

УДК 612.846+612.829.34

МЕТОДИКА НЕИНВАЗИВНОЙ ДИАГНОСТИКИ НАРУШЕНИЙ ФУНКЦИОНАЛЬНОГО СОСТОЯНИЯ ОПЕРАТОРА НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ПЛАВНОСТИ ПРОСЛЕЖИВАНИЯ ЦЕЛИ ВЗГЛЯДОМ

© 2017 г. Д. В. Захарченко¹, *, В. Б. Дорохов¹, В. И. Торшин²,
Д. С. Свешников², И. Л. Мясников², В. В. Дементенко³

¹ФГБУН Институт высшей нервной деятельности и нейрофизиологии РАН, Москва

²Российский университет дружбы народов, Москва

³ФГБУН Институт радиотехники и электроники им. В.А. Котельникова РАН, Москва

*E-mail: dz-ihna@mail.ru

Поступила в редакцию 26.11.2015 г.

В статье описана видеоокулографическая методика детекции нарушений функционального состояния оператора при выполнении оператором деятельности по отслеживанию целевого объекта. Данная методика является усовершенствованной и адаптированной для использования с современной аппаратурой версией теста на плавное прослеживание цели (т.н. “smooth pursuit test”) и может использоваться для определения наличия и интенсивности воздействия на оператора различных негативных факторов в условиях лабораторного эксперимента. Разработанная методика является неинвазивной, допускает длительную непрерывную регистрацию данных в комфортных для испытуемого условиях и может применяться с разными типами видеоокулографов (в т.ч. с портативными и бюджетными моделями). В качестве примера использования методики приводится серия экспериментов на детекцию негативных воздействий, вызванных алкогольным опьянением. Показана линейная зависимость между изменениями параметров окуломоторных реакций и изменением времени реагирования на целевой стимул.

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

DOI: 10.7868/S0131164617010106

На протяжении последних полутора десятилетий исследования окуломоторных реакций в процессе деятельности являются одним из наиболее востребованных направлений с точки зрения практического применения. Особый интерес для исследователей представляют показатели окуломоторной активности, которые могли бы быть использованы для непрерывного мониторинга и контроля состояния операторов и водителей транспортных средств непосредственно в процессе деятельности [1–3]. Однако несмотря на большое число исследований и полученных результатов, окулографические критерии абнормальных состояний оператора, пригодные для автоматической аппаратурной диагностики состояния оператора в режиме реального времени, так и не были выделены вплоть до настоящего времени [3–4].

Метод плавного прослеживания цели взглядом (*smooth pursuit test* и его версии) вот уже много лет активно используется для диагностики заболеваний, а также для диагностики различных абнормальных состояний, не связанных с органической патологией. На основе плавного про-

слеживания разработаны методы диагностики шизофрении [5–9], маниакально-депрессивного синдрома [10], некоторых психозов [11], эпилепсии [12], аутизма [13], а также болезни Альцгеймера [14] и болезни Паркинсона [15–18]. Предпринимались попытки адаптации данного метода для исследования монотонии и засыпания [19]. Необходимость дальнейшей модификации метода плавного прослеживания диктуется невозможностью использовать весь спектр методических возможностей, которые дает исследователям применение видеоокулографической технологии (в частности, не используется возможность длительной регистрации и ряд возможностей по проведению эксперимента в условиях, приближенных к реальной деятельности); также есть серьезные претензии к эргономике экспериментальной процедуры (например, использование офтальмологических штативов для фиксации головы испытуемого). Вызывает вопросы и традиционный используемый подход к оценке точности прослеживания цели: показателем точности принято считать величину и динамику рассогласования

между траекториями взгляда и цели. При этом вычисляют расстояние от каждой точки траектории взгляда до соответствующей ей точки траектории цели и по изменениям этого показателя судят о точности прослеживания. Сомнения в корректности данного подхода обусловлены невозможностью выполнить привязку координат взгляда к экранным координатам с точностью выше ± 0.5 углового градуса. Соответственно, значительная часть традиционно используемых для диагностики эффектов (рывковых паттернов, задержек прослеживания, опережающих саккад, саккад в сторону от траектории т.д.) будет лежать в диапазоне ± 0.5 углового градуса от измеренных координат взгляда и интерпретироваться как шум регистрации.

Цель работы – разработка такого метода оценки функциональных состояний оператора, который, обладая всеми достоинствами метода плавного прослеживания, позволял бы производить регистрацию окулографических данных в условиях, максимально приближенных к условиям реальной деятельности. Кроме того, разрабатываемая методика должна позволять проводить эксперименты любой длительности, а алгоритм оценки состояния испытуемого должен быть малочувствительным к микродвижениям головы испытуемого в ходе исследования.

Адаптированный нами к требованиям сегодняшнего дня, метод плавного прослеживания может применяться для лабораторной диагностики различных воздействий на эффективность операторской работы, а также для оценки эффективности методов коррекции этих воздействий. В традиционный *smooth pursuit test* был внесен ряд принципиальных изменений, которые затрагивают и процедуру проведения исследования, и методы обработки данных:

1. Мы отказались от фиксации головы испытуемого с помощью офтальмологического штатива.

Фиксация головы осуществляется сзади подголовником кресла. Такой подход позволил резко увеличить длительность записи (с 3–5 до 15 мин и выше), за счет этого – избавиться от эффекта вбавывания в начале эксперимента (первые 1–2 мин) и значительно снизить влияние экспериментальной ситуации на результаты теста (поскольку испытуемый работал в комфортных, близких к естественным, условиях).

2. Вместо точности прослеживания оценивается плавность прослеживания цели взглядом.

В ходе видеоокулографического исследования на записи длительностью более 2–3 мин точность регистрации ошутимо снижается за счет микродвижений головы испытуемого (даже если голова закреплена в штативе). Если для оценки состояния испытуемого использовать точность прослеживания, через 2–3 мин ошибка калибровки ста-

новится настолько значительной, что эксперимент приходится прекращать. Соответственно, максимальная длительность записи ограничивается несколькими минутами. Если же вместо точности оценивать плавность прослеживания, ошибка калибровки никак не влияет на исследуемую характеристику, поскольку для оценки плавности прослеживания привязка координат взгляда к экранным координатам цели не критична. Соответственно, мы имеем возможность проводить эксперимент любой длительности, не используя при этом жесткую фиксацию головы испытуемого (т.е. в естественных для испытуемого условиях). Кроме того, наш подход сводит на нет влияние ошибок регистрации, вызванное микродвижениями головы испытуемого в процессе эксперимента.

3. Вместо традиционной синусоидальной используется круговая траектория цели.

Такой подход позволяет сделать траекторию цели равномерной. Соответственно, упрощается обработка и интерпретация данных, нивелируются окуломоторные эффекты, связанные с прослеживанием цели на экстремумах синусоиды. Кроме того, разработанный нами психомоторный тест позволяет максимально приблизить выполняемую испытуемым работу к той, которую выполняют операторы в процессе реальной деятельности.

Чтобы продемонстрировать эффективность нашей методики для распознавания и оценки абнормальных состояний оператора, в статье приведены результаты тестирования 22 испытуемых до и после приема алкоголя.

МЕТОДИКА

В исследовании добровольно приняли участие 22 испытуемых мужского пола в возрасте от 20 до 36 лет. Все испытуемые были физически здоровы и не имели проблем с алкоголем. Первый этап отбора проводился через Интернет и включал в себя информирование о процедуре исследования и первичный инструктаж (нормально выспаться, не употреблять алкоголь, кофе и медицинские препараты в день эксперимента и накануне, пообедать за 2 часа до начала тестов). Участие в исследовании оплачивалось. Все согласившиеся на эксперимент имели достаточный опыт работы с компьютером и мышью, а также мотивацию, достаточную для выполнения тестовых заданий. Второй этап отбора проводился непосредственно в день эксперимента и включал в себя ознакомление с тестовым заданием и пробную запись видеоокулограммы.

Экспериментальная модель алкогольного опьянения. Для создания экспериментальной модели алкогольного опьянения испытуемые принимали алкоголь в количестве 0.8 г 96% алкоголя на 1 кг

веса тела, при этом количество 96% медицинского спирта пересчитывалось на 40% водку. Количество алкоголя в выдохе оценивалось с помощью алкотестера *AL-7000* с точностью $\pm 15\%$ от полученного значения (перед началом, в середине и в конце экспериментальной серии). Учитывалась также динамика усвоения алкоголя: после приема алкоголя испытуемый в течение часа общался с экспериментатором на отвлеченные темы, и только потом начинался тест.

Регистрация физиологических показателей. Основным физиологическим показателем в нашем исследовании были окуломоторные реакции испытуемых. Траектория перемещения взгляда регистрировалась при помощи системы бесконтактной видеорегистрации движений глаз (*EyeGaze Analyzing System*), использующей принцип отражения инфракрасного света от роговицы глаза (далее — “видеоокулограф” или “ай-трекер”) с программным обеспечением *NYAN 2*[®] компании *Interactive Minds*. Запись велась в бинокулярном режиме с частотой опроса 120 Гц; расстояние до экрана — 60 см, экранное разрешение — 1280×1024 пикселей, размеры пиксела — 0.265 мм (в данном эксперименте угловое смещение экранного объекта на один пиксел примерно соответствует смещению на 0.0246° относительно глаза испытуемого). Голова испытуемого фиксировалась сзади подголовником кресла.

Психомоторный тест. Для моделирования операторской деятельности по прослеживанию цели нами был разработан и программно реализован психомоторный тест (рис. 1), который позволяет отслеживать визуальное и зрительно-моторное прослеживание цели, а также оценивать реакцию на изменения параметров движущегося объекта (цели). Тест предъявлялся в затемненной камере на жидкокристаллическом мониторе *Samsung* с диагональю 17 дюймов (340×270 мм, разрешение 1280×1024 пиксела); регистрировалась траектория движения курсора мыши по экрану, все нажатия на клавиши мыши и связанные с ними события на экране (появление, перемещение и исчезновение тестовых стимулов). Дискретность регистрации составляла 8 мс (125 Гц).

В ходе теста основная цель (зеленый круг диаметром 8 мм) двигалась по круговой траектории диаметром 75 мм с угловой скоростью 28° в с относительно центра экрана. Периодически (раз в 3–7 с) с внешней стороны траектории цели появлялась дополнительная цель — красный круг диаметром 12 мм. Дополнительная цель начинала двигаться по круговой орбите вокруг основной цели с угловой скоростью 29° в с. Радиус орбиты дополнительной цели — 60 мм. Испытуемый получал инструкцию вести курсором мыши основную цель, стараясь не выходить за ее пределы; при появлении дополнительной цели испытуе-

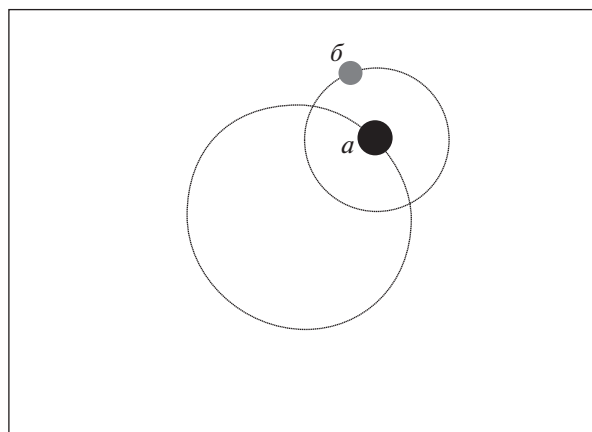


Рис. 1. Психомоторный тест: траектории основной и дополнительной цели.

a — основная цель, *b* — дополнительная цель. Обе цели движутся по часовой стрелке. При тестировании траектории не отображаются.

мый должен был щелкнуть мышью по основной цели (по той, которую вел); дополнительная цель здесь играла роль сигнала и исчезала после щелчка по основной цели. Всего за тест предъявлялось порядка 150–180 дополнительных целей, паузы между предъявлениями варьировались в случайном порядке в диапазоне от 3 до 7 с.

Процедура исследования (схема эксперимента). Процедура исследования включала в себя два теста: контрольный и экспериментальный. Сначала выполнялся контрольный тест: испытуемый сидел в кресле, производилась калибровка аппаратуры, после чего испытуемый выполнял психомоторный тест длительностью 15 мин. Затем испытуемый перешел в другое помещение, там принимал алкоголь и в течение часа общался с экспериментатором на отвлеченные темы (пауза между контрольным и экспериментальным тестом нужна, во-первых, чтобы дать алкоголю усвоиться и, во-вторых, чтобы избежать стимулирующего эффекта). Через час после приема алкоголя проводился контрольный замер количества алкоголя в выдохе и проводился экспериментальный тест — полностью аналогично контрольному.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для оценки плавности прослеживания цели взглядом анализировались траектории перемещения взгляда в психомоторном тесте до и после приема алкоголя. Особенности траекторий прослеживания отчетливо видны при визуализации (рис. 2): в контрольном опыте (рис. 2, А) взгляд ведет цель относительно плавно; рывков и длительных фиксаций почти нет; возможны небольшие отклонения от траектории цели (обычно не больше 1–1.5 угловых градусов). После приема

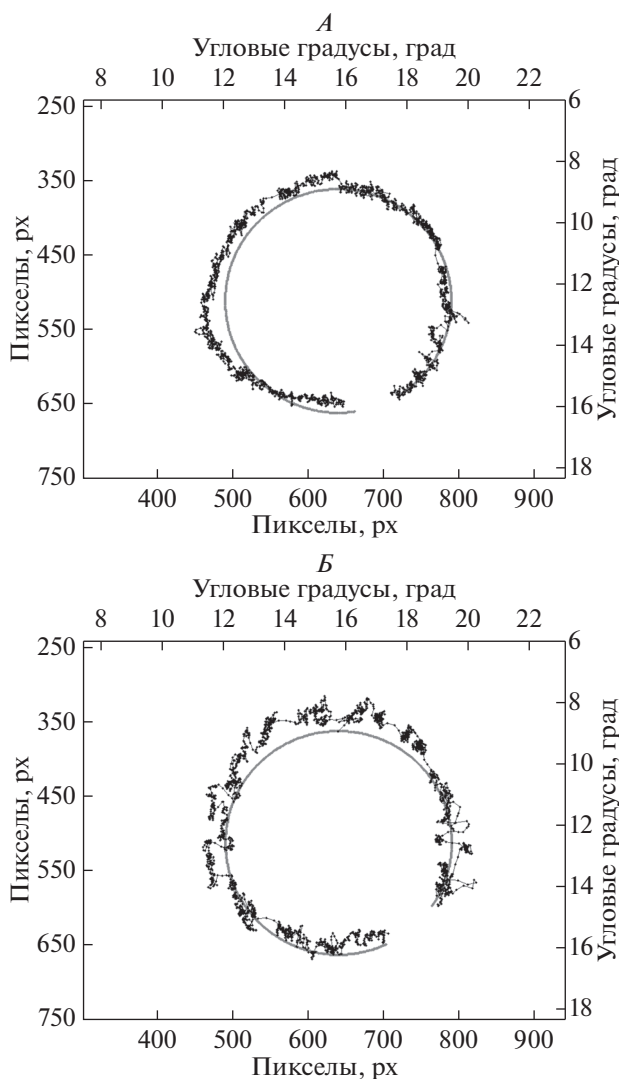


Рис. 2. Изменение характера прослеживания цели взглядом после приема алкоголя. Испытуемый № 20, интервал с 59 по 66 с опыта. Серая траектория – траектория цели, черная – траектория взгляда. *A* – прослеживание цели до приема алкоголя, *B* – после приема алкоголя.

алкоголя (рис. 2, *B*) траектория перестает быть плавной: появляются длительные фиксации, рывки (в том числе перпендикулярно траектории цели), возвраты назад; возрастает количество саккад и быстрых дрейфов.

Для количественной оценки плавности траекторий взгляда использовался следующий алгоритм:

1. С помощью цифрового фильтра сглаживаем траекторию взгляда (удаляется высокочастотная составляющая свыше 0.2 Гц) и выполняем подгонку по фазе. В результате получаем сглаженную траекторию взгляда – аппроксимирующую кривую (рис. 3).

2. Вычисляем расстояние в пикселях между каждой точкой реальной (несглаженной) траектории взгляда и соответствующей ей точкой сглаженной траектории. Получаем последовательность отклонений для каждой точки траектории от аппроксимирующей кривой¹.

3. Полученную последовательность отклонений используем для визуализации и статистического анализа (рис. 4).

Идея данного алгоритма заключается в том, что при дефиците прослеживания среднее отклонение от аппроксимирующей кривой должно увеличиться. Если после приема алкоголя траектория действительно становится менее плавной, а количество данных одинаково – в этом случае мы увидим четкие различия на гистограмме отклонений (рис. 4, *A*).

На рис. 4, *A* мы видим типичную форму распределения отклонений реальной траектории от аппроксимирующей кривой (15 испытуемых из 22). После приема алкоголя форма распределения значительно меняется: мода слегка смещается в сторону больших значений, значительно снижается амплитуда моды, пик становится менее острым, правая часть распределения становится более полой. Указанные изменения характерны для испытуемых, у которых после приема алкоголя отмечается дефицит прослеживания.

На рис. 4, *B* и 4, *Г* представлены нетипичные формы распределения отклонений: в одном случае (рис. 4, *B*) распределение практически не изменяется (а значит, не изменяется и плавность прослеживания цели), в другом случае (рис. 4, *Г*) мы наблюдаем ситуацию, противоположную типичной (степень плавности незначительно увеличивается). Количество нетипичных распределений невелико (соответственно, 3 и 4 случая из 22), однако вместе они составляют примерно треть выборки.

На гистограммах хорошо видно, что наиболее явно после приема алкоголя изменяется амплитуда моды распределения. Соответственно, при количественном анализе плавности прослеживания цели взглядом в качестве основного показателя мы использовали нормированную амплитуду моды. Вычисляли ее следующим образом: сначала сглаживали вариационный ряд методом простого скользящего среднего с периодом 3; сглаживание проводили в два этапа: сначала от начала к концу вариационного ряда, затем от конца к началу. Такой подход позволяет получить качественное сглаживание и избежать смещения фазы (рис. 4, *Б*).

¹ Вычисление расстояний от каждой точки несглаженной траектории взгляда до соответствующей ей точки аппроксимирующей кривой, по сути, аналогично процедуре удаления из данных низкочастотной составляющей (тренда), которая неинформативна и на оценку плавности прослеживания не влияет.

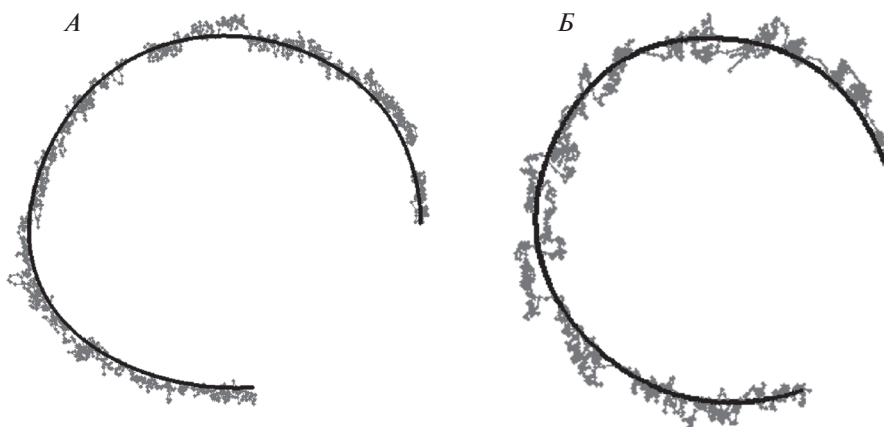


Рис. 3. Аппроксимирующая кривая до и после приема алкоголя. Серая траектория – траектория взгляда, черная – аппроксимирующая кривая. *A* – до приема алкоголя, *B* – после приема алкоголя.

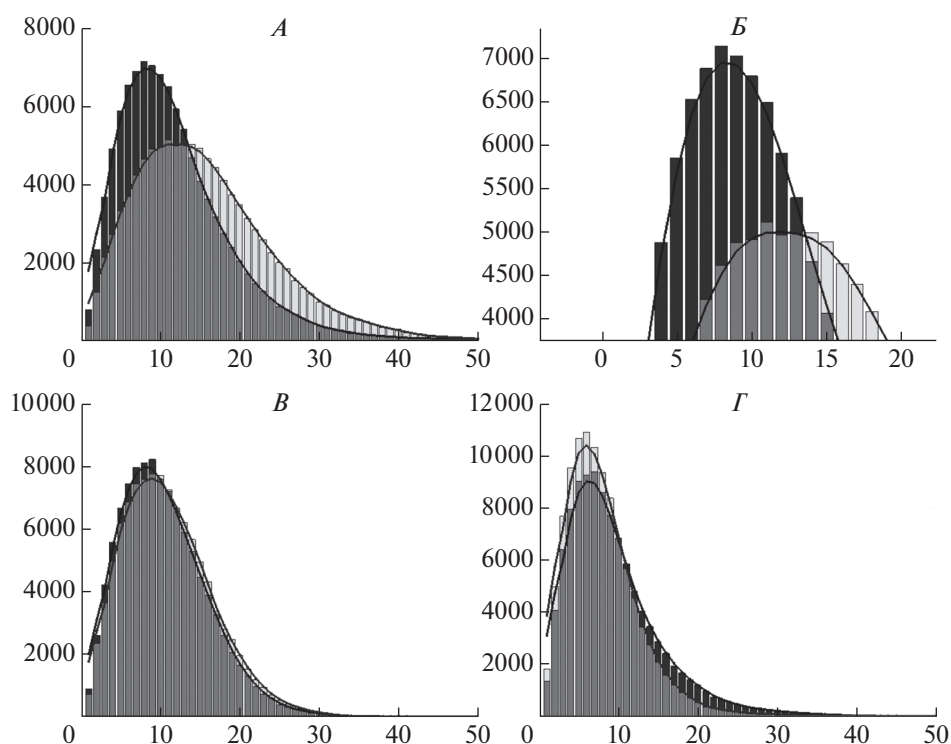


Рис. 4. Изменение отклонений реальной траектории от аппроксимирующей кривой под действием алкоголя. Темно-серая гистограмма – до приема алкоголя, светло-серая гистограмма – после приема алкоголя. *A* – наиболее типичная форма распределения (15 испытуемых из 22), *B* – подгонка огибающей для вычисления амплитуды моды, *B* и *Г* – нетипичные формы распределения (соответственно, 4 и 3 испытуемых из 22).

По сглаженной кривой находили моду и амплитуду моды распределения до и после приема алкоголя. Полученную амплитуду моды нормировали, разделив на количество отсчетов (строк с данными) в опыте. Нормированная амплитуда моды может использоваться в роли количественного показателя плавности прослеживания: сравнивая нормированную амплитуду моды до и после при-

ема алкоголя для всех испытуемых выборки с помощью теста знаков и теста связанных пар Вилкоксона, мы выяснили, что данный показатель с высокой достоверностью снижается ($p = 0.001384$ для теста знаков, $p = 0.003302$ для теста связанных пар Вилкоксона). Таким образом, после приема алкоголя типичным для выборки является уменьшение плавности прослеживания цели взглядом.

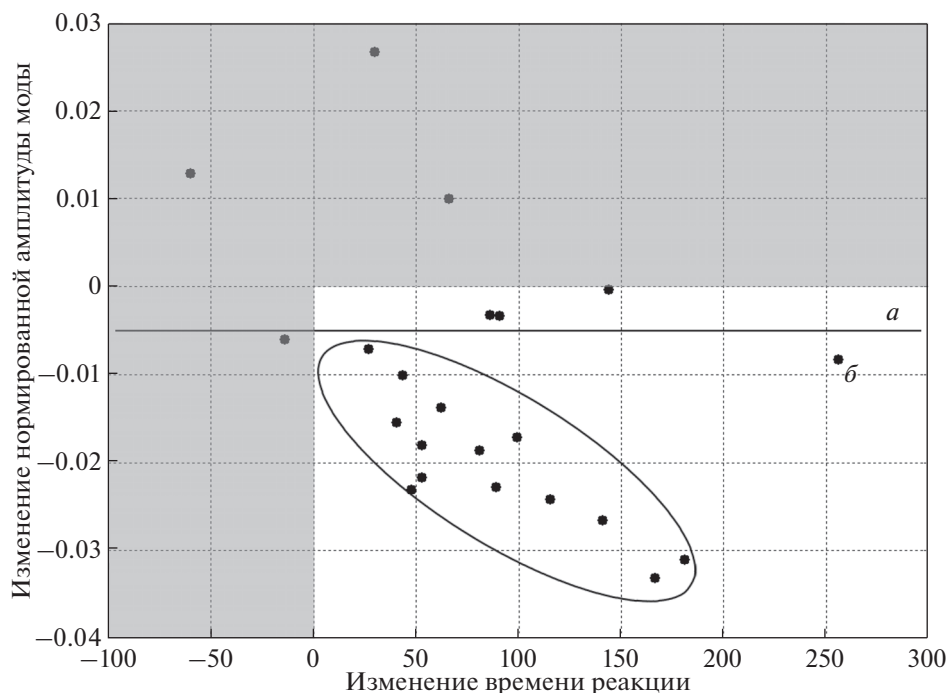


Рис. 5. Изменение плавности прослеживания и времени реакции под действием алкоголя.

По оси X – изменение среднего времени реакции (мс) (разность времени реакции после-до приема алкоголя), по оси Y – изменение нормированной амплитуды моды (плавности прослеживания); безразмерная величина, вычисляется как разность амплитуды моды после-до приема алкоголя. Область с серой заливкой – нетипичные для выборки реакции. a – предполагаемый порог снижения плавности прослеживания, на котором испытуемый еще сохраняет работоспособность, b – статистический выброс.

Единственный поведенческий показатель, который оценивался в психомоторном тесте, – время попадания в цель. После приема алкоголя время реакции (время попадания в цель) достоверно увеличивается, значимость изменений при этом чрезвычайно высока ($p = 0.000014$ при использовании t -критерия Стьюдента для связанных выборок).

ОБСУЖДЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ

Как следует из результатов нашего исследования, разработанная методика позволяет с высокой эффективностью выявлять собственно факт негативного воздействия (в нашем случае – алкогольного опьянения) на операторскую работоспособность. Чтобы продемонстрировать способность методики определять еще и интенсивность воздействия, сопоставим изменения плавности прослеживания цели (их показателем является нормированная амплитуда моды отклонений) со снижением операторской работоспособности (показателем которой является изменение времени реакции на дополнительный стимул в психомоторном тесте).

На рис. 5 представлена зависимость между изменениями времени реакции оператора (по оси X) и изменениями плавности прослеживания (норми-

рованной амплитуды моды) (по оси Y). Следует иметь в виду, что по осям отложены не измеренные показатели, а их разность (“после алкоголя – до алкоголя”). Каждая точка – данные одного испытуемого. Серым цветом отмечены нетипичные для выборки реакции, которые можно считать артефактными.

Распределение маркеров в зоне с белой заливкой (типичные для выборки реакции) интерпретируется нами следующим образом: визуально четко выделяется группа испытуемых, у которых увеличение времени реакции жестко коррелирует со снижением плавности прослеживания (показателем которой является нормированная амплитуда моды). Данная группа отмечена овалом. Коэффициент корреляции между рассматриваемыми показателями для этой группы весьма высок и составляет (-0.88) при $p < 0.00005$ для линейной корреляции Пирсона и (-0.84) при $p < 0.0001$ для ранговой корреляции Спирмена. На испытуемых данной группы алкоголь подействовал типичным для выборки образом; зависимость между снижением плавности прослеживания и увеличением времени реакции описывается простой линейной закономерностью. Испытуемые, которые не попадают в указанную группу, демонстрируют незначительное снижение плавности прослеживания (нормированной амплитуды моды). На наш

взгляд, это объясняется тем, что алкоголь подействовал на них недостаточно сильно, чтобы нарушить способность эффективно выполнять простую моторную деятельность. Предполагаемый порог плавности прослеживания, ниже которого начинаются поведенческие нарушения, отмечен нами на рис. 5 с помощью линии б.

Таким образом, разработанная нами методика демонстрирует способность выявлять наличие и количественно оценивать интенсивности нарушений операторской работоспособности, анализируя плавность траектории прослеживания цели взглядом. Наша методика позволяет увеличить время непрерывной регистрации окулomotorных реакций, как минимум, до 15 мин, а также позволяет проводить исследования в условиях, максимально приближенных к условиям реальной операторской работы. Разработанная процедура исследования не доставляет дискомфорта испытуемому и не требует использования офтальмологического штатива.

Работа выполнена при финансовой поддержке Российского гуманитарного научного фонда (проект № 14-06-00652 “Изменение параметров зрительно-моторной координации под действием алкоголя у операторов и водителей транспортных средств”).

ВЫВОДЫ

1. Зависимость между снижением плавности прослеживания и увеличением времени реакции под действием алкоголя является линейной, но проявляется только в ситуациях, когда нарушения состояния значительны, а испытуемый уже неадекватен.

2. Изменение плавности прослеживания цели взглядом является маркером ухудшения работоспособности оператора и может быть использовано для прогнозирования нарушений операторской работоспособности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Hartley L., Horberry T., Mabbot N. Review of fatigue detection and prediction technologies. National Road Transport Commission. Melbourne, Australia, 2000.
- Dorrian J., Lamond N., Kozuchowski K., Dawson D. The driver vigilance telemetric control system (DVTCS): Investigating sensitivity to experimentally induced sleep loss and fatigue // Behavior research methods. 2008. V. 40. № 4. P. 1016.
- Kerick S., Metcalfe J., Feng T. et al. Review of Fatigue Management Technologies for Enhanced Military Vehicle Safety and Performance. Army Research Laboratory, Aberdeen Proving Ground, USA. 2013.
- Wright N., Stone B., Horberry T. et al. A review of in-vehicle sleepiness detection devices. Published project report PPR157, TRL Limited, GB. 2007.
- Franco J.G., de Pablo J., Gaviria A.M. et al. Smooth pursuit eye movements and schizophrenia: Literature review // Archivos de la Sociedad Española de Oftalmología (English Edition). 2014. V. 89. № 9. P. 361.
- Spering M., Dias E.C., Sanchez J.L. et al. Efference copy failure during smooth pursuit eye movements in schizophrenia // The Journal of Neuroscience. 2013. V. 33. № 29. P. 11779.
- 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. V. 4. P. 311.
- Mialet J.P., Pichot P. Eye-tracking patterns in schizophrenia: An analysis based on the incidence of saccades // Archives of General Psychiatry. 1981. V. 38. № 2. P. 183.
- Avila M.T., Sherr J.D., Hong E. et al. 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. V. 28. № 12. P. 2184.
- Lipton R.B., Levin S., Holzman P.S. Horizontal and vertical pursuit eye movements, the oculocephalic reflex, and the functional psychoses // Psychiatry Research. 1980. V. 3. № 2. P. 193.
- Holzman P.S., Levy D.L. Smooth pursuit eye movements and functional psychoses // Schizophrenia Bulletin. 1977. V. 3. № 1. P. 15.
- 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. V. 43. № 12. P. 1119.
- Wilkes B., Carson T., Patel K. et al. Oculomotor performance in children with high-functioning Autism Spectrum Disorders // Research in Developmental Disabilities. 2015. V. 38. P. 338.
- Molitor R.J., Ko P.C., Ally B.A. Eye Movements in Alzheimer's Disease // Journal of Alzheimer's Disease. 2015. V. 44. № 1. P. 1.
- Fukushima K., Ito N., Barnes G.R. et al. Impaired smooth-pursuit in Parkinson's disease: normal cue-information memory, but dysfunction of extra-retinal mechanisms for pursuit preparation and execution // Physiol. Rep. 2015. V. 1. № 3. P. 1.
- Jansson D., Medvedev A., Axelson H., Nyholm D. Stochastic anomaly detection in eye-tracking data for quantification of motor symptoms in Parkinson's disease // Advances in Experimental Medicine and Biology. 2015. V. 823. P. 63.
- Lemos J., Eggenberger E. Saccadic intrusions: review and update // Current opinion in neurology. 2013. V. 26. № 1. P. 59.
- Nilsson M.H., Patel M., Rehncrona S. et al. Subthalamic deep brain stimulation improves smooth pursuit and saccade performance in patients with Parkinson's disease // Journal of neuroengineering and rehabilitation. 2013. V. 10. № 1. P. 33.
- Дорохов В.Б., Арсеньев Г.Н., Ткаченко О.Н. и др. Психомоторный тест для исследования зрительно-моторной координации при выполнении монотонной деятельности по прослеживанию цели // Журнал высшей нервной деятельности. 2011. Т. 61. № 4. С. 476.

A Method for Non-Invasive Diagnostics of Functional State Disorders in Operators Using the Smooth Pursuit Test

**D. V. Zakharchenko*, V. B. Dorokhov, V. I. Torshin, D. S. Sveshnikov,
I. L. Myasnikov, V. V. Dementienko**

**E-mail: dz-ihna@mail.ru*

The article describes a videooculographic method for the analysis of functional state disorders in operators during the target tracking test. This method is an improved version of smooth pursuit test and can be used to detect and estimate the effect of various negative factors on operators during laboratory experiments. The method is non-invasive and ergonomic; it can be used for continuous data record with different types of videooculography devices (including portable and low-cost models). As an example of how the method is applied, we performed a series of experiments for the detection of negative effects of alcohol intoxication. We observed a linear relationship between changes in the parameters of oculomotor reactions and changes in reaction time to the target stimulus.

Keywords: videooculography, eye-tracking, saccade, target, alcohol, operator, functional state, visual perception, smooth pursuit.