

УДК 612.846.3.014.421.8:778.347

## ДИФФЕРЕНЦИРОВАННОЕ ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЗРИТЕЛЬНОЙ СИСТЕМОЙ СИГНАЛОВ ОБРАТНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ ДЛЯ КОРРЕКЦИИ ОШИБОЧНЫХ И ДИСМЕТРИЧНЫХ ДВИЖЕНИЙ ГЛАЗ

А.И. Кубарко, Д.М.Н., профессор

Белорусский государственный медицинский университет, г. Минск

*В статье приведены данные количественной оценки статических и динамических свойств коррекционных саккад здоровых людей. Данные о различии в продолжительности латентных периодов, скорости и других показателей коррекционных саккад, используются для обсуждения стратегий зрительной системы в обработке сенсорных сигналов и организации нормальных и коррекционных движений глаз.*

**Ключевые слова:** саккады глаз, коррекционные саккады, механизмы регуляции.

*The article presents the data of a quantitative estimation of corrective saccades' static and dynamic features in healthy people. The distinctions in latency, velocity and other parameters of corrective saccades are used for discussion of the visual system strategy in normal and corrective eye movements development.*

**Key words:** eye saccades, corrective saccades, control mechanisms.

Чрезвычайная сложность нейронной организации зрительных функций не только обеспечивает их высокую точность и надежность, но и создает предпосылки для возникновения ошибок при их осуществлении [1]. Примером могут быть хорошо известные факты возникновения у здорового человека зрительных иллюзий, других сенсорных и моторных нарушений, число и степень которых возрастают при заболеваниях ЦНС [2, 3, 6]. Среди этих нарушений часто выделяются ошибки в точности захвата зрением статической или движущейся визуальной цели, на которую мы переводим взор с помощью быстрых движений глаз. При быстром перемещении взора на цель, зрительная система в течение некоторого времени не может получать сигналы обратной афферентации от сетчатки, что, по-видимому, обусловлено снижением чувствительности зрительной системы в процессе осуществления саккады и длительностью минимального промежутка времени, необходимого для восприятия ею визуальных сигналов. Этот промежуток времени получил название периода открытой петли [7].

В настоящем исследовании проведен анализ процессов осуществления коррекции движений глаз в случаях, когда человек выполнял дисметричные саккады, саккады ошибочного направления и саккады для захвата зрением цели в виде движущейся полосы и последующего слежения за ее плавным перемещением по экрану монитора. Показатели движений глаз проанализированы у 27 студентов возраста 18-20 лет. Испытуемый располагался в кресле напротив монитора на расстоянии глаз 30 см от экрана, его голова фиксировалась помещением подбородка на специальную опору. Испытуемому предлагалось следить глазами за скачкообразным перемещением зрительных объектов в виде светящегося квадрата, за плавным перемещением вертикальной светлой полосы по экрану монитора, и при исчезновении полосы за краем экрана, мгновенно перевести взор на противоположный край монитора и захватить зрением

новую, появляющуюся полосу для слежения за ее перемещением по экрану.

Движения глаз регистрировались методом электроокулографии. Формирование на экране движущихся визуальных объектов, их скорость, направление перемещения и другие параметры движения задавались с помощью специальной компьютерной программы. Анализ длительности, скорости саккадических движений глаз и длительности открытого петлевого периода при коррекции неточности захвата зрением движущейся полосы также осуществлялся с помощью специальной программы [1].

Глаза испытуемых для слежения за перемещением светящегося квадрата совершали поворот в горизонтальной плоскости на 20 град, а при прослеживании движения полосы от одного края экрана к другому и саккадического перевода взора обратно для захвата новой полосы совершали поворот в горизонтальной плоскости на угол 54 град. Средние значения продолжительности саккады в первом случае составляли около 80 мс, а во втором – 190 мс. В последнем случае средняя угловая скорость, развивавшаяся глазными яблоками, достигала 300 град/с, и пиковая угловая скорость более 500 град/с. Из этих данных следует, что в условиях развития такой высокой скорости движения глаз нервные центры, контролирующие сокращение глазных мышц, должны были для точного захвата зрением визуального объекта и, в том числе, движущейся полосы, обеспечивать прецизионное торможение глазных яблок. Такое точное торможение даже у здорового человека достигается в небольшом числе случаев и, например, когда захват полосы оказывается не точным, ошибка исправляется новой коррекционной саккадой, осуществляемой через промежуток времени, равный длительности открытого петлевого периода. Коррекционная саккада идентифицируется на электроокулограмме отдельным пиком, по положению которого рассчитываются длительности латентного и открытого петлевого периодов.

Длительность открытого петлевого периода со-

ставила у испытуемых  $160,4 \pm 32,4$  мс, длительность латентного периода для саккад на визуальный стимул  $239,7 \pm 28,9$  мс, для коррекции саккад ошибочного направления  $88,6 \pm 37,3$  мс, для коррекции гипометричных саккад  $96,0 \pm 27,4$  мс и для коррекции гиперметричных саккад  $240,6 \pm 42,4$  мс. Сопоставление продолжительности открытого петлевого периода с приведенными значениями латентных периодов показывает, что она существенно больше, по сравнению с длительностью латентного периода коррекционных саккад, осуществляемых для исправления движений глаз ошибочного направления и для исправления гипометричных саккад.

Проведенный нами анализ длительности латентных периодов коррекционных саккад и их связи с условиями, вызывавшими саккадические движения глаз, позволили прийти к заключению, что при коррекции движений глаз используются сигналы обратной афферентации двух типов. Это сигналы от фоторецепторов сетчатки поступающие в центры зрения по зрительным путям и, вероятно, копии эфферентных сигналов, ранее посланных глазами моторными центрами к наружным мышцам глаз и к нейронным структурам, контролирующим точность выполняемого движения. Выбор зрительной системой типа сигналов, используемых для определения точности исполнения движений глаз и их коррекции при ошибочности этих движений, зависит от временных ограничений возможности их восприятия, обработки зрительной системой и использования глазодвигательными центрами для осуществления коррекции движений глаз.

Так, при ошибках, допущенных во время исполнения саккад (при их гипометрии или ошибочности направления саккадического движения глаз), когда временные возможности получения сигналов о совершенной ошибке составляют лишь 10-20 мс, их получение зрительной системой от сетчатки по зрительным путям и использование глазодвигательными центрами для осуществления коррекционных движений глаз невозможно. Это следует из измеренной у этих испытуемых длительности латентного периода саккадических движений глаз на визуальные стимулы ( $239,7 \pm 28,9$  мс), которая в десять и более раз превышала время (10-20 мс), затрачивавшееся на обнаружение ошибки и начало ее исправления коррекционной саккадой ( $96,0 \pm 27,4$  мс для коррекции гипометрии и  $88,6 \pm 37,3$  мс для коррекции саккад ошибочного направления). Мы предположили, что в этих случаях зрительная система использует в качестве сигналов для выявления ошибок и коррекции саккад копии эфферентных сигналов, ранее посланных к наружным глазным мышцам. Их источниками могут быть нейронные структуры ствола мозга и мозжечка, хранящие копии эфферентных команд и связанные с глазодвигательными центрами ствола короткими локальными нейронными сетями для срочного обеспечения их сигналами обратной связи [4,5].

При осуществлении оценки точности захвата зрением движущейся цели складываются другие условия, чем при коррекции гипометрических сак-

кад или саккад ошибочного направления. Мало вероятно, чтобы при формировании команд на совершение глазной саккады для захвата зрением движущейся полосы, копия эфферентных сигналов могла посылаться для ее использования при выявлении точности захвата движущегося объекта. Это обусловлено тем, что скорость движения полосы, ее координаты на экране в момент захвата зрением, динамика торможения глазных яблок, двигавшихся с большой скоростью, на момент формирования двигательных команд зрительной системе не известны и носят вероятностный характер. Можно предполагать, что в этих условиях для подтверждения точности захвата зрением движущейся полосы зрительная система скорее будет использовать реальные визуальные сигналы сетчатки, как и в случае осуществления саккад на появление визуального стимула в эксцентричной координате на экране монитора.

В пользу этого предположения свидетельствуют полученные значения продолжительности открытого петлевого периода (160 мс), которые почти в 2 раза превышает латентные периоды коррекционных саккад (около 90 мс). Такое существенное различие дает основание считать, что при осуществлении коррекции неточности захвата зрением цели зрительная система использует в качестве сигналов обратной связи зрительные сигналы сетчатки.

Таким образом, результаты настоящего исследования подтверждают ранее выдвинутое предположение о том, что зрительная система может использовать для контроля и коррекции движений глаз сигналы обратной афферентации двух типов: от фоторецепторов сетчатки и копии эфферентных сигналов, ранее посланных к нейронным структурам, контролирующим точность выполняемого движения [1,2]. Выбор типа сигналов, используемых для определения точности исполнения движений глаз и их коррекции при ошибочности этих движений, зависит от временных ограничений возможности их восприятия, обработки зрительной системой и использования глазодвигательными центрами для осуществления коррекции движений глаз.

#### Литература

1. Кубарко А.И. Временные параметры обработки сенсорных сигналов головным мозгом при осуществлении ошибочных глазных саккад и их коррекции // Медицинский журнал. – 2006. – Т. 18, № 4. – С. 64-68.
2. Кубарко А.И., Кубарко Н.П. Коррекционные глазные саккады у больных рассеянным склерозом // Журнал неврологии и психиатрии им Корсакова. – 2008. – № 6. – С. 47-51.
3. Кубарко Ю.А. Показатели быстрых движений глаз у больных рассеянным склерозом // Здравоохранение. – 2006. – № 12. – С. 4-8.
4. Leigh R.J., Kennard C. Using saccades as a research tool in the clinical neurosciences // Brain. – 2003. – Vol. 7. – P.1-18.
5. Optican L.M., Quaia C. Distributed model of collicular and cerebellar function during saccades // Ann. NY Acad.Sci. – 2002. – Vol. 956. – P.164-177.
6. Ramat S., Leigh R.J., Zee D.S., Optican L.M. What clinical disorders tell us about the neural control of saccadic eye movements // Brain. – 2007. – Vol. 130. – P. 10-15
7. Sharpe J.A., Morrow M.J. Smooth pursuit disorders: physiological and anatomical considerations // Vestibular disorders. Hugh O., Barber H.O., Sharpe J.A. Ed.- Year Book Medical Publishers, INC.-1988.-282 p.

Поступила 09.04.09