

Автоматизация метода компьютерной окулографии для исследований центральной нервной системы на основе пассивного анализа видеоизображения

*Е. А. Новиков¹, И. А. Ваколюк², Р. Д. Ахапкин¹, И. А. Варчак¹,
И. Г. Шалагинова², Д. А. Швайко², Е. А. Буденкова²*
eugen@novikov.de

¹Институт прикладной математики и информационных технологий БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия

²Химико-биологический институт БФУ им. И. Канта, Калининград, Россия

Данные, описывающие изменения положения центров зрачков во времени, называются окулограммами. Анализ окулограмм позволяет судить о функциональном состоянии определенных отделов головного мозга, вовлеченных в процесс программирования и регуляции движений глаз. Данная статья рассматривает новый вариант автоматизации процесса регистрации и последующего анализа произвольных и спровоцированных движений глаз, что в общем случае называется компьютерной окулографией. В основном, системы компьютерной окулографии опираются на активное инфракрасное сканирование глаз при жесткой фиксации головы, что является дорогостоящим и не доступным для простых пользователей. Однако благодаря развитию технологий регистрации цифровых изображений и общему росту вычислительной мощности персональных компьютеров и портативных устройств методы пассивного сканирования изображений начинают набирать популярность. Предлагаемый в данной статье метод рассчитан на использование вместе со стандартными цифровыми камерами. Метод может быть применен для получения и анализа качественных окулограмм на основе видеоизображения, полученного с частотой не менее 30 кадр/с.

Ключевые слова: *окулография; саккады; eyetracking; диагностика; ЦНС*

DOI: 10.21469/22233792.1.12.09

Automation method of computer oculography for research of the central nervous system based on passive video analysis

*E. A. Novikov¹, I. A. Vakoliuk², R. D. Akhapiin¹, I. A. Varchak¹,
I. G. Shalanginova², D. A. Shvaiko², and E. A. Budenkova²*

¹Immanuel Kant Baltic Federal University, Institute of Applied Mathematics and Information Technologies, 14 A. Nevskogo st., Kalinigrad, Russia

²Institute of Chemistry and Biology, 14 A. Nevskogo st., Kalinigrad, Russia

Data of changing pupil center position in time are called oculogram. The oculogram allows to define functional condition of the brain divisions involved in the programming process and regulation of eye movements. This article describes new version of registration automation for process and subsequent analysis of arbitrary and provoked eye movements that in general is called computer oculography. Basically, computer oculography relies on an active infrared eye tracking by the rigid fixation of the head. Such methods are quite costly and unpopular decision. However, due to development of digital images registration technologies and general increase in computing power of personal computers and portable devices, the methods of passive scanning images start to gain popularity. The proposed method relies on standard digital

cameras. This method can be applied to analyze qualitative oculogram based on video images taken from at least 30 frame/s.

Keywords: *oculography; saccade; eyetracking; diagnosis; CNS*

DOI: 10.21469/22233792.1.12.09

1 Введение

Возможность познать тайны мозга через движения глаз привела научную мысль к необходимости регистрации глазодвигательных реакций. Начиная с XIX в. были разработаны и применялись на практике различные методы записи движений глаз: механический метод, метод электроокулографии, инфракрасный метод и, наконец, метод анализа видеоизображения глаза.

Известные на данный момент методы могут полностью удовлетворить разнообразные потребности исследователей [1].

Из-за своей очевидной простоты в использовании, сравнительно легкой настройки и опоре на быстро развивающуюся индустрию оптических и электронных устройств обработки изображений методы компьютерной окулографии, основанные на видеоанализе, становятся наиболее популярными.

В данной статье рассматривается наиболее дешевый в эксплуатации метод, подразумевающий использование стандартного и широкодоступного оборудования от встроенных web-камер переносных гаджетов до подключаемых к персональному компьютеру высокоскоростных устройств получения видеоизображения человеческого лица. Данный метод основан на видеоанализе изображения (среднего — 1280×720 точек и низкого разрешения — 640×480 точек) лица пациента и нацелен на эффективный и точный поиск положения центров зрачков. Глаза человека постоянно совершают мелкие движения, взгляд перескакивает с объекта на объект. Так мозг сканирует окружающее пространство, создавая постоянно обновляющуюся карту мира. Эти быстрые движения глаз, переводящие взор на новый объект интереса, называются саккадами. Саккадическая система, объединяющая в себе различные структуры мозга, участвующие в контроле саккадических движений глаз, работает без постоянного осознанного контроля [2].

Предлагаемый метод представляет собой многоуровневую схему обработки и анализа изображения с целью построения графиков движений глаз, называемых окулограммами. Видеорегистрация глазодвигательных реакций осуществляется параллельно с демонстрацией на экране заранее подготовленной видеопрезентации — последовательности стимулов — точек, появляющихся в переменном темпе и в различных местах.

2 Постановка задачи

2.1 Синдром дефицита внимания и гиперактивности

Предлагаемый метод изначально был задуман как инструмент для изучения и диагностики синдрома дефицита внимания и гиперактивности (СДВГ).

Диагностирование СДВГ основано на сравнении имеющейся симптоматической картины с диагностическими критериями МКБ-10 (международной классификации болезней 10-го пересмотра) и заключается в сборе анамнеза, опросе и тестировании родителей [3, 4]. Диагноз СДВГ ставит невролог, опираясь не на физиологически обусловленные методы, а только лишь на опыт и наблюдение.

Существующие на сегодняшний день методы коррекции (биологическая обратная связь, комплексная поведенческая терапия) позволяют нивелировать проявления этого расстройства на ранней стадии до минимума, что возвращает человеку возможность полноценной жизнедеятельности [5].

Многолетние работы зарубежных и отечественных исследователей [6–10] позволили выявить функциональные связи между определенными параметрами саккад, когнитивными функциями и теми или иными структурами мозга.

Разрабатываемый авторами метод основан на регистрации окулограмм и анализе нарушений в выполнении глазодвигательных реакций, определяемых через вычисление таких значений, как величина латентного периода саккадических реакций, точность выполнения саккад, наличие и степень выраженности саккадических движений. Это позволяет оценить функциональное состояние систем мозга, обеспечивающих реализацию когнитивных функций, страдающих при СДВГ. Клинические исследования, проводимые сотрудниками лаборатории физиологии человека и регуляции когнитивных функций БФУ им. И. Канта, подтверждают возможность применения окулографического тестирования в качестве физиологически обоснованного элемента диагностики психопатологий [11–13].

Накопление базы глазодвигательных профилей по разным отклонениям позволит осуществлять диагностику состояния центральной нервной системы (ЦНС) путем сравнения паттернов окулограмм.

Таким образом, с помощью видеоокулографии существует возможность исследовать функциональное состояние мозга человека без непосредственного физического контакта (рис. 1 и 2). Интеграция видеоокулографической методики с современными математиче-

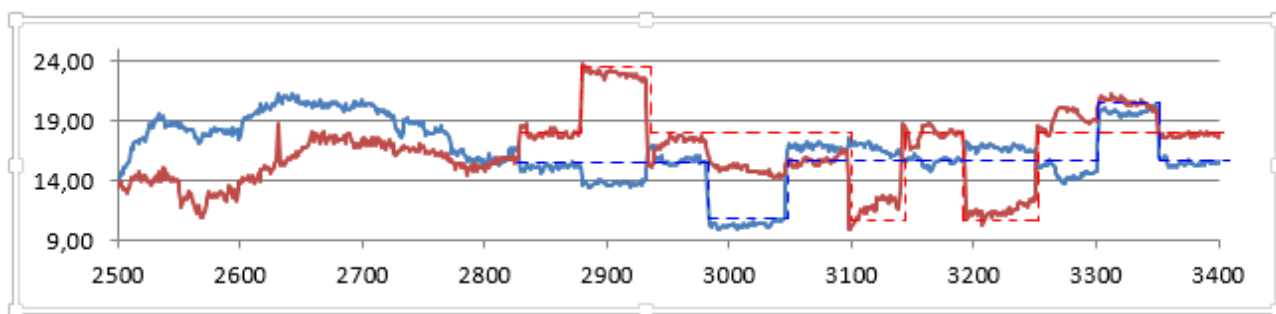


Рис. 1 Видеоокулограмма ребенка без СДВГ, возраст 6 лет: горизонтальная ось — временная разверстка (цена деления 20 мс), вертикальная ось — амплитуда движений глаз (пиксель), два графика описывают перемещения центра одного глаза по осям X и Y в координатах видеоизображения

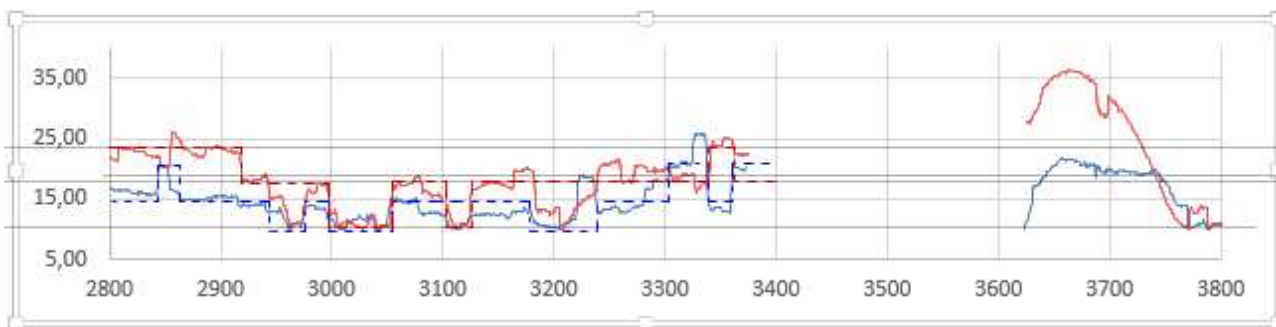


Рис. 2 Видеоокулограмма ребенка с СДВГ, возраст 6 лет: горизонтальная ось — временная разверстка (цена деления 20 мс), вертикальная ось — амплитуда движений глаз (пиксель)

скими методами обработки видеопотока и анализа данных предоставляет удобный инструмент для диагностики ряда нейропатологий, например СДВГ.

3 Решение

В практической реализации обработка и анализ видеозаписи вызванных движений глаз состоит из двух основных этапов — это тест-презентация стимульного материала и анализ материалов видеofиксации.

3.1 Построение тест-презентации

Для решения задачи регистрации глазодвигательных реакций испытуемого при отслеживании предъявляемых зрительных стимулов авторы разработали систему проектирования видеопрезентаций с псевдослучайным возникновением зрительных стимулов — презентационных точек.

Видеопрезентация состоит из появления, движения (если задан соответствующий параметр) и исчезновения презентационных точек на квадратной области экрана.

Ограничивая количество расположений презентационных точек до пяти (S, W, E, N, C), получаем конечное число возможных комбинаций появлений и исчезновений. Таким образом, не только упрощается создание видеопрезентации, но и уменьшается количество базовых движений глаз до 25, что позволит быстро и объективно сравнивать данные разных исследований, проведенных различными специалистами.

Для проведения испытаний специалист может использовать одну из включенных в систему тест-презентаций или создать собственную.

Одновременно с предъявлением стимульного материала той же машиной в параллельном потоке производится видеозапись лица испытуемого.

3.2 Предварительная подготовка изображения

Чтобы нивелировать влияние внешних факторов на результаты испытаний, необходимо провести некоторую подготовку видеозаписи лица испытуемого, полученной в ходе просмотра им тест-презентации.

Основная задача, которая стоит перед исследователями, — это нахождение области лица, глаз и центров зрачков. На этапе предварительной обработки необходимо сделать эти области как можно более четко различимыми, а само изображение как можно более «чистым».

В общем случае основной проблемой видеопотока, снятого обычной камерой, является наличие на изображении «шума», связанного как с внутренними факторами — высокой температурой светочувствительной матрицы, так и с внешними — плохой, неравномерной освещенностью объекта. Поэтому первое, что нужно сделать, — это избавиться от шума. В рассматриваемом случае лучше всего работает Гауссовское размытие.

На втором этапе проводят коррекцию освещенности объекта на экране методом наложения «пустого» изображения (рис. 3). «Пустое» изображение строится путем расчета линейной регрессии яркости пикселей по обеим осям. Метод линейной регрессии является наиболее быстрым для применения в реальном времени. В ходе собственных экспериментов выяснилось, что его применение улучшает результат поиска зрачков от 5% до 15% в зависимости от уровня неравномерности освещения лица на изображении. Описание меры точности находится в п. 3.4.

Таким образом авторы пытаются добиться как можно более высокого качества изображения и наиболее отчетливого выделения необходимых областей без потери точности передачи информации.

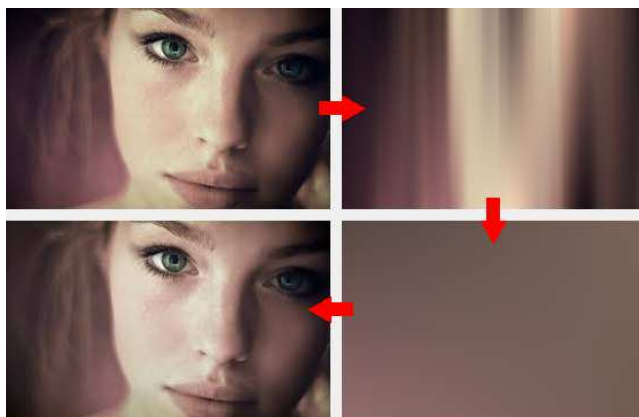


Рис. 3 Коррекция освещенности путем наложения «пустого» изображения

3.3 Определение положения лица

После подготовки изображения можно приступить к поиску положения лица в кадре. Для этого используем метод, основанный на известных каскадах классификаторов Хаара [14].

Каскад Хаара представляет собой некоторый набор примитивов, для каждого из которых считается его свертка с изображением. Пол Виола и Майкл Джонс при создании своего метода Виолы–Джонса усовершенствовали и адаптировали идею использования вейвлетов Хаара в своих алгоритмах.

На данном этапе разработки системы используем стандартную выборку классификаторов. Однако в будущем необходимо будет создать собственную библиотеку с учетом реальных условий, в которых будет эксплуатироваться представленная система. При тщательном подходе к созданию собственной выборки классификаторов можно добиться высокой эффективности определения положения лица — до 95% — при частоте ложных срабатываний около 0,001.

3.4 Определение центров зрачков

После того как определено положение лица в кадре, можно приступить к поиску самого зрачка испытуемого. Но прежде нужно выделить области его глаз (рис. 4). Для этого используем простой эмпирический подход, допуская, что местоположение глаз относительно центра лица у всех людей примерно одинаково.

Далее в качестве изображения будем использовать область правого или левого глаза. Рассмотрим изображение глаза как двумерную матрицу чисел, где каждое число соответствует значению яркости одного из элементов изображения (пиксела). Известно, что гео-

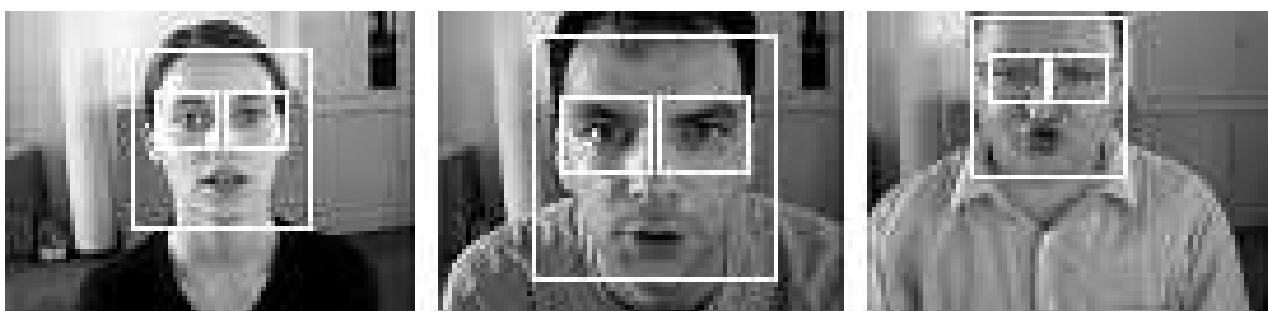


Рис. 4 Эмпирическое определение области глаз

Таблица 1 Сравнение эффективности существующих методов определения положения глаз на примере общедоступной базы образцов лиц BioID (BioID Face Database)

Метод	$e \leq 0,05$	$e \leq 0,10$	$e \leq 0,15$	$e \leq 0,20$	$e \leq 0,25$
Asadifard, 2010	47,0%	86,0%	89,0%	93,0%	96,0%
Valenti и Gevers, 2008	72,2%	82,1%	86,2%	93,8%	96,4%
Turkan, 2007	18,6%	73,7%	94,2%	98,7%	99,6%
Campadelli, 2006	62,0%	85,2%	87,6%	91,6%	96,1%
Niu, 2006	75,0%	93,0%	95,8%	96,4%	97,0%
Asteriadis, 2006	44,0%	81,7%	92,6%	96,0%	97,4%
Hamouz, 2005	58,6%	75,0%	80,8%	87,6%	91,0%
Jesorsky, 2001	38,0%	78,8%	84,7%	87,2%	91,8%
Метод авторов	81,0%	92,5%	94,7%	96,6%	98,0%

метрический центр круглых объектов может быть определен через анализ векторного поля градиентов матрицы изображения. Применение данного принципа было предложено для определения центров зрачков с учетом факта значительного контраста, возникающего на переходе между склерой и зрачком глаза [15]. Таким образом используется ориентация каждого вектора градиента, чтобы нарисовать линии через все изображение, точки пересечения этих линий подсчитываются и аккумулируются в счетчиках, связанных с соответствующими точками изображения. Счетчик, набравший максимальное количество пересечений векторов, соответствует центру глаза на изображении.

На практике для получения градиентного изображения можно использовать фильтр Собеля. В каждой точке изображения результатом оператора Собеля является либо соответствующий вектор градиента, либо норма этого вектора.

В качестве меры точности метода определения центров глаз оценивают нормализованную ошибку, которая указывает на максимальную из двух погрешностей, полученных для обоих глаз. Эта мера была введена Есорским [16] и определяется как

$$e \leq \frac{1}{d} \max \{e_l, e_r\},$$

где e_l , e_r — дистанции между найденными и корректными центрами левого и правого глаз. При анализе качества метода поиска глаз данная мера должна иметь следующие характеристики:

- (1) $e \leq 0,25 \approx$ расстояние между центром и боковыми краями глаза;
- (2) $e \leq 0,10 \approx$ внешний диаметр радужки;
- (3) $e \leq 0,05 \approx$ диаметр зрачка.

Таким образом, метод поиска глаз должен обеспечивать качественный результат на уровне $e \leq 0,05$. Ошибка на уровне 0,25 и более может привести к отклонению найденного зрачка за пределами реального глаза, что недопустимо для качественного определения центров глаз. Поэтому при сравнении с существующими методами будем ориентироваться на результаты с ошибкой $e \ll 0,25$ (табл. 1).

Данный алгоритм хорошо подходит для определения положения зрачка в отдельном кадре, однако если речь идет об обработке видеопотока, то такое решение является достаточно затратным и недостаточно стабильным, поэтому для улучшения результативности используем описанный метод в комбинации с дополнительным методом покадрового отслеживания перемещений указанного объекта. Суть использования метода состоит

в том, что после получения устойчивой позиции центра зрачка в одном кадре (накопленная ошибка между предыдущими 5 кадрами $e_{\text{com}} \leq 0,25$) все последующие кадры будут проанализированы на предмет перемещения заданного объекта (зрачка) авторским методом Новикова–Падалко, что значительно повышает стабильность работы айтрекера и увеличивает его быстродействие. Авторский метод Новикова–Падалко разработан для отслеживания любого заданного объекта в видеопотоке. Данный метод реализует новый подход к задаче распознавания образов и основывается на применении комбинации классических методов прямого преобразования Радона к матрице изображения, одномерного преобразования Фурье к полученным интегральным проекциям и статистического анализа интегральных коэффициентов Фурье, рассматриваемых в качестве основных дескрипторов объектов изображения.

3.5 Построение и анализ окулограмм

Для построения окулограммы необходимо секвенировать полученную видеозапись и для каждого кадра выполнить следующий алгоритм:

- (1) найти зрачок левого глаза (см. п. 3.4);
- (2) найти зрачок правого глаза (аналогично);
- (3) определить точку отсчета движения глаз на изображении — в данном случае центральной точкой отсчета можно считать середину детектированного прямоугольника лица (рис. 5);

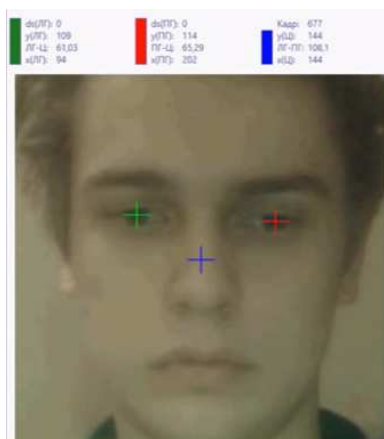


Рис. 5 Найденные зрачки и центр кадра

- (4) рассчитать расстояние между центральной статичной точкой и центром левого глаза;
- (5) рассчитать расстояние между центральной статичной точкой и центром правого глаза.

После выполнения данного алгоритма для каждого кадра получаем окулограмму (см. рис. 1), описывающую горизонтальные и вертикальные перемещения центра зрачка испытуемого.

Последующий объективный анализ окулограммы является завершающим этапом. Специалист (исследователь или медик) сможет выявить заболевание, связанное с нарушением функций ЦНС, по следующим ключевым параметрам: латентный период саккады, дисметричная саккада, гиперметричная саккада, гипометричная саккада, коррекционная саккада, латентный период коррекционной саккады, мультисаккада, дрейф. В настоящий момент уже собраны некоторые экспериментальные данные, подтверждающие эту гипотезу [11,12]. Основной целью разработки описываемого метода является системное накоп-

ление базы статистических данных результатов соответствующих исследований, подтверждающих концепцию прямой зависимости глазодвигательных реакций человека от состояния его ЦНС.

3.6 Перспективы

Данный метод анализа полученных окулограмм имеет хорошие перспективы. Видеокамеры, широко распространенные и используемые в современных ноутбуках, планшетах и телефонах, дают частоту генерации около 30 кадр/с. Данного количества достаточно для построения окулограмм и объективного статистического анализа. Но при частоте ≥ 50 кадр/с открывается большой спектр дополнительных возможностей. Например, становится доступна регистрация микродвижений глаз.

Различный перечень характеристик глазодвигательных реакций зависит и от ситуационного психического состояния человека. Алкоголь, психотропные и наркотические вещества, усталость по-разному отражаются на характеристиках саккадической активности, что позволяет идентифицировать текущее состояние ЦНС исследуемого пациента [8].

4 Заключение

Представленный метод автоматического вычисления и анализа окулограмм предназначен для исследования состояния ЦНС. Метод опирается на пассивный видеоанализ и нацелен на массовое внедрение и повсеместное использование как на уровне профессионального медицинского и научно-исследовательского инструмента, так и на уровне повседневной проверки состояния человека.

Литература

- [1] *Kenneth H., Marcus N., Richard A., Richard D., Halszka J., Joost W.* Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures. — Oxford: Oxford University Press, 2011. 560 p.
- [2] *Schall J. D., Purcell B. A., Heitz R. P., Logan G. D., Palmeri T. J.* Neural mechanisms of saccade target selection: Gated accumulator model of visual-motor cascade // *Eur. J. Neurosci.*, 2011. Vol. 33. P. 1991–2002.
- [3] *Заваденко Н. Н.* Синдром дефицита внимания с гиперактивностью: как помочь ребенку // *Школа здоровья*, 2007. № 3. С. 16–23.
- [4] *Чутко Л. С., Юрьева Р. Г., Сурушжина С. Ю., Нижишена И. С., Яковенко И. С., Анисимова Т. И., Айтбеков К. А.* Принципы оказания помощи детям с синдромом дефицита внимания с гиперактивностью // *Журнал неврологии и психиатрии*, 2008. № 11. С. 76–79.
- [5] *Заваденко Н. Н.* Синдром дефицита внимания и гиперактивности: современные принципы диагностики и лечения // *Вопросы современной педиатрии*, 2014. Т. 13. № 4. С. 54–62.
- [6] *Ярбус А. Л.* Роль движений глаз в процессе зрения. — М.: Наука, 1965. 173 с.
- [7] *Just M. A., Carpenter P. A.* A theory of reading: From fixations to comprehension // *Psychological Rev.*, 1980. No. 87. P. 329–354.
- [8] *Шульговский В. В.* Психофизиология пространственного зрительного внимания у человека // *Соросовский образовательный журнал*, 2004. Т. 8. № 1. С. 17–23.
- [9] *Барабанщиков В. А., Белопольский В. И.* Стабильность видимого мира. — М.: Институт психологии РАН, 2008. 303 с.
- [10] *Hakvoort Schwerdtfeger R. M., Alahyane N., Brien D. C., Coe B. C., Stroman P. W., Munoz D. P.* Preparatory network is impaired in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder during saccade tasks // *NeuroImage Clinical*, 2013. No. 2. P. 63–78.

- [11] Ваколюк И. А., Швайко Д. А., Иванова А. И., Голубицкий В. В. Опыт применения метода видеоокулографии для количественной оценки глазодвигательных реакций у людей, страдающих от алкогольной зависимости // 2-я Междунар. научн.-практич. конф. «Высокие технологии, фундаментальные и прикладные исследования в физиологии и медицине», 2011. Т. 2. С. 7–9.
- [12] Буденкова Е. А. Опыт применения видеоокулографии (ВОГ) при синдроме дефицита внимания с гиперактивностью (СДВГ) у детей младшего дошкольного возраста // Региональная научн.-практич. конф. «Перспективы развития Калининградской области» БФУ им. И. Канта, 2012. С. 53–57.
- [13] Шалагинова И. Г., Ваколюк И. А. Абсолютные и относительные показатели глазодвигательных реакций у пациентов с тревожными расстройствами // 6-я Междунар. конф. по когнитивной науке: Тезисы докладов, 2014. 17 с.
- [14] Viola P., Jones M. Robust real-time face detection // CVPR, 2004. Vol. 2. No. 57. P. 137–154.
- [15] Kothari R., Mitchell J. Detection of eye locations in unconstrained visual images // IEEE ICIP, 1996. Vol. 3. P. 519–522.
- [16] Jesorsky O., Kirchberg K., Frischholz R. 2001. Robust face detection using the Hausdorff distance // Audio- and video-based biometric person authentication / Eds. J. Bigun, F. Smeraldi. — Lecture notes in computer science ser. — Berlin–Heidelberg: Springer. Vol. 2091. P. 90–95.

Поступила в редакцию 24.07.2015

References

- [1] Kenneth, H., N. Marcus, A. Richard, D. Richard, J. Halszka, and W. Joost. 2011. *Eye tracking: A comprehensive guide to methods and measures*. Oxford: Oxford University Press, 2011. 560 p.
- [2] Schall, J. D., B. A. Purcell, R. P. Heitz, G. D. Logan, and T. J. Palmeri. 2011. Neural mechanisms of saccade target selection: Gated accumulator model of visual-motor cascade. *Eur. J. Neurosci.* 33:1991–2002.
- [3] Zavadenko N. N. 2007. Sindrom defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu: Kak pomoch' rebenku [Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: How to help a child]. *Shkola Zdorov'ya* [Health School]. 3:16–23. (In Russian.)
- [4] Chutko, L. S., R. G. Yur'eva, S. Yu. Surushkina, I. S. Nikishena, I. S. Yakovenko, T. I. Anisimova, and K. A. Aytbekov. 2008. Printsipy okazaniya pomoshchi detyam s sindromom defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu [Principles to help children with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder]. *Zhurnal Nevrologii i Psikhiatrii* [J. Neurology and Psychiatry] 11:76–79. (In Russian.)
- [5] Zavadenko, N. N. 2014. Sindrom defitsita vnimaniya i giperaktivnosti: Sovremennye printsipy diagnostiki i lecheniya [Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder: Modern principles of diagnosis and treatment]. *Voprosy Sovremennoy Pediatrii* [Contemporary Pediatrics] 13(4):54–62. (In Russian.)
- [6] Yarbus, A. L. 1965. *Rol' dvizheniy glaz v protsesse zreniya* [The role of eye movements in vision]. Moscow: Nauka, 1965. 173 p. (In Russian.)
- [7] Just, M. A., and P. A. Carpenter. 1980. A theory of reading: From fixations to comprehension. *Psychological Rev.* 87:329–354.
- [8] Shul'govskiy, V. V. 2004. Psikhofiziologiya prostranstvennogo zritel'nogo vnimaniya u cheloveka [Psychophysiology spatial visual attention in humans]. *Sorosovskiy Obrazovatel'nyy Zhurnal* [Soros Educational J.] 8(1):17–23. (In Russian.)
- [9] Barabanshchikov, V. A., and V. I. Belopol'skiy. 2008. *Stabil'nost' vidimogo mira* [The stability of the visible world]. Moscow: Psychology Institute of RAS. 303 p. (In Russian.)

- [10] Hakvoort Schwerdtfeger, R. M., N. Alahyane, D. C. Brien, B. C. Coe, P. W. Stroman, and D. P. Munoz. 2013. Preparatory network is impaired in adults with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder during saccade tasks. *NeuroImage Clinical* 2:63–78.
- [11] Vakolyuk, I. A., D. A. Shvayko, A. I. Ivanova, and V. V. Golubitskiy. 2011. Opyt primeneniya metoda videookulografii dlya kolichestvennoy otsenki glazodvigatel'nykh reaktsiy u lyudey, stradayushchikh ot alkogol'noy zavisimosti [Experience of applying the method to quantify videooculography oculomotor reactions in people suffering from alcohol addiction]. *2nd Scientifically-Practical Conference (International) "The High Technologies Fundamental and Applied Researches in Physiology and Medicine" Proceedings*. St. Petersburg. 2:7–9. (In Russian.)
- [12] Budenkova, E. A. 2012. Opyt primeneniya videookulografii (VOG) pri sindrome defitsita vnimaniya s giperaktivnost'yu (SDVG) u detey mladshego doshkol'nogo vozrasta [Experience with videooculography (VOG) with Attention-Deficit/Hyperactivity Disorder (ADHD) in children of preschool age]. *Regional'naya nauchn.-praktich. konf. «Perspektivy razvitiya Kaliningradskoy oblasti»* [Regional Scientific and Practical Conference "Perspectives of Kalinigrad Region Development"]. Kaliningrad: Immanuel Kant Baltic Federal Univesity. 53–57. (In Russian.)
- [13] Shalaginova, I. G., and I. A. Vakolyuk. 2014. Absolyutnye i otnositel'nye pokazateli glazodvigatel'nykh reaktsiy u patsientov s trevozhnymi rasstroystvami [Absolute and relative indicators of oculomotor reactions in patients with anxiety disorders]. *6th Conference (International) on Cognitive Science Abstracts*. 17 p. (In Russian.)
- [14] Viola, P., and M. Jones. 2004. Robust real-time face detection. *CVPR* 2(5):137–154.
- [15] Kothari, R., and J. Mitchell. 1996. Detection of eye locations in unconstrained visual images. *IEEE ICIP* 3:519–522.
- [16] Jesorsky, O., K. Kirchberg, and R. Frischholz. 2001. Robust face detection using the Hausdorff distance. *Audio- and video-based biometric person authentication*. Eds. J. Bigun and F. Smeraldi. Lecture notes in computer science ser. Berlin–Heidelberg: Springer. 2001:90–95.

Received July 24, 2015