

УДК 612.886-06

А.Г. Якушев, А.А. Якушев

**КОЛИЧЕСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ НИСТАГМОГРАММЫ
В РЕЗУЛЬТАТЕ ПРИЕМА АЛКОГОЛЯ***

Прием этилового алкоголя существенно отражается на способности оператора выполнять свои функции. Это диктует потребность в малоинвазивном контроле состояния оператора. Объективной основой для контроля могут являться записи движений глаз, возникающих в ответ на вестибулярный стимул. В работе предлагается количественный показатель для оценки нистагмограмм.

Нистагмограмма; этиловый алкоголь; стабилизация зрения.

A.G. Yakushev, A.A. Yakushev

**NUMERICAL EVALUATION OF CHANGES IN NYSTAGMOGRAPHIC
RECORDS AS A RESULT OF ALCOHOL INTAKE**

Ethyl alcohol intake significantly affects the ability of an operator to perform his functions. This fact leads to the need for minimally invasive monitoring of a condition of the operator. An objective basis for the monitoring may be records of eye movements arising in response to vestibular stimulation. A quantitative measure for assessing nystagmogram is proposed in the paper.

Nystagmogram; ethyl alcohol; gaze stabilization.

Негативное влияние приема этилового алкоголя на способность человека выполнять операторские функции является общеизвестным. Во всем мире предпринимаются дорогостоящие меры по медицинскому (предполетному, предрейсовому, предвахтенному) осмотру операторов технических систем: пилотов самолетов, водителей автомобилей, машинистов железнодорожных локомотивов, диспетчеров ответственных промышленных технических систем.

Однако в настоящее время стало очевидным, что имеется насущная необходимость в гораздо более строгом и объективном контроле, причем осуществляться он должен не только перед выходом в рейс (на смену, вахту), но и во время работы оператора.

Современные системы такого рода, применяемые на практике, в ряде случаев оказываются неэффективными, а некоторые системы периодически отвлекают оператора от выполнения его функций или создают нездоровый психоэмоциональный фон.

В связи с этим представляется актуальной разработка таких технических методов контроля состояния оператора, которые были бы объективными, недорогими и малоинвазивными: осуществление контрольных мероприятий не должно быть затруднительным или значительно отвлекать оператора от работы. Наоборот, в идеале контроль должен осуществляться непрерывно и незаметно для оператора.

Объективной основой контроля состояния оператора могут служить вестибуло-окулярные рефлексы. В процессе эволюции у человека сформировался важный и целесообразный рефлекс – нистагм, представляющий собой серию содружественных произвольных ритмических движений глаз, состоящих из двух фаз: медленного компенсаторного отклонения глаза в одном направлении и сменяющего его быстрого возвратного скачка в исходную позицию. Физиологическая функция нистагма – стабилизация зрения при поворотах и других движениях головы относительно пространства.

* Работа выполнена при поддержке РФФИ (грант 09-01-00809).

Обычно нистагм возникает при стимуляции одного или нескольких рецепторных входов: вестибулярного, мышечного, зрительного или других. В зависимости от входа нистагм называют: вестибулярным, оптокинетическим, вестибуло-цервикальным, оптокинетическим-вестибуло-цервикальным [2]. Например, если едущий в поезде пассажир смотрит в окно, его глаза плавно сопровождают меняющийся за окном пейзаж, а затем взор скачкообразно перемещается в новую точку фиксации. Это оптокинетический нистагм. Непроизвольный нистагм возникает даже в полной темноте или при закрытых глазах, если вестибулярный аппарат регистрирует движение головы. Такой нистагм называют вестибулярным. Детальная классификация типов нистагмов предложена А.Ф. Сучалкиной [4].

Небольшое число элементов в цепочке, по которой проводится вестибуло-окулярный рефлекс, уменьшает влияние на него других систем. Поэтому нистагм и другие вестибуло-окулярные реакции удобны: для оценки работы вестибулярного аппарата, его взаимодействия с глазодвигательной системой; для оценки функционального состояния оператора; для диагностики и мониторинга различных заболеваний.

Однако оценка записей нистагма зачастую проводится визуально, экспертным путем. Назрела необходимость разработки математических моделей нистагма и выработки количественных критериев его оценки.

При нистагме чередуются медленные и быстрые фазы, причем во время быстрой фазы зрение подавляется. Поэтому восприятие визуального окружения происходит лишь кусочно, в течение медленной фазы, причем к началу каждой новой медленной фазы взор оказывается направленным в новую точку, изображение которой и должно быть стабилизировано.

Функция нистагма, стабилизация картины окружающего мира осуществляется благодаря согласованным движениям головы и глаз. Степень согласования можно характеризовать коэффициентом стабилизации взора [3].

Рассмотрим случай оптовестибуло-цервикального нистагма, когда при открытых глазах совершаются активные повороты головы относительно окружающего пространства по известному закону $\theta = \theta_s(t)$. Направление взора относительно головы измеряется и описывается функцией $\varphi = \varphi_h(t)$. Будем считать, что положение зрительной мишени относительно головы в момент t_i начала i -й медленной фазы совпадает с направлением взора $\psi(t_i) = \varphi(t_i)$. Тогда дальнейшее движение мишени в течение i -й медленной фазы определяется законом

$$\psi(t) = \varphi(t_i) - (\theta(t) - \theta(t_i)), \quad t \in (t_i; T_i),$$

где T_i – момент окончания i -й медленной фазы. Промах взора будет определяться углом между направлением взора и направлением на мишень:

$$\varphi(t) - \psi(t) = (\varphi(t) - \varphi(t_i)) + (\theta(t) - \theta(t_i)), \quad t \in (t_i; T_i).$$

Известно, что для ясного видения образ мишени должен отклоняться не более чем на 2° от центра *fovea*, области ясного видения, и перемещаться по сетчатке с угловой скоростью не более $4^\circ/\text{с}$ [5]. Поэтому будем считать, что мишень видна отчетливо, если одновременно выполнены указанные ограничения и на величину промаха взора, и на скорость ретинального скольжения:

$$|\varphi(t) - \psi(t)| \leq \delta \quad \text{и} \quad |\dot{\varphi}(t) - \dot{\psi}(t)| \leq \lambda, \quad \text{где} \quad \delta = 2^\circ, \quad \lambda = 4^\circ/\text{с}.$$

Пусть τ_i обозначает длительность части i -й медленной фазы, в течение которой одновременно выполнены оба условия ясного видения. Коэффициентом стабилизации взора назовем отношение суммарного времени отчетливого видения к общему времени записи T :

$$\nu = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N \tau_i \cdot 100 \%$$

Для оценки характерного значения величины ν обратимся к практике создания современной кинопроекционной техники, где изображение также демонстрируется зрителю кусочно. В современных кинопроекторах время открытия obturator кинопроектора составляет не менее 50 ÷ 60 % общего времени демонстрации фильма [1].

С целью проведения вестибулярных проб на базе ДПНБ № 18 г. Москвы разработана лабораторная экспериментальная среда. В ее состав входят: 1) электровращательное кресло RS-6, Servomed (Швеция), в систему управления которого внесены технические изменения, позволяющие управлять данным креслом с помощью персонального компьютера и значительно расширить круг движений, осуществляемых креслом; 2) система электроокулографической регистрации движений глаз «Нейро-КМ» производства научно-производственной фирмы «Статокин», Москва; 3) стимуляционный светодиодный экран для калибровки аппаратуры и моделирования саккад; 4) датчик угловой скорости головы; 5) штора, создающая визуальное окружение и обеспечивающая однородную оптокинетическую стимуляцию при движениях головы; 6) стереоскопические очки виртуальной реальности eMagin Z800, eMagin Corp., США, с двухступенным датчиком угловой скорости головы.

Ранее [3] были проведены исследования вестибуло-окулярных реакций с целью определения значений коэффициента стабилизации взора у здоровых испытуемых и больных детским церебральным параличом. Было установлено, что значения параметров нистагма у больных статистически достоверно отличаются от параметров нистагма здоровых испытуемых, что записи нистагма больного характеризуются большей вариабельностью значений параметров нистагменного цикла.

На повторных записях, сделанных у больных ДЦП после 14-дневного курса ипотерапии, визуально отмечается улучшение нистагма, его регуляризация, но небольшой объем выборки не позволил утверждать, что изменение параметров нистагма является статистически достоверным.

Коэффициент стабилизации взора у здоровых и больных испытуемых в описываемом эксперименте отличался значительно, составляя в среднем 56 и 20 % соответственно.

Целью данной работы являлось изучение изменения различных видов вестибулярного нистагма после приема этилового алкоголя у молодых (22–24 года) испытуемых, у которых не обнаружено каких-либо заболеваний ЛОР органов, органов зрения и центральной нервной системы.

Для изучения оптовестибуло-цервикального нистагма использовалась следующая схема эксперимента. Испытуемый располагался на кресле прямо и получал инструкцию совершать синусоидальные движения головой с амплитудой 60° и периодом 8 с при открытых глазах. При этом испытуемый не получал каких-либо специальных инструкций о направлении взора. В помещении включено умеренное освещение, испытуемого окружал фон с однородным неброским рисунком. Движения глаз, возникающие в ответ на движения головы, регистрировались с помощью электронистагмографа.

Другой пример выполненных записей – оптовестибулярный нистагм – регистрировался при пассивном вращении испытуемого вокруг вертикальной оси на электровращательном кресле по синусоидальной программе с амплитудой 60° и периодом 8 с при открытых глазах. Визуальное окружение, инструкции испытуемому и метод регистрации движений глаз были такими же, как и в первом случае.

Для изучения влияния приема этилового спирта на качество стабилизации взора при нистагме запись движений глаз каждого испытуемого производилась дважды: до приема и через 30 минут после приема этилового алкоголя. Дозировка алкоголя определялась из расчета 2 миллилитра водки на 1 килограмм массы испытуемого. Прием алкоголя производился натощак. На рис. 1 и 2 показаны примеры записей оптовестибуло-цервикального и вестибуло-цервикального нистагмов.

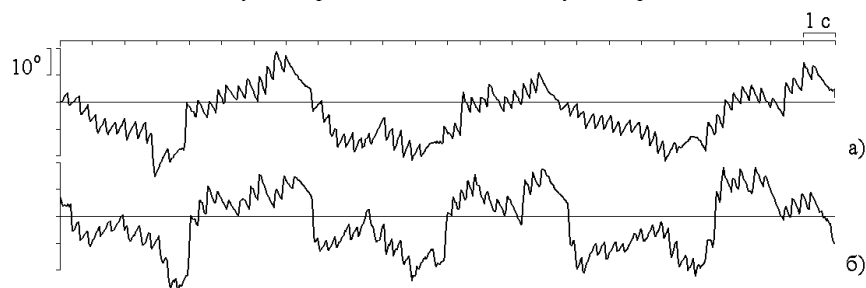


Рис. 1. Запись оптовестибуло-цервикального нистагма: а – до приема этилового спирта; б – через 30 минут после приема этилового спирта

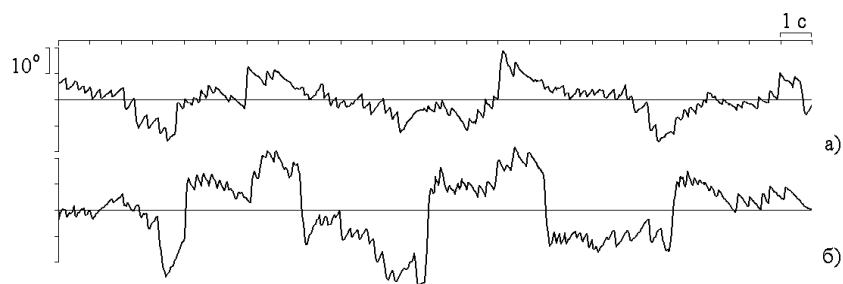


Рис. 2. Запись вестибуло-цервикального нистагма: а – до приема этилового спирта; б – через 30 минут после приема этилового спирта

Таблица 1

Качество стабилизации взора при движениях головы

	Доля от общего времени записи, %				Быстрые фазы
	++	+-	-+	--	
ОВЦН (до приема алкоголя)	47,6	33,4	0,3	0,7	18,0
ОВЦН (после приема алкоголя)	33,1	35,3	4,6	3,9	23,1
ВЦН (до приема алкоголя)	46,9	28,0	1,9	2,4	20,8
ВЦН (после приема алкоголя)	20,7	38,4	6,7	10,3	23,9

Для каждой записи вычислялось значение коэффициента стабилизации взора. Пример полученных результатов для испытуемого П. приведен в табл. 1. Помимо коэффициента стабилизации взора (колонка ++) в этой таблице также показано, какое именно условие ясного видения было нарушено: по угловой скорости (колонка +-), по угловому промаху (колонка -+) или оба условия одновременно

(колонка —), а также указано, какую долю общего времени записи занимали быстрые фазы нистагма.

Изучение характера изменения нистагма, вызванного приемом этилового алкоголя, показывает, что качество стабилизации взора испытуемого существенно ухудшается. Если до приема алкоголя около половины времени наблюдения испытуемый видел окружающую обстановку отчетливо, то после приема алкоголя эта доля снижается на 30–50 %, одновременно увеличивается относительная продолжительность быстрых фаз нистагма за счет увеличения их амплитуд. Кроме того, в целом увеличивается скорость глаза во время медленной фазы нистагма, что ведет к более частым нарушениям условий ясного видения.

По результатам эксперимента можно заключить, что после приема этилового алкоголя возрастает нагрузка на зрительный аппарат человека, а эффективность стабилизации взора при движениях головы существенно уменьшается.

В эксперименте проводился прием водки в дозе, приблизительно эквивалентной концентрации этилового алкоголя в крови порядка 0,8–1,0 ‰, что несколько превышает максимально допустимое ограничение для водителей в большинстве западноевропейских стран. Зарегистрированное для этой дозы существенное уменьшение (на величины порядка 30–50 %) значений коэффициента стабилизации взора показывает, что данный коэффициент может быть использован для оценки функционального состояния оператора.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Лисогор М.М., Черкасов Ю.П.* Кинопроекционная техника и учебная демонстрация кинофильмов: Учебное пособие. – М.: Высшая школа, 1987. – 263 с.
2. *Усачёв В.И.* Взаимодействие вестибулярной, оптической и проприоцептивной сенсорных систем в процессе реализации вращательного нистагма // Сенсорные системы. – 1995. – Т. 9, № 4. – С. 42-47.
3. *Штефанова О.Ю., Якушев А.Г.* Критерий качества зрительного слежения при нистагме // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика. – 2008. – № 4. – С. 63-65.
4. *Якушев А.Г., Каспранская Г.Р., Сучалкина А.Ф., Штефанова О.Ю.* Математическое моделирование нистагма как механизма стабилизации взора при движении // Известия Института инженерной физики. – 2009. – № 14. – С. 27-31.
5. *Burr D.C., Ross J.* Contrast sensitivity at high velocities // Vision Research. – 1982. – Vol. 28. – P. 479-484.

Якушев Андрей Германович

Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова.
E-mail: moids@yandex.ru.
119991, г. Москва, Ленинские горы.
Тел.: 84959392800.

Якушев Анатолий Андреевич

E-mail: stool@yandex.ru.
117192, г. Москва, Ломоносовский проспект, 31, корп. 5.
Тел.: 84959328581.

Yakushev Andrey Germanovich

Moscow M.V. Lomonosov State University.
E-mail: moids@yandex.ru.
Leniskie Gory, Moscow, 119991, Russia.
Phone: +74959392800.

Yakushev Anatoly Andreevich

E-mail: stool@yandex.ru.
31-5, Lomonosovsky prospekt, Moscow, 117192, Russia.
Phone: +74959328581.