

Фундаментальные науки – медицине : материалы Междунар. науч. конф. (Минск, 17 мая 2013 г.). В 2 ч. Ч. 2 / Нац. акад. наук Беларуси, Ин-т физиологии. – Минск: Беларус. навука, 2013. – 438с.

*Г. И. ПРОТАСЕВИЧ, А. И. КУБАРКО*

## **ЛОКАЛИЗАЦИЯ СЕНСОРНЫХ СТИМУЛОВ И ИСПРАВЛЕНИЕ ОШИБОЧНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ МОЗГОВЫМ ДЕТЕКТОРОМ ОШИБОК**

*Белорусский государственный медицинский университет, Минск, Беларусь*

Глаза человека совершают саккады (СК) в направлении звуковых или световых стимулов с латентным периодом (ЛП) 180–240 мс, при этом обычно взор переводится относительно точно в координату предъявляемой визуальной цели. В случае совершения дисметричной СК, она исправляется небольшой коррекционной саккадой (КСК) с ЛП около 90 мс [1]. При осуществлении антисаккад (АСК), кроме дисметричных движений, наблюдаются ошибочные движения глаз, когда первоначально они совершают СК и затем, обычно еще до ее завершения, исправляют ошибку коррекционным движением. Временные показатели осуществления нормальных и ошибочных СК, время необходимое для обнаружения

ошибочных движений глаз и их исправления, увеличиваются у пациентов с рассеянным склерозом [2].

Выдвинуто мнение, что обнаружение ошибок при осуществлении движений глаз и их исправление, происходит при участии мозгового детектора ошибок, исследование механизмов которого стало предметом пристального внимания нейрофизиологов и психологов [3]. Предполагается, что в функционировании мозгового детектора ошибок принимают участие нейронные сети, распределенные в коре передней части поясной извилины, коре медиальной поверхности лобной доли, коре латеральной поверхности префронтальной области, передней части островка, базальных ядрах [5]. При этом нейроны коры передней части поясной извилины, глазных полей лобной и дополнительной моторной коры, вероятно, непосредственно вовлечены в осуществление процессов выявления и коррекции ошибочных движений глаз, но их механизмы остаются пока недостаточно изученными [3, 5]. В частности, пока исследователи не располагают достаточными сведениями о показателях функционирования мозгового детектора по исправлению ошибочных движений, наблюдаемых в контролируемых условиях.

Цель настоящего исследования – изучить точность локализации сенсорных стимулов и основные характеристики нормальных и дисметричных СК, АСК на действие стимулов различной модальности: световых (СС), звуковых (ЗС), электрических (ЭС), а также характеристики КСК, использовавшихся мозговым детектором для исправления ошибочных движений глаз.

**Материалы и методы.** Показатели движений глаз изучены у 46 здоровых испытуемых 18–30 лет в условиях предъявления СС, ЗС и воздействия слабого ЭС. Исследование проводилось в затемненном помещении после 10–15-минутной адаптации испытуемого к темноте. Участник исследования располагался в кресле напротив монитора на расстоянии 30 см от экрана и его просили отслеживать глазами движения визуальной цели на экране. Движения глаз регистрировались методами синхронизированных электро- и видеоокулографии. Для минимизации влияния эмоционального состояния испытуемых на выявление мозгом ошибочных действий исследования проводились в условиях максимального комфорта и сотрудничества для точного выполнения заданий.

Возникающие при движении глаз изменения величины роговично-сетчаточного потенциала отводились неполяризуемыми  $\text{AgCl}_2$  электродами от поверхности кожи у наружных и внутренних уголков глаз, сообщались усилителем биопотенциалов «Bioelektric amplifier AB-60G» фирмы «Nihon Kohden», (Япония) и после преобразования в цифровую форму с частотой дискретизации 500 Гц подавались на вход компьютера для формирования электроокулограммы. Видеорегистрация движений глаз проводилась с помощью цифровой камеры PS3EYE фирмы «Sony» с частотой 120 кадров в секунду в условиях инфракрасной подсветки светодиодами.

В качестве одного из подходов к наблюдению ошибочных движений глаз было использовано слежение испытуемыми за быстрым перемещением на экране монитора точечной визуальной цели саккадами глаз. При этом испытуемых просили, как можно быстрее переводить глаза в новую координату, когда цель мгновенно смещалась с центра экрана монитора и, зафиксировав взор на цели, быстро



возвращать его в центр экрана. К моменту возврата взора светящейся точки в центре экрана уже не было и, таким образом, если центрифугальная саккада (ЦФСК) осуществлялась в координату реального расположения визуальной цели, то центрипетальная (ЦПСК) происходила по памяти.

В условиях осуществления таких быстрых баллистических движений глаз, нервные центры, контролирующие сокращение глазных мышц, должны обеспечивать высокую точность посылки команд для начального ускорения поворота глазных яблок и последующего их прецизионного торможения [1, 4]. Точный контроль реципрокных отношений центров, регулирующих сокращение и расслабление наружных глазных мышц при осуществлении быстрых движений глаз, даже у здорового человека достигается не всегда, и это проявляется возникновением ошибок в виде гипометричных или гиперметричных ЦФСК и ЦПСК.

В качестве критерия обнаружения мозговым детектором таких дисметричных саккад использовали факт их исправления коррекционной саккадой. У каждого испытуемого записывали 13–15 циклов СК и АСК движений глаз. При этом было зарегистрировано и проанализировано 571 дисметричных ЦФСК, 317 дисметричных ЦПСК и 149 – ошибочного направления.

Вторым подходом для наблюдения ошибочных движений глаз, их выявления мозговым детектором и коррекции было осуществление АСК. Для этого испытуемым предлагалось быстро перемещать глаза в зеркальную координату по отношению к координате предъявляемой визуальной цели и после кратковременной фиксации их в мнимой точке экрана возвращать глаза в его центр.

У здоровых людей ошибки при выполнении АСК могли проявляться дисметричными движениями глаз, движениями неправильного направления, искаженной траекторией.

Для наблюдения нормальных и ошибочных движений глаз использованы также тесты, при выполнении которых испытуемых просили быстро поворачивать глаза с центральной фиксационной точки экрана на одну из постоянно светящихся точек, расположенных по горизонтали на расстоянии 20 угловых град от центра. Поворот глаз необходимо было осуществлять в момент, когда в правое или левое ухо испытуемого с помощью стереонаушников подавался ЗС надпороговой силы в диапазоне частот 1–3 кГц, длительностью 10 мс, или быстро поворачивать глаза к светящейся точке в момент действия слабого ЭС. В качестве ЭС использовался импульс постоянного электрического тока надпороговой силы

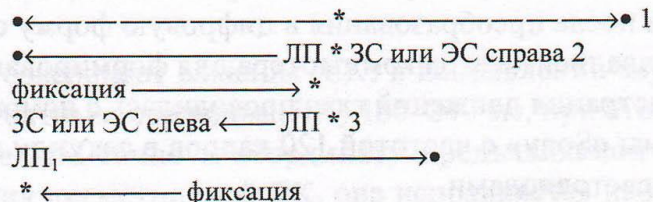


Рис. 1. Схематическое представление расположения светящихся точек на экране монитора (1); антисаккадического поворота глаз на 20 град влево (●←-ЛП\*), их фиксации и возврата в центральное положение (→\*) на действие ЗС или ЭС справа (2); ошибки направления движения глаз на ЗС или ЭС слева при осуществлении антисаккады (← ЛП\*), ее исправления коррекционной саккадой (ЛП<sub>1</sub> →●), периода фиксации и ЦПСК (\*←-) (3)



(2 мА), длительностью 5 мс, который наносился с помощью электродов на кожу в области внутренней поверхности правой или левой руки на границе предплечья и кисти. Для осуществления СК испытуемого просили быстро поворачивать глаза к светящейся точке экрана, расположенной на стороне воздействия ЭС, а для АСК – к точке на противоположенной стороне по отношению к ЭС (рис. 1).

**Результаты.** При анализе записей движений глаз рассчитывали ЛП, амплитуду и длительность СК, АСК и КСК, длительность межсаккадических интервалов, скорость движений глаз, оценивали характер совершенных ошибок и рассчитывали временные интервалы, в течение которых они обнаруживались и исправлялись мозговым детектором ошибок.

Выявлено, что временные затраты сенсорных и глазодвигательных структур зрительной системы на подготовку и осуществление ЦФСК и ЦФАСК на различные стимулы неодинаковы. Так, ЛП, отражающий затраты времени на восприятие стимула и инициирование поворота глаз к нему, был более коротким для ЦФСК на ЗС ( $201 \pm 34$  мс,  $p < 0,02$ ) и на ЭС ( $206 \pm 33$  мс,  $p < 0,05$ ), чем на СС ( $254 \pm 34$  мс). Большая продолжительность ЛП была для АСК, чем СК, на все применявшиеся стимулы, но меньшая для АСК на ЗС и ЭС, чем для АСК на СС. Продолжительность фиксации была сравнимой или несколько короче, чем ЛП нормометричных и дисметричных СК и АСК.

Гипометричные ЦФСК и АСК отмечались чаще, чем ЦПСК и АСК на все типы стимулов. Амплитуда дисметричных ЦФСК и АСК на все стимулы была меньше, чем амплитуда ЦПСК и АСК. Латентный период КСК, с помощью которых исправлялись дисметричные ЦФСК на все стимулы, был более чем в 2–4 раза короче, чем ЛП нормометричных ЦФСК. При этом ЛП коррекции дисметричных ЦПСК был также менее продолжительным, чем нормометричных, но более продолжительным, чем ЛП коррекции дисметричных ЦФСК.

Анализ допущенных участниками исследования ошибок в выборе направления движения глаз показал, что при выполнении СК на СС испытуемые их не допускали, а частота ошибок была наибольшей при осуществлении АСК на ЭС (9,4 %) и на ЗС (6,7 %) против 1,7 % на СС. Ошибки направления движения обнаруживались, как правило, еще до завершения ошибочной СК, и они прерывались и исправлялись коррекционными СК через ЛП в 3–4 раза, более короткий, чем ЛП осуществления нормальных СК и АСК.

**Выводы.** Таким образом, результаты проведенного исследования показали, что независимо от различий в нейронных путях восприятия сигналов на свет, звук и электрическое воздействие, мозговой детектор ошибок практически одинаково эффективно распознает и исправляет быстрые дисметричные движения глаз на эти сигналы разной модальности. Поскольку при коррекции дисметричных СК, АСК они исправляются через очень короткий ЛП, а быстрые движения глаз ошибочного направления прерываются еще до своего завершения и исправляются коррекционными саккадами через ЛП в 3–4 раза более короткий, чем ЛП осуществления нормальных СК и АСК, то весьма вероятно, что мозговой детектор ошибок использует для выявления и коррекции ошибочных движений глаз сигналы эфферентной копии моторных команд, посылаемых глазодвигательными центрами к наружным глазным мышцам.

## Литература

1. Кубарко А. И. // Новости мед.-биол. наук. 2012. Т. 5 (1). С. 5–20.
2. Кубарко А. И., Кубарко Н. П. // Журн. неврологии и психиатрии им. Корсакова. 2008. № 6. С. 47–51.
3. Bechtereva N. P. et al. // Int. J. Psychophysiol. 2005. Vol. 58. P. 227–235.
4. Kubarko A. I. // Human Physiology. 2012. Vol. 38 (2). P. 137–144.
5. Jessup R. K., Busemeyer J. R., Brown J. W. // J. Neurosci. 2010. Vol. 30 (9). P. 3467–3472.