостоящими и недоступными для массового применения. Из вышесказанного становится ясно, что заболевание чаще всего обнаруживается на стадии выраженных клинических проявлений родственниками пациента, то есть в тот момент, когда патологический

процесс уже давно активно прогрессирует. Вследствие этого назначаемое лечение носит симптоматический характер и не позволяет воздействовать на ни одну из причин заболевания.

Таким образом, для обеспечения концепции здорового старения существует потребность в разработке таких методов исследования, которые позволяли бы диагностировать предикторы и биомаркеры на самых ранних стадиях заболеваний, приводящих к развитию когнитивных нарушений. В данном контексте мы предлагаем обратить внимание на исследование движений глаз и самой зрительной функции при выполнении когнитивных задач как потенциального биомаркера ранних когнитивных нарушений. Зрение — это основной источник получения информации об окружающем мире, на основании которого человек идентифицирует окружающее его пространство, осуществляет взаимодействие с ним и оценивает результаты этого взаимодействия. Во многом это обеспечивается зрительной системой, принимающей участие в сложных интегративных процессах сенсорно-биологической конвергенции в процессе гнозиса с участием сложно организованного вспомогательного аппарата органа зрения, осуществляющего настройку нашей оптической системы на объект нашего внимания в текущий момент. Глаза человека произвольно и непроизвольно фиксируют «узловые» элементы объектов, несущие в себе принципиальные сведения о них. Чем больше характеристик содержат в себе эти элементы, тем дольше на них задерживается взгляд. В соответствии с задачами, стоящими перед наблюдателем, соответственно изменяется и распределение между точками фиксации на объекте, поскольку различные области объекта содержат разную информацию о нем. Последовательность и продолжительность фиксаций на элементах объекта определяются процессом мышления, который определяет усвоение получаемых сведений. Через данные процессы происходит в том числе и реализация когнитивных функций, и это позволяет предполагать, что по мере их ухудшения вследствие развития различных по этиологии дезинтеграционных процессов будут нарушаться сложные механизмы обеспечения направления взгляда. Возможности оценки движений глаз привлекали внимание исследователей достаточно давно, и классиком в этой области является А.Л. Ярбус, чей труд «Роль движений глаз в процессе зрения» многократно переиздавался [3].

В настоящее время существуют различные методы измерения движения глаз, например такие, как электроокулография, нейрофизиологический и др. Наибольшую популярность приобретает оптический метод или видеоокулография. Принцип его работы заключается в комбинации использования пучков инфракрасного света, которые формируют корнеальное отражение, воспринимаемое оптическим сенсором, и видеокамеры, захватывающей изображение глаз. В результате полученные данные с помощью различных алгоритмов преобразуются в числовые

значения, на основании которых уже и происходит оценка движений глаз.

Оптические методы широко используются для отслеживания взгляда и пользуются популярностью благодаря своей неинвазивности и доступности. Системы отслеживания глаз измеряют положение глазных яблок, их движения и размер зрачков для выявления зон, к которым человек проявляет особый интерес в определенное время, — так называемые точки фиксации. Это области, в которых взгляд пользователя перестает совершать активные движения, задерживаясь достаточно долго, чтобы он мог обработать полученную информацию. Движение глаз между точками фиксации называются саккадами, то есть скачками. И хотя во время этих скачков от одной точки фиксации к другой человек не воспринимает визуальную информацию, визуализация саккад показывает путь, который глаза проходят между фиксациями.

В настоящее время в физиологии зрения выделяют достаточно большое количество характеристик, которые могут быть инструментально измерены: саккады, моргание, вергенция, прослеживание, вестибулоокулярный рефлекс, оптокинетическая и зрачковые реакции [4]. Однако оценка большого количества динамически изменяющихся параметров требует сложных методов статистической обработки и затруднена в применении практической медициной. В имеющихся работах чаще всего оценивается ограниченное количество показателей, которые могут быть измерены количественно и опосредованно посредством визуализации так называемой тепловой карты.

С помощью ай-трекинга мы можем оценить эффективность работы мозга, которая находится в непосредственной связи с когнитивными функциями и реализует свою афферентную составляющую через зрительный анализатор. Он имеет в своем составе две сложные системы — магноцеллюлярную и парвоцеллюлярную, которые работают параллельно и позволяют обрабатывать различные аспекты визуальной информации, а также осуществлять рефлекторные (координатные) функции.

Принято считать, что вначале информация попадает в первичную зрительную (сенсорную) кору, а уже отсюда — в ассоциативные центры, которые отправляют стимулы, возбуждающие моторные и премоторные области коры, формирующие осознанное движение глаз. Зрительная система имеет множество двухсторонних связей с экстрапирамидной системой, особенно с базальными ганглиями. Если функционирование этих контуров не нарушено, то происходит стабильное функционирование синапсов на разных уровнях, тем самым обеспечивая баланс между возбуждающими и тормозящими стимулами. Однако при различных патологиях, приводящих к расстройству функционирования этих взаимосвязей, нарушается сглаженная настройка, которая влияет на функционирование головного мозга и сказывается на конечных результатах его деятельности, в том числе на зрительном восприятии и контроле глазодвигательной системы.

В основе нашей работы лежит предположение, что формирующиеся когнитивные нарушения у пациентов с различными заболеваниями центральной нервной системы найдут отражение в изменении характеристик движений глаз при выполнении когнитивных задач, связанных с визуальным восприятием информации.

*Цель исследования* — разработка методик оценки состояния системы положения глаз у пациентов с начальными когнитивными дисфункциями.

## МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В процессе работы мы использовали аппарат eye-tracker — Pupil Invisible [5]. Данная система содержит в своей конструкции оправу с двумя интегрированными инфракрасными камерами, используемыми для отслеживания глаз с разрешением 192 × 192 пикселя и частотой 200 Гц, с помощью чего производится фиксация движений глаз в реальном времени. Обработка полученной информации реализуется с помощью программного обеспечения Pupil Capture. В результате мы получаем цифровые характеристики параметров движений глаз: количество фиксаций, их длительность и положение на координатной оси. На основании этих данных для визуализации полученных результатов в последующей обработке составляется так называемая тепловая карта, которая позволяет выделить основные зоны внимания (рис. 1).

Одной из проблем на начальном этапе исследования явилось то, что в настоящее время отсутствуют программы, которые позволяют количественно оценить характеристики полученной тепловой карты. Для решения данной задачи нами была разработана методика объективизации полученных результатов тепловых карт на базе Python [6].

## ДИЗАЙН ИССЛЕДОВАНИЯ

На начальном этапе работы нами было обследовано 18 условно здоровых лиц, из них 10 мужчин и 8 женщин. Средний возраст мужчин составлял 57 лет, женщин — 61 год. Перед началом исследования все пациенты проходили оценку когнитивных функций с помощью батареи тестов: MMSE (Mini-Mental State Examination), модифицированный вариант Mini-Cog и тест «Рисование часов» по стандартной методике [7]. Средние результаты для обеих групп получились следующие: MMSE — 28, модифицированный Mini-Cog — 9,5, тест «Рисование часов» — 8,6.

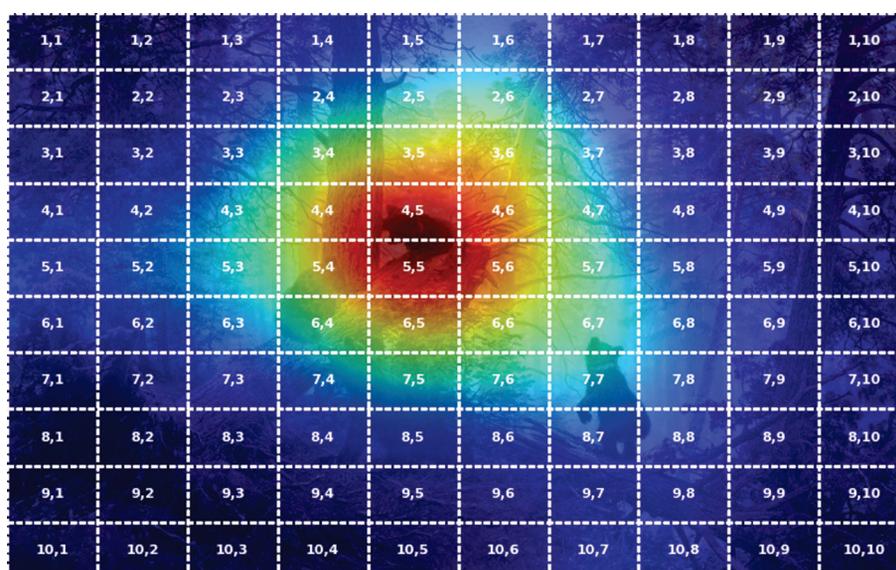
Специально для данного оборудования нами разработан эксперимент с использованием программы PsychoPy [8]. Данный инструмент позволил нам создать последовательность визуальных стимулов с ауди- и текстовым сопровождением, которые предъявлялись с определенной последовательностью и за ограниченное время.

Эксперимент состоял из двух частей, в каждой из которых предъявлялись одни и те же три изображения



**Рис. 1.** Тепловая карта изображения при выполнении пациентом когнитивной задачи

**Fig. 1.** Heat map of an image while a patient was performing a cognitive task



**Рис. 2.** Обработанная тепловая карта для получения количественной оценки характеристик движения глаз

**Fig. 2.** Processed heat map to quantify eye movement characteristics

в качестве основных стимулов. Главное отличие между частями заключалось в задачах, которые ставились перед испытуемыми. В первой — стимулы предъявлялись в течение 10 с с целью внимательно их осмотреть и постараться запомнить все изображенные на них элементы. Во второй же части от участников требовалось как можно быстрее найти на предъявляемом изображении конкретный элемент, зафиксировать на нем взгляд и сообщить о выполненном действии врачу. Таким образом, мы смогли выявить паттерн движений глаз, которые смогли оценить при помощи ай-трекинга при выполнении когнитивной задачи.

## РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Основной проблемой для широкого применения ай-трекинга в клинической практике является сложность математической обработки получаемых результатов

(в основном это координаты точки фиксации взгляда, количество и их длительность в ключевых зонах изображений). Для упрощения анализа получаемых данных нами был выбран метод качественной оценки анализа изображений с расчетом площади анализируемой части изображения по отношению к общей площади предъявляемого изображения при выполнении поставленной когнитивной задачи. С данной целью на изображение накладывается маска, которая делит его на 100 секторов, каждый со своими уникальными координатами. В последующем при анализе производится оценка плотности засветки каждого сектора, что позволяет оценить распределение внимания на отдельных частях изображения и также используется для вычисления площади «теплого пятна» (рис. 2).

В результате обработки получаемых данных о движениях глаз получают данные, позволяющие оценить эффективность оценки обследуемым предъявляемого

**Таблица.** Процент покрытия тепловой карты относительно площади сектора и всего изображения

**Table.** Percentage of coverage of the heat map relative to the area of the sector and the entire image

Номер сектора	Покрытие сектора, %	Процент от всей площади изображения, %
4,5	99,2	0,9
5,5	100	1
6,5	47	0,47

изображения в зависимости от предъявляемой ему когнитивной задачи на основании оценки «центра тяжести», «плотности» количества фиксации и их продолжительности относительно площади предъявляемого изображения (таблица).

Разработанная методика позволяет выявлять паттерны движений глаз у обследуемых лиц в процессе выполнения ими когнитивных задач в целях дальнейшего поиска патологических изменений у пациентов с когнитивными нарушениями различной выраженности.

Так, в таблице представлен пример оценки тепловой карты: номер сектора, плотность его покрытия и плотность покрытия части сектора относительно всей площади изображения, что позволяет в процентном соотношении соотнести плотность и длительность фиксации взгляда на отдельных частях изображения.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диагностика когнитивных нарушений в настоящее время представляет проблему для практической медицины, требующую разработки новых простых и доступных методов, одним из которых может быть метод оценки отслеживания линий взгляда (ай-трекинг).

В настоящее время широкому применению метода ай-трекинга в процессе исследования препятствуют сложности обработки получаемых данных, поскольку они представляют собой большой массив информации, требующий сложной математической обработки, отличающийся в зависимости от поставленных задач. В настоящий момент удобные инструменты разработаны в интересах маркетинга и не позволяют производить количественную оценку. Отсутствуют стандарты оценки выявляемых отклонений.

В рамках проводимой нами работы разработана перспективная методика оценки интегративных показателей когнитивных функций, которая может быть широко использована в клинической практике с целью выявления когнитивных нарушений на ранних дезинтегративных этапах развития заболеваний нервной системы, астенических состояний, переутомления у операторов различного профиля. На втором этапе работы нами планируется выявление характерных паттернов изменений движения глаз при выполнении когнитивных задач у здоровых лиц и у пациентов, имеющих легкие когнитивные нарушения вследствие различных заболеваний нервной системы.

## ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ИНФОРМАЦИЯ

**Вклад авторов.** Все авторы внесли существенный вклад в разработку концепции, проведение исследования и подготовку статьи, прочли и одобрили финальную версию перед публикацией. Личный вклад каждого автора: К.М. Наумов — концепция и дизайн исследования, разработка стимульного материала, обзор литературы, обработка материалов, написание и редактирование текста; И.Ю. Чаплиев — дизайн исследования, разработка стимульного материала, обзор литературы, сбор и обработка материалов, написание текста; И.В. Литвиненко — концепция и дизайн исследования, внесение окончательной правки; Н.В. Цыган — концепция и дизайн исследования, внесение окончательной правки; В.Ю. Лобзин — концепция и дизайн исследования, разработка стимульного материала, анализ полученных данных; П.П. Васильев — дизайн исследования, сбор и обработка материалов, анализ полученных данных; А.В. Рябцев — сбор и обработка материалов, хроматографическое исследование, анализ полученных данных, обзор литературы.

**Источник финансирования.** Поисково-аналитическая работа проведена на личные средства авторского коллектива.

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

**Этическая экспертиза.** Все исследования проведены соблюдением требований биомедицины этики (протокол № 292 одобрен решением Регионального этического комитета медико-биологических исследований при ВМедА им. С.М. Кирова от 25.06.2024 г.).

## ADDITIONAL INFO

**Authors' contribution.** All authors made a substantial contribution to the conception of the study, acquisition, analysis, interpretation of data for the work, drafting and revising the article, final approval of the version to be published and agree to be accountable for all aspects of the study. Personal contribution of each author: K.M. Naumov — concept and design of research, development of incentive material, literature review, processing of materials, writing and editing of text; I.Yu. Chapliev — design of research, development of incentive material, literature review, collection and processing of materials, writing of text; I.V. Litvinenko — concept and design of research, making final edits; N.V. Tsygan — concept and design of the study, making final edits; V.Yu. Lobzin — concept and design of the study, development of incentive material, analysis of the obtained data;

P.P. Vasiliev — design of the study, collection and processing of materials, analysis of the obtained data; A.V. Ryabtsev — collection and processing of materials, chromatographic study, analysis of the obtained data, a review of the literature.

**Funding source.** The study was not supported by any external sources of funding.

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

**Consent for publication.** Written consent was obtained from the patients for publication of relevant medical information within the manuscript.

**Ethical expertise.** All studies were conducted in compliance with the requirements of biomedical ethics (Protocol N292 was approved by the decision of the Regional Ethical Committee for Medical and Biological Research at the S.M. Kirov Military Medical Academy dated 06/25/2024).

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. World Health Organization [Internet]. Decade of Healthy Ageing: Plan of Action 2021–2030. Geneva: WHO. 2020. Режим доступа: <https://www.who.int/initiatives/decade-of-healthy-ageing> Дата обращения: 03.09.24.
2. World Health Organization. (2023). Dementia. Режим доступа: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia> Дата обращения: 03.09.24.
3. Ярбус А.Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М.: Наука, 1965. 166 с. 4. Военная психиатрия в XXI веке: современные проблемы и перспективы развития / Под ред. Е.В. Крюкова и В.К. Шамрея. СПб.: СпецЛит, 2022. 367 с.
4. Tonsen M., Baumann C.K., Dierkes K. A High-Level Description and Performance Evaluation of Pupil Invisible // arXiv. 2020. doi: 10.48550/arXiv.2009.00508
5. Van Rossum G., Drake F.L. Python 3 Reference Manual. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.
6. Литвиненко И.В., Емелин А.Ю., Лобзин В.Ю., Колмакова К.А. Оценка когнитивных функций в клинической практике: диагностические тесты и шкалы: Учебное пособие. СПб., 2021. 144 с.
7. Peirce J.W., Gray J.R., Simpson S., et al. PsychoPy2: Experiments in behavior made easy // Behavior Research Methods. 2019. Vol. 51, N 1. P. 195–203. doi: 10.3758/13428-018-01193-y

## REFERENCES

1. World Health Organization [Internet]. Decade of Healthy Ageing: Plan of Action 2021–2030. Geneva: WHO. 2020. Available at: <https://www.who.int/initiatives/decade-of-healthy-ageing>
2. World Health Organization. (2023). Dementia. Available at: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/dementia>
3. Yarbus A.L. *Eye movements and vision*. Moscow: Nauka; 1965. 166 p. (In Russ.)
4. Kryukov E.V., Shamrey V.K., eds. Military psychiatry in the XXI century: modern problems and development prospects. Saint Petersburg: SpetsLit; 2022. 367 p. (In Russ.)
5. Tonsen M, Baumann CK, Dierkes K. A High-Level Description and Performance Evaluation of Pupil Invisible. *ArXiv*. 2020. doi: 10.48550/arXiv.2009.00508
6. Van Rossum G, Drake FL. *Python 3 Reference Manual*. Scotts Valley, CA: CreateSpace, 2009.
7. Litvinenko IV, Emelin AYU, Lobzin VYu, Kolmakova KA. *Cognitive Function Assessment in Clinical Practice: Diagnostic Tests and Scales: A Study Guide*. Saint Petersburg; 2021. 144 p. (In Russ.)
8. Peirce JW, Gray JR, Simpson S, et al. PsychoPy2: Experiments in behavior made easy. *Behavior Research Methods*. 2019;51(1): 195–203. doi: 10.3758/13428-018-01193-y

## ОБ АВТОРАХ

\***Константин Михайлович Наумов**, канд. мед. наук, доцент; адрес: Россия, 194044, г. Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, д. 6; ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007; ResearcherID: I-8567-2016; Scopus Author ID: 8390739200; e-mail: vmeda-nio@mil.ru

**Илья Юрьевич Чаплиев**, eLibrary SPIN: 9527-0719; ORCID: 0009-0003-2335-9825

**Игорь Вячеславович Литвиненко**, докт. мед. наук, профессор; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792; ResearcherID: F-9120-2013; Scopus Author ID: 35734354000

## AUTHORS' INFO

\***Konstantin M. Naumov**, MD, Cand. Sci. (Medicine), Associate Professor; address: 6, Akademika Lebedeva str., Saint Petersburg, 194044, Russia; ORCID: 0000-0001-7039-2423; eLibrary SPIN: 3996-2007; ResearcherID: I-8567-2016; Scopus Author ID: 8390739200; e-mail: vmeda-nio@mil.ru

**Il'ya Yu. Chapliev**, eLibrary SPIN: 9527-0719; ORCID: 0009-0003-2335-9825

**Igor' V. Litvinenko**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor; ORCID: 0000-0001-8988-3011; eLibrary SPIN: 6112-2792; ResearcherID: F-9120-2013; Scopus Author ID: 35734354000

\* Автор, ответственный за переписку / Corresponding author

## ОБ АВТОРАХ

**Николай Васильевич Цыган**, докт. мед. наук, профессор;  
ORCID: 0000-0002-5881-2242; eLibrary SPIN: 1006-2845;  
Scopus Author ID: 37066611200; ResearcherID: H-9132-2016

**Владимир Юрьевич Лобзин**, докт. мед. наук, профессор;  
ORCID: 0000-0003-3109-8795; Scopus Author ID: 57203881632;  
eLibrary SPIN: 7779-3569; ResearcherID: I-4819-2016

**Александр Владимирович Рябцев**, канд. мед. наук;  
ORCID: 0000-0002-3832-2780; eLibrary SPIN: 9915-4960;  
ResearcherID: AAD-3948-2019; Scopus Author ID: 57202361039

## AUTHORS' INFO

**Nikolay V. Tsygan**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;  
ORCID: 0000-0002-5881-2242; eLibrary SPIN: 1006-2845;  
Scopus Author ID: 37066611200; ResearcherID: H-9132-2016

**Vladimir Yu. Lobzin**, MD, Dr. Sci. (Medicine), Professor;  
ORCID: 0000-0003-3109-8795; Scopus Author ID: 57203881632;  
eLibrary SPIN: 7779-3569; ResearcherID: I-4819-2016

**Aleksandr V. Ryabtsev**, MD, Cand. Sci. (Medicine);  
ORCID: 0000-0002-3832-2780; eLibrary SPIN: 9915-4960,  
ResearcherID: AAD-3948-2019; Scopus Author ID: 57202361039