

**Д.В. Захарченко, В.Б. Дорохов**

## Изменение геометрических параметров (кривизны) макросаккад под действием алкоголя<sup>1</sup>

В статье рассматривается возможность использования одной из геометрических характеристик макросаккад (кривизны) в качестве маркера алкогольного опьянения и вызванных им нарушений деятельности. Также рассматривается возможность использования данной характеристики для оценки концентрации внимания на целевом объекте при работе с визуальными стимулами.

**Ключевые слова:** ай-трекинг, траектория движения глаза, саккада, фиксация взгляда, действие алкоголя, оператор, операторская деятельность, функциональные состояния, окуломоторные реакции, зрительное восприятие.

Изменение параметров внимания, в т.ч. под действием алкоголя, активно изучается на протяжении уже многих лет, однако применение видеоокулографии (ай-трекинга) для этих целей дает нам ряд новых методические возможностей [1; 3; 4; 9; 12]. В частности, ряд исследователей рассматривает изменение геометрических характеристик макросаккад в качестве потенциальных маркеров снижения концентрации внимания на выполняемой работе [3]. Эксперименты с применением дистракторов показали достоверное увеличение кривизны макросаккад в ситуациях, когда дистрактор предъявляется одновременно со стимулом или с небольшим запаздыванием [5; 6; 12]. Траектория макросаккад при этом представляет собой более или менее крутую дугу, выгнутую в сторону дистрактора [7; 10; 11]. Возникает вопрос: является ли изменение

---

<sup>1</sup> Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 14-06-00652).

кривизны макросаккады прямым следствием влияние дистрактора, или же изменение кривизны связано с потерей концентрации внимания на целевом объекте и может быть использовано в качестве индикатора наличия/отсутствия внимания на целевом объекте.

Другим аспектом проблемы является возможность использовать изменение кривизны макросаккад в качестве маркера алкогольного опьянения или нарушения деятельности. В случае, если связь алкогольного опьянения и вызванных им нарушений деятельности подтвердится, кривизна макросаккад могла бы быть использована для прикладной диагностики и мониторинга функциональных состояний оператора.

Задачей нашей работы было сопоставить параметры кривизны траектории макросаккад в нормальном состоянии и в состоянии алкогольного опьянения и на основании полученных результатов сделать вывод о возможности использования показателя кривизны макросаккад в качестве маркера снижения эффективности деятельности и в качестве маркера наличия алкоголя в крови.

### Материалы и методы

В исследовании приняли участие 22 добровольца мужского пола в возрасте от 20 до 36 лет. Все испытуемые были физически здоровы и не имели алкогольной зависимости. Все испытуемые имели необходимый опыт работы с компьютером и мышью. Для моделирования состояния алкогольного опьянения испытуемые принимали алкоголь в количестве 1 г 96% алкоголя на 1 кг веса тела. Алкоголь вводился в организм в виде напитка, количество чистого алкоголя (медицинский спирт 96%) пересчитывалось на водку (40%).

Для моделирования операторской деятельности нами был разработан психомоторный тест «Статика». Экран условно делили на 20 секторов в виде сетки (5 по горизонтали, 4 по вертикали); каждый сектор имел свой номер (рис. 1), границы и номера секторов на экран не выводились. В начале опыта в центре одного из секторов появлялась цель в форме круга диаметром 5 мм – испытуемый должен был максимально быстро навести на него курсор и щелкнуть мышью. При попадании цель исчезала и одновременно появлялась в центре другого сектора. Последовательность секторов была сгенерирована при помощи генератора случайных чисел и являлась общей для всех тестов этого типа. В течение опыта предъявлялось 120 стимулов-целей, испытуемый должен был поразить их все за максимально короткое время.

Для всех испытуемых во всех опытах последовательность секторов была одинаковой, координаты всех целей известны, траектория движения мыши

|    |    |    |    |    |
|----|----|----|----|----|
| 1  | 2  | 3  | 4  | 5  |
| 6  | 7  | 8  | 9  | 10 |
| 11 | 12 | 13 | 14 | 15 |
| 16 | 17 | 18 | 19 | 20 |

**Рис. 1.** Тест «Статика»: разбивка экрана на секторы, стимул. При тестировании сетка и номера секторов не отображаются.

и все щелчки записывались в лог-файл. Единичной пробой считалось предъявление одного стимула (т.е. все действия испытуемого с момента появления цели и до щелчка по цели мышью). Тест «Статика» выполнялся два раза: до и после приема алкоголя. Пауза между приемом алкоголя и началом второго теста составляла 1 час. Такая пауза необходима, чтобы избежать стимулирующего эффекта алкоголя. К моменту начала второго теста концентрация алкоголя в крови достигала максимума.

Траектория перемещения взгляда регистрировалась при помощи системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз (Eyegaze Analyzing System, дальше – «ай-трекер») с программным обеспечением NYAN 2<sup>®</sup> компании «Interactive Minds». Запись велась в бинокулярном режиме попеременно двумя камерами, суммарная частота опроса – 120 Гц; расстояние до экрана – 60 см, экранное разрешение – 1280x1024 пикселей, размеры пикселя – 0,265 мм. Голова испытуемого фиксировалась сзади подголовником кресла.

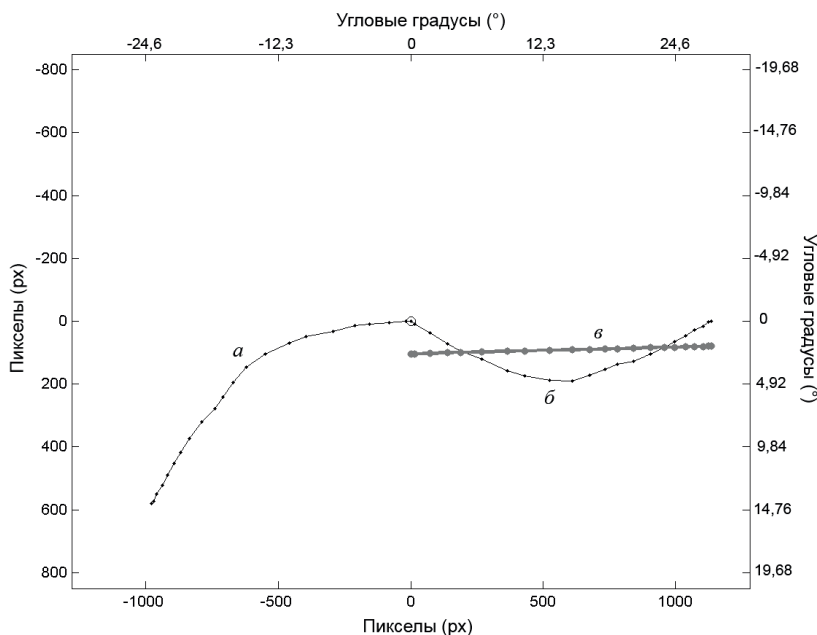
Распознавание макросаккад производилось с помощью специально разработанного порогового алгоритма. Пробы с артефактами распознавались в полуавтоматическом режиме и исключались из дальнейшей обработки.

Оценка степени кривизны макросаккад производилась с помощью следующего алгоритма.

1. Методом параллельного переноса смещаем начало макросаккады в точку начала координат (точка с координатами (0,0)). Для этого достаточно вычесть из координат всех узловых точек макросаккады координаты точки начала макросаккады (рис. 2, *а*).

2. Выполняем 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. 2, *б*).

3. Накладываем регрессионную прямую на получившуюся траекторию.



**Рис. 2.** Оценка степени 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.

4. Вычисляем расстояния от узловых точек траектории макросаккады до узловых точек регрессионной прямой и на основе этих данных вычисляем статистические показатели кривизны для каждой макросаккады.

В качестве показателя кривизны макросаккады использовалось нормированное отклонение от регрессионной прямой (отношение суммы отклонений всех узловых точек к расстоянию от первой до последней точки макросаккады). Для статистического сравнения кривизны макросаккад до и после приема алкоголя использовались непараметрические методы – тест знаков и тест связанных пар Вилкоксона.

### Результаты исследования и их обсуждение

В таблице 1 представлены результаты сравнения кривизны макросаккад до и после приема алкоголя с использованием теста знаков и теста связанных пар Вилкоксона. В последнем столбце указано направление

и уровень достоверности изменений времени реакции (попадания в цель) для каждого испытуемого. Как видно из таблицы, кривизна макросаккад достоверно увеличивалась у 6 человек из 22. Данный результат не позволяет использовать увеличение кривизны макросаккад в качестве маркера наличия алкоголя в крови. Тем не менее, в абсолютных числах вероятность достоверного увеличения кривизны макросаккад после приема алкоголя является значительной (27,3%).

Таблица 1.

**Изменение кривизны макросаккад и времени реакции  
в тесте «Статика» до и после приема алкоголя**

| Испытуемый | Достоверность изменений (p = ) |                               |               |
|------------|--------------------------------|-------------------------------|---------------|
|            | Кривизна<br>(тест знаков)      | Кривизна<br>(тест Вилкоксона) | Время реакции |
| 1          | 0,6567                         | 0,4060                        | 0,000         |
| 2          | 0,1391                         | 0,1959                        | 0,393         |
| 3          | 0,0327                         | 0,0913                        | 0,000         |
| 4          | 1,0000                         | 0,4464                        | 0,000         |
| 5          | 0,5544                         | 0,7621                        | 0,000         |
| 6          | 0,8508                         | 0,1634                        | 0,587         |
| 7          | 0,8533                         | 0,9685                        | 0,015         |
| 8          | 0,0161                         | 0,0012                        | 0,466         |
| 9          | 0,0004                         | 0,0000                        | 0,055         |
| 10         | 0,8973                         | 0,4752                        | 0,091         |
| 11         | 0,5758                         | 0,4664                        | 0,040         |
| 12         | 0,0002                         | 0,0000                        | 0,000         |
| 13         | 0,0037                         | 0,0012                        | 0,069         |
| 14         | 0,0790                         | 0,1820                        | 0,005         |
| 15         | 0,9260                         | 0,9013                        | 0,011         |
| 16         | 0,5465                         | 0,2871                        | 0,066         |
| 17         | 0,0000                         | 0,0000                        | 0,322         |
| 18         | 1,0000                         | 0,1322                        | 0,486         |
| 19         | 0,1678                         | 0,0211                        | 0,000         |
| 20         | 1,0000                         | 0,7398                        | 0,092         |
| 21         | 0,7787                         | 0,9493                        | 0,739         |
| 22         | 0,7091                         | 0,1654                        | 0,000         |

Примечание: достоверные изменения выделены цветом заливки ( $p < 0,05$ ). Светло-серая заливка – показатель достоверно увеличивается, темно-серая – достоверно уменьшается, белая – изменения недостоверны.

Изменения кривизны макросаккад в каждом конкретном эксперименте не коррелируют с изменением времени реакции (попадания в цель) в этом же эксперименте. Соответственно, изменения кривизны макросаккад не могут использоваться и в качестве маркеров снижения работоспособности (нарушения деятельности).

Еще один вывод заключается в том, что изменение параметров внимания с высокой вероятностью не связано и с изменением кривизны макросаккад: трудно себе представить, что более двух третей испытуемых после приема изрядной дозы алкоголя<sup>1</sup> сохраняют те же параметры внимания, что и до приема алкоголя. Таким образом, полученные результаты не подтверждают гипотезу о связи параметров внимания и геометрических характеристик макросаккад.

## Выводы

1. После приема алкоголя кривизна макросаккад увеличивалась у 6 человек из 22 (27,3%). Данный параметр окуломоторных реакций не может использоваться в качестве маркера алкогольного опьянения.

2. Изменения кривизны макросаккад у конкретных испытуемых не связаны с изменением эффективности деятельности. В качестве маркера нарушения деятельности изменение кривизны макросаккад использоваться не может.

3. В ситуации отсутствия побочных раздражителей (дистракторов) кривизна макросаккад напрямую не связана с распределением внимания и в качестве непосредственного индикатора наличия/отсутствия концентрации внимания неэффективна.

## Библиографический список

1. Dombrowe I., Donk M., Olivers C.N. The costs of switching attentional sets // *Attention, Perception, & Psychophysics*. 2011. № 73(8). P. 2481–2488.
2. Erblach 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.
3. Golomb J.D., L'Heureux Z.E., Kanwisher N. Feature-binding errors after eye movements and shifts of attention // *Psychological science*. 2014. № 25(5). P. 1067–1078.
4. Herwig A., Beisert M., Schneider W.X. On the spatial interaction of visual working memory and attention: evidence for a global effect from memory-guided saccades // *Journal of vision*. 2010. № 10(5). P. 8.

<sup>1</sup> Для испытуемого весом 80 кг доза 1 г алкоголя на 1 кг веса тела составит примерно 200 г водки. Большинство испытуемых имели вес тела порядка 70–80 кг.

5. Jonikaitis D., Belopolsky A.V. Target-Distractor Competition in the Oculomotor System Is Spatiotopic // *The Journal of Neuroscience*. 2014. № 34(19). P. 6687–6691.
6. Koenig S., Lachnit H. Curved saccade trajectories reveal conflicting predictions in associative learning // *Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition*. 2011. № 37(5). P. 1164.
7. Kruijne W., Stigchel van der 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. P. 259–270.
8. Linear age-correlated development of inhibitory saccadic trajectory deviations. / West G.L. e.a. // *Developmental psychology*. 2014. № 50(9). P. 2285.
9. McSorley E., McCloy R., Lyne C. The spatial impact of visual distractors on saccade latency // *Vision research*. 2012. № 60. P. 61–72.
10. Saccade adaptation is unhampered by distractors // Madelain L. e.a. // *Journal of vision*. 2010. № 10(12). P. 29.
11. Song J.-H., McPeck R.M. Eye-hand coordination during target selection in a pop-out visual search // *Journal of neurophysiology*. 2009. № 102(5). P. 2681–2692.
12. The contribution of stimulus-driven and goal-driven mechanisms to feature-based selection in patients with spatial attention deficits / Dombrowe I. e.a. // *Cognitive neuropsychology*. 2012. № 29(3). P. 249–274.