

УДК 617.761.009.1-073.96

ПРИМЕНЕНИЕ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ МЕТОДОВ АНАЛИЗА ВИДЕООКУЛОГРАФИЧЕСКИХ ДАННЫХ ДЛЯ ОЦЕНКИ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ЧЕЛОВЕКА

© 2017 г. Д. В. Захарченко, *В. И. Торшин, *Д. С. Свешников, *Б. Б. Радыш,
*Ю. П. Старшинов, *Е. Б. Якунина, *Л. С. Шаталова

Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН

*Российский университет дружбы народов, г. Москва

Цель. Дать описание двух оригинальных (авторских) алгоритмов анализа видеоокулографических данных и произвести анализ эффективности этих алгоритмов для оценки текущего функционального состояния человека. Один из алгоритмов предназначен для оценки кривизны макросаккад, другой – для оценки плавности прослеживания цели взглядом. Оба алгоритма основаны на геометрических методах обработки видеоокулографических данных. **Методы.** Оценка эффективности обоих алгоритмов производится на модели алкогольного опьянения с применением средней дозы алкоголя (0,8 г 96 % алкоголя на 1 кг веса тела). Для моделирования саккадических движений и плавного прослеживания разработаны специальные психомоторные тесты, с помощью которых оценивались два ключевых показателя: кривизна макросаккад и плавность прослеживания цели взглядом. **Результаты.** Показано, что нарушение операторской деятельности, как правило, сопровождается нарушением плавности окуломоторного слежения. При этом значимого изменения кривизны макросаккад зафиксировано не было. **Выводы.** Показатели плавности окуломоторного слежения оказались достаточно информативными для оценки функционального состояния человека в процессе деятельности и могут использоваться для практической диагностики. Показатели кривизны макросаккад оказались недостаточно чувствительными к воздействию негативных внешних факторов и для практической диагностики текущего состояния человека непригодны.

Ключевые слова: видеоокулография, траектория взгляда, саккада, фиксация, алкоголь, функциональные состояния, зрительное восприятие, плавное прослеживание

USE OF GEOMETRIC METHODS OF ANALYSIS OF VIDEO-OCULOGRAPHIC DATA TO ASSESS THE FUNCTIONAL CONDITION OF A PERSON

D. V. Zakharchenko, *V. I. Torshin, *D. S. Sveshnikov, *B. B. Radysh,
*Y. P. Starshinov, *E. B. Yakunina, *L. S. Shatalova

Institute of Higher Nervous Activity and Neurophysiology Russian Academy of Sciences, Moscow

*Russian Peoples' Friendship University, Moscow, Russia

Objective. In article describes two original algorithms for the analysis of video-oculographic data and analyses the effectiveness of these algorithms to assess the current functional condition of a person. One of the algorithms is designed for estimating macrosaccades curvature and the other - to evaluate the smoothness of target tracking. Both algorithms are based on geometric methods of videooculographic data processing. **Methods.** The assess of the algorithms effectiveness was realized on the model of alcohol intoxication (used the medium doses of alcohol - 0.8 g of 96 % alcohol per 1 kg of body weight). For the simulation of saccadic movements and smooth tracking we developed two psychomotor tests, which were evaluated by two key indicators: the curvature of microsaccade and smooth target tracking. **Results.** The results showed that the operator's activity disorders were usually accompanied by disturbance of the smooth oculomotor tracking. However the significant changes in the curvature of macrosaccades were not observed. **Conclusions.** Indicators of the smooth oculomotor tracking turned out to be quite informative for assessing the functional state of a person during the activity and can be used for practical diagnosis. Indicators of curvature of microsaccade were not sufficiently sensitive to the negative external factors and can't be used for practical diagnosis of the current condition of the person.

Keywords: videooculography, the trajectory of gaze, saccade, fixation, alcohol, functional status, visual perception, smooth tracking

Библиографическая ссылка:

Захарченко Д. В., Торшин В. И., Свешников Д. С., Радыш Б. Б., Старшинов Ю. П., Якунина Е. Б., Шаталова Л. С. Применение геометрических методов анализа видеоокулографических данных для оценки функционального состояния человека // Экология человека. 2017. № 12. С. 59–64.

Zakharchenko D. V., Torshin V. I., Sveshnikov D. S., Radysh B. B., Starshinov Y. P., Yakunina E. B., Shatalova L. S. Use of Geometric Methods of Analysis of Video-Oculographic Data to Assess the Functional Condition of a Person. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2017, 12, pp. 59-64.

Изучение динамики функционального состояния человека ведётся главным образом в целях разработки технологий аппаратного мониторинга здоровья и работоспособности в режиме реального времени [1, 2, 4]. Микродвижения глаз являются весьма информативным источником данных о

функциональном состоянии человека, а высокая скорость окуломоторных реакций делает их изучение чрезвычайно перспективным с точки зрения мониторинга нарушений работоспособности, поскольку основанные на окуломоторике методы диагностики состояний будут иметь более высокую скорость

срабатывания, нежели методы, основанные на «медленных» физиологических функциях (таких как ритм дыхания, частота сердечных сокращений, вариабельность сердечного ритма, изменения электрокожного сопротивления и т. д.). С появлением видеоокулографии спектр доступных исследователям методов регистрации и обработки физиологических данных значительно расширился [7, 9, 16]. В настоящий момент исследователи активно ведут поиск окулографических маркеров снижения работоспособности и концентрации внимания. В качестве одного из таких гипотетических маркеров рассматривается изменение геометрических параметров макросаккад [8]. Принято считать, что при снижении концентрации внимания макросаккады становятся менее прямолинейными и в большинстве случаев представляют собой дугу, выгнутую в сторону побочного стимула (дистрактора) [11, 15, 18]. Другим перспективным маркером нарушения работоспособности принято считать снижение точности и плавности прослеживания цели взглядом (так называемый метод плавного прослеживания — *smooth pursuit*). На базе этого метода разработаны методики диагностики шизофрении [5, 13], маниакально-депрессивного синдрома [14], некоторых психозов [10], эпилепсии [6] и болезни Паркинсона [14, 17]. Главным недостатком данного метода является низкая эргономичность (голову испытуемого приходится закреплять в офтальмологическом штативе), а также неоднозначность понятия «точность прослеживания» (в большинстве соответствующих работ речь идёт не столько о точности, сколько о плавности прослеживания).

Задача нашего исследования состояла в том, чтобы оценить пригодность геометрического анализа траекторий взгляда для диагностики изменения

функционального состояния человека. Для этого мы провели сравнение кривизны макросаккад и плавности прослеживания цели взглядом у испытуемых, пребывающих в двух разных состояниях: нормальном (адекватном) и заведомо ненормальном («абнормальном»). Для формирования «абнормального» состояния испытуемого использовалась модель алкогольного опьянения с применением средних доз алкоголя (0,8 г 96 % алкоголя на 1 кг веса тела).

Методы

Тип исследования — экспериментальное. В исследовании приняли участие 22 физически здоровых испытуемых мужского пола. Для получения видеоокулографических данных использовались два окуломоторных теста: «Статика» (позволяет получить до 120 макросаккад в каждом из исследуемых состояний) и «Динамика» (позволяет получить траекторию плавного прослеживания цели на протяжении 15 минут в каждом из состояний). Подробное описание тестов и методики тестирования см. в статье [3].

Регистрация видеоокулографических данных осуществлялась при помощи видеоокулографа Eyegaze Analyzing System (производитель LC Technologies, США) с программным обеспечением NYAN 2 ®. Регистрация производилась в бинокулярном режиме с частотой опроса 120 Гц; расстояние до экрана — 60 см, экранное разрешение — 1 280×1 024 пиксела, размеры пиксела — 0,265 мм (соответствует угловому смещению на 0,0246°). Фиксация головы испытуемого производилась сзади с помощью подголовника кресла.

Для создания экспериментальной модели «абнормального» состояния использовалась модель алкогольного опьянения. Доза алкоголя, принимаемая испытуемым, составляла 0,8 г 96 % алкоголя на

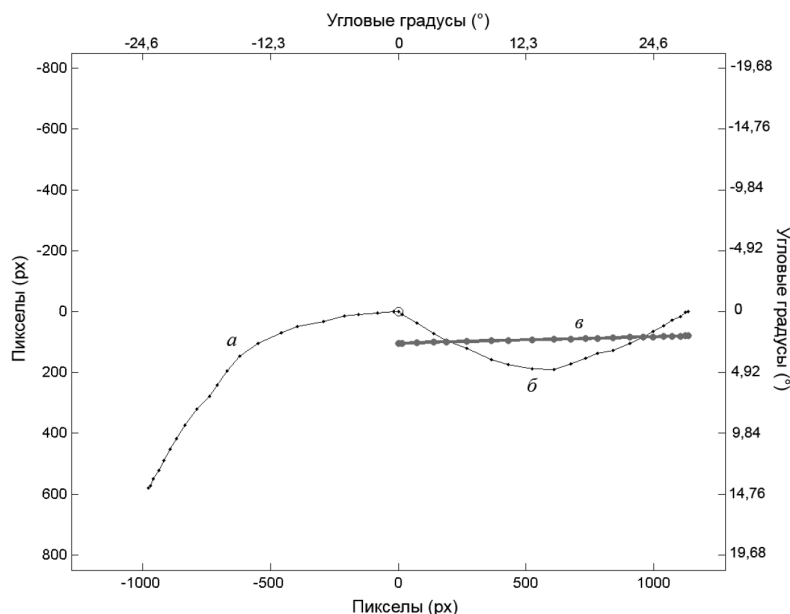


Рис. 1. Оценка кривизны макросаккады: а — макросаккада с началом в точке начала координат, б — поворот макросаккады (выполняется таким образом, чтобы последняя точка траектории лежала на оси X), в — регрессионная прямая, наложенная на преобразованную траекторию

1 кг веса тела, что соответствует применяемому в литературе понятию «средняя доза алкоголя».

Для оценки кривизны макросаккад применялся следующий алгоритм.

1. Начало макросаккады смещается в точку начала координат (0,0) с помощью метода параллельного переноса. Для этого необходимо из координат всех узловых точек макросаккады вычесть координаты точки начала макросаккады (рис. 1а).

2. Затем выполняется поворот макросаккады вокруг начала координат таким образом, чтобы последняя точка макросаккады лежала на оси X и угол между началом и концом макросаккады составлял 0° (рис. 1б).

3. На получившуюся траекторию накладывается регрессионная прямая.

4. Вычисляется расстояние от узловых точек траектории макросаккады до узловых точек регрессионной прямой и на основе этих данных вычисляются статистические показатели кривизны для каждой макросаккады. Показателем кривизны макросаккады мы считали нормированное отклонение от регрессионной прямой (отношение суммы отклонений всех узловых точек к расстоянию от первой до последней точки макросаккады).

5. Производится статистическое сравнение кривизны макросаккад до и после приёма алкоголя с помощью непараметрических методов (тест связанных пар Вилкоксона и тест знаков).

Для оценки плавности прослеживания цели взглядом использовался следующий алгоритм.

1. С помощью цифрового фильтра удаляется высокочастотная составляющая траектории взгляда (свыше 0,2 Гц) и выполняется подгонка по фазе. Получаем сглаженную траекторию взгляда — аппроксимирующую кривую (рис. 2).

2. Вычисляется расстояние между каждой точкой реальной (несглаженной) траектории взгляда и соответствующей ей точкой сглаженной траектории. Таким образом, мы удаляем из данных низкочастотный тренд (который не влияет на плавность прослеживания) и получаем последовательность отклонений для каждой точки траектории взгляда от аппроксимирующей кривой.

3. Полученная последовательность отклонений используется для статистического анализа и построения гистограмм (рис. 3).

4. Вычисляем амплитуду моды распределения отклонений до и после приёма алкоголя и делим на количество точек траектории. Таким образом, мы получаем нормированную амплитуду моды распределения до и после приёма алкоголя. Нормированная амплитуда моды является показателем плавности прослеживания (см. рис. 3). Затем сравниваем нормированную амплитуду моды (показатель плавности прослеживания) до и после приёма алкоголя для каждого испытуемого.

Суть данного алгоритма состоит в том, что при снижении плавности прослеживания среднее отклонение от аппроксимирующей кривой должно увеличиться (см. рис. 2). Данные отличия легко увидеть,



Рис. 2. Аппроксимирующая кривая до и после приёма алкоголя. Серая траектория — траектория взгляда, чёрная — аппроксимирующая кривая. А — до приёма алкоголя, Б — после приёма алкоголя

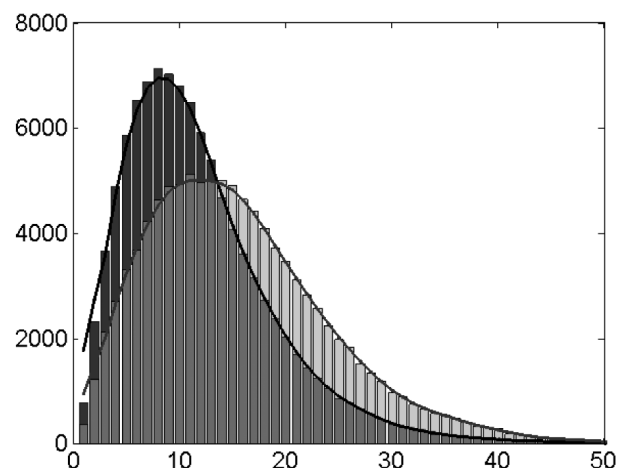


Рис. 3. Изменение отклонений реальной траектории от аппроксимирующей кривой под действием алкоголя. Тёмно-серая гистограмма — до приёма алкоголя, светло-серая гистограмма — после приёма алкоголя

сравнивая гистограммы отклонений до и после приёма алкоголя (см. рис. 3).

Результаты

На рис. 4 представлены результаты сравнения нормированной амплитуды моды (является показателем плавности прослеживания в тесте «Динамика») для теста связанных пар Вилкоксона. После приёма алкоголя показатель плавности прослеживания цели (нормированная амплитуда моды распределения отклонений) с высокой статистической значимостью уменьшается ($p = 0,003$). Аналогичные результаты даёт тест знаков ($p = 0,001$).

На рис. 5 представлены типичные формы распределения отклонений точек траектории от аппроксимирующей кривой в тесте «Динамика». Типичным для выборки является вариант, при котором после принятия алкоголя показатель плавности прослеживания (амплитуда моды распределения) резко снижается, а само распределение несколько смещается в сторону больших значений (15 случаев из 22). Случаи, когда амплитуда моды (плавность прослеживания) не изменяется или увеличивается, составляют соответственно 3 и 4 из 22.

В таблице представлены результаты сравнения кривизны макросаккад в тесте «Статика» у всех испытуемых выборки до и после приёма алкоголя.

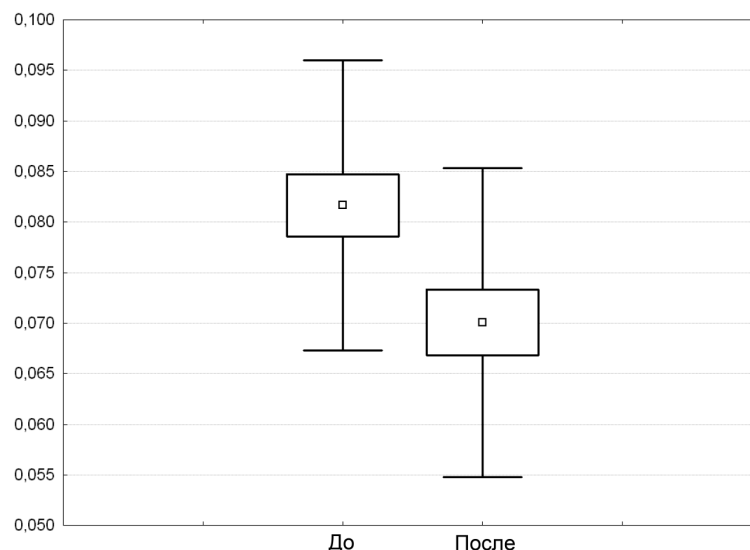


Рис. 4. Сравнение плавности прослеживания до и после приёма алкоголя в тесте «Статика». Тест связанных пар Вилкоксона, $p < 0,01$. Прямоугольник — стандартная ошибка, зоны погрешности — среднеквадратичное отклонение

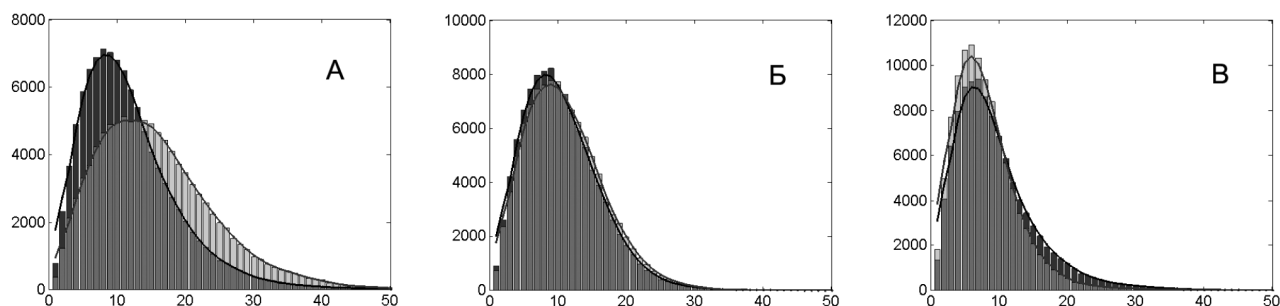


Рис. 5. Типичные формы распределения отклонений узловых точек реальной траектории от аппроксимирующей кривой. Тёмно-серая гистограмма — до приёма алкоголя, светло-серая гистограмма — после приёма алкоголя. А — 15 случаев, Б — 4 случая, В — 3 случая

Сравнение производилось с помощью теста знаков и теста связанных пар Вилкоксона. Оба статистических теста демонстрируют значимое ($p < 0,05$) увеличение кривизны макросаккад у 6 испытуемых из 22.

Изменение кривизны макросаккад реакции в тесте «Статика» до и после приёма алкоголя

Испытания	Значимость изменений (p)	
	Кривизна (тест знаков)	Кривизна (тест Вилкоксона)
1	0,6567	0,4060
2	0,1391	0,1959
3	0,0327	0,0913
4	1,0000	0,4464
5	0,5544	0,7621
6	0,8508	0,1634
7	0,8533	0,9685
8	0,0161	0,0012
9	0,0004	0,0000
10	0,8973	0,4752
11	0,5758	0,4664
12	0,0002	0,0000

Продолжение таблицы

Испытания	Значимость изменений (p)	
	Кривизна (тест знаков)	Кривизна (тест Вилкоксона)
13	0,0037	0,0012
14	0,0790	0,1820
15	0,9260	0,9013
16	0,5465	0,2871
17	0,0000	0,0000
18	1,0000	0,1322
19	0,1678	0,0211
20	1,0000	0,7398
21	0,7787	0,9493
22	0,7091	0,1654

Примечание. Значимые изменения выделены цветом заливки ($p < 0,05$).

Серая заливка — показатель статистически значимо увеличивается, белая — изменения незначимы.

Обсуждение результатов

Если оценивать изменения плавности прослеживания в целом по выборке, изменения имеют чрезвычайно высокую статистическую значимость. Данный факт

указывает на высокую чувствительность плавности окуломоторного прослеживания к изменению состояния испытуемого (в нашем случае — к воздействию алкоголя). Исходя из частоты такой реакции, мы можем считать её типичной. В то же время суммарное число нетипичных реакций (отсутствие изменений плавности слежения или увеличение плавности) также весьма значительно и составляет примерно треть всех случаев. Нетипичные реакции (отсутствие изменения плавности прослеживания) интерпретируются нами как случаи, в которых алкоголь не оказал воздействия, достаточного для изменения функционального состояния. Таким образом, мы можем считать изменение плавности окуломоторного слежения показателем, достаточно чувствительным для диагностики изменения функциональных состояний человека (как минимум — для диагностики алкогольного опьянения).

Изменения кривизны макросаккад, в свою очередь, наблюдается лишь в 6 случаях из 22 и, таким образом, не может интерпретироваться как эффективный маркер изменения функционального состояния (в нашем случае — алкогольного опьянения) и связанных с ним изменений параметров внимания.

Приведённые результаты позволяют считать показатели плавности окуломоторного слежения достаточно информативными с точки зрения оценки функционального состояния человека. Отсутствие необходимости жёстко фиксировать голову испытуемого в процессе исследования резко улучшает эргономику и делает разработанную нами модификацию теста пригодной к практическому применению — в том числе для длительных экспериментов в условиях, максимально приближённых к условиям реальной операторской деятельности. В то же время показатели кривизны макросаккад, к сожалению, оказались непригодными для диагностики функциональных состояний человека, поскольку отражают лишь общую тенденцию к снижению работоспособности и имеют недостаточную чувствительность к воздействию внешних негативных факторов.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (проект № 16-06-12025/17 — ОГОН «Разработка бесплатного программного обеспечения для массовых бюджетных видеоокулографических систем (айтрекеров) EyeTribe»).

Список литературы

1. Баевский Р. М., Иванов Г. Г., Гаврилушкин А. П. Анализ вариабельности сердечного ритма при использовании различных электрокардиографических систем (методические рекомендации) // Вестник аритмологии. 2002. № 24. С. 65–86.
2. Дерягина Л. Е., Цыганок Т. В., Рувинова Л. Г., Гудков А. Б. Психофизиологические свойства личности и особенности регуляции сердечного ритма под влиянием трудовой деятельности // Медицинская техника. 2001. № 3. С. 40–44.
3. Захарченко Д. В., Дорохов В. Б. Окулографические маркеры абнормальных состояний оператора на моделях плавного прослеживания цели и дискретного появления/

исчезновения стимула // Экспериментальная психология. 2016. Т. 9, № 1. С. 53–68.

4. Попова Н. В., Попов В. А., Гудков А. Б. Возможности тепловидения и вариабельность сердечного ритма при прогностической оценке функционального состояния сердечно-сосудистой системы // Экология человека. 2012. № 11. С. 33–37.

5. Avila M. T., Sherr J. D., Hong E., Myers C. S., Thaker G. K., others. Effects of nicotine on leading saccades during smooth pursuit eye movements in smokers and nonsmokers with schizophrenia // Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology. 2003. Vol. 28, N 12. P. 2184.

6. Bittencourt P. R., Gresty M. A., Richens A. Quantitative assessment of smooth-pursuit eye movements in healthy and epileptic subjects // Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry. 1980. Vol. 43, N 12. P. 1119.

7. Dombrowe I., Donk M., Wright H., Olivers C. N., Humphreys G. W. The contribution of stimulus-driven and goal-driven mechanisms to feature-based selection in patients with spatial attention deficits // Cognitive neuropsychology. 2012. Vol. 29, N 3. P. 249–274.

8. Erblisch J., Earleywine M. Distraction does not impair memory during intoxication: support for the attention-allocation model // Journal of Studies on Alcohol and Drugs. 1995. Vol. 56, N 4. P. 444.

9. Golomb J. D., L'Heureux Z. E., Kanwisher N. Feature-binding errors after eye movements and shifts of attention // Psychological science, 2014. Vol. 25, N 5. P. 1067–1078.

10. Holzman P. S., Levy D. L. Smooth pursuit eye movements and functional psychoses; a review // Schizophrenia Bulletin. 1977. Vol. 3, N 1. P. 15.

11. Kruijne W., Van der Stigchel S., Meeter M. A model of curved saccade trajectories: Spike rate adaptation in the brainstem as the cause of deviation away // Brain and cognition. 2014. Vol. 85. P. 259–270.

12. Lemos J., Eggenberger E. Saccadic intrusions: review and update // Current opinion in neurology. 2013. Vol. 26, N 1. P. 59.

13. Levy D. L., Sereno A. B., Gooding D. C., O'Driscoll G. A. Eye tracking dysfunction in schizophrenia: characterization and pathophysiology // Behavioral Neurobiology of Schizophrenia and Its Treatment. 2010. Vol. 4. P. 311.

14. Lipton R. B., Levin S., Holzman P. S. Horizontal and vertical pursuit eye movements, the oculocephalic reflex, and the functional psychoses // Psychiatry Research. 1980. Vol. 3, N 2. P. 193.

15. Madelain L., Harwood M. R., Herman J. P., Wallman J. Saccade adaptation is unhampered by distractors // Journal of vision. 2010. Vol. 10, N 12. P. 29.

16. McSorley E., McCloy R., Lyne C. The spatial impact of visual distractors on saccade latency // Vision research. 2012. Vol. 60. P. 61–72.

17. Nilsson M. H., Patel M., Rehnroos S., Magnusson M., Fransson P.-A., others. Subthalamic deep brain stimulation improves smooth pursuit and saccade performance in patients with Parkinson's disease // Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2013. Vol. 10, N 1. P. 33.

18. Song J.-H., McPeck R. M. Eye-hand coordination during target selection in a pop-out visual search // Journal of neurophysiology. 2009. Vol. 102, N 5. P. 2681–2692.

References

1. Baevskii R. M., Ivanov G. G., Gavrilushkin A. P. Analysis of heart rate variability using different electrocardiographic

systems (guidelines). *Vestnik aritmologii* [Bulletin of Arrhythmology]. 2002, 24, pp. 65-86. [in Russian]

2. Deryagina L. E., Tsyganok T. V., Ruvinova L. G., Gudkov A. B. Psychophysiological traits of personality and specific features of cardiac rhythm regulation during occupational activity. *Meditinskaya tekhnika* [Biomedical engineering]. 2001, 35 (3), pp. 166-170. [in Russian]

3. Zakharchenko D. V., Dorokhov V. B. Oculographic markers of abnormal states of an operator as studied using the models of smooth tracking of a target and discrete appearance/disappearance of a stimulus. *Eksperimental'naya psikhologiya* [Experimental Psychology (Russia)], 2016, 9 (1), pp. 53-68. [in Russian]

4. Popova N. V., Popov V. A., Gudkov A. B. Opportunities of thermography and heart rate variability in predictive valuation of cardiovascular system functional state. *Ekologiya cheloveka* [Human Ecology]. 2012, 11, pp. 33-37. [in Russian]

5. Avila M. T., Sherr J. D., Hong E., Myers C. S., Thaker G. K. Effects of nicotine on leading saccades during smooth pursuit eye movements in smokers and nonsmokers with schizophrenia. *Neuropsychopharmacology: official publication of the American College of Neuropsychopharmacology*. 2003, 28 (12), p. 2184.

6. Bittencourt P. R., Gresty M. A., Richens A. Quantitative assessment of smooth-pursuit eye movements in healthy and epileptic subjects. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*. 1980, 43 (12), p. 1119.

7. Dombrowe I., Donk M., Wright H., Olivers C. N., Humphreys G. W. The contribution of stimulus-driven and goal-driven mechanisms to feature-based selection in patients with spatial attention deficits. *Cognitive neuropsychology*, 2012, 29 (3), pp. 249-274.

8. Erblich J., Earleywine M. Distraction does not impair memory during intoxication: support for the attention-allocation model. *Journal of Studies on Alcohol and Drugs*. 1995, 56 (4), p. 444.

9. Golomb J. D., L'Heureux Z. E., Kanwisher N. Feature-binding errors after eye movements and shifts of attention. *Psychological science*. 2014, 25 (5), pp. 1067-1078.

10. Holzman P. S., Levy D. L. Smooth pursuit eye movements and functional psychoses; a review. *Schizophrenia Bulletin*. 1977, 3 (1), p. 15.

11. Kruijne W., Van der Stigchel S., Meeter M. A model of curved saccade trajectories: Spike rate adaptation in the brainstem as the cause of deviation away. *Brain and cognition*. 2014, 85, pp. 259-270.

12. Lemos J., Eggenberger E. Saccadic intrusions: review and update. *Current opinion in neurology*. 2013, 26 (1), p. 59.

13. Levy D. L., Sereno A. B., Gooding D. C., O'Driscoll G. A. Eye tracking dysfunction in schizophrenia: characterization and pathophysiology. *Behavioral Neurobiology of Schizophrenia and Its Treatment*. 2010, 4, p. 311.

14. Lipton R. B., Levin S., Holzman P. S. Horizontal and vertical pursuit eye movements, the oculocephalic reflex, and the functional psychoses. *Psychiatry Research*. 1980, 3 (2), p. 193.

15. Madelain L., Harwood M. R., Herman J. P., Wallman J. Saccade adaptation is unhampered by distractors. *Journal of vision*. 2010, 10 (12), p. 29.

16. McSorley E., McCloy R., Lyne C. The spatial impact of visual distractors on saccade latency. *Vision research*. 2012, 60, pp. 61-72.

17. Nilsson M. H., Patel M., Rehnström S., Magnusson M., Fransson P.-A., others. Subthalamic deep brain stimulation improves smooth pursuit and saccade performance in patients with Parkinson's disease. *Journal of neuroengineering and rehabilitation*. 2013, 10 (1), p. 33.

18. Song J.-H., McPeck R. M. Eye-hand coordination during target selection in a pop-out visual search. *Journal of neurophysiology*. 2009, 102 (5), pp. 2681-2692.

Контактная информация:

Захарченко Дмитрий Валерьевич — кандидат биологических наук, научный сотрудник ФГБУН «Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН»

Адрес: 117485, г. Москва, ул. Бутлерова, д. 5а

E-mail: dz-ihna@mail.ru