

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ ДИАГНОСТИКА И ДИАГНОСТИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ В ВОССТАНОВИТЕЛЬНОЙ МЕДИЦИНЕ, СПОСОБЫ РЕЗЕРВОМЕТРИИ

ОТОБРАЖЕНИЕ СТЕПЕНИ ПОРАЖЕНИЯ ГОЛОВНОГО МОЗГА И ДИНАМИКИ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ У НЕВРОЛОГИЧЕСКИХ БОЛЬНЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НОВЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ГЛАЗОДВИЖЕНИЙ

УДК 616-07

^{1,2}Доценко В.И., ³Штефанова О.Ю., ³Якушев А.Г., ⁴Каспранская Г.Р., ³Боков Т.Ю.

¹Научный центр здоровья детей РАМН, г. Москва

²ООО Научно-медицинская фирма «Статокин», г. Москва

³ФГОУ ВПО «Московский государственный университет им. М.В. Ломоносова», г. Москва

⁴ГОУ ВПО «Первый Московский государственный медицинский университет им. И.М. Сеченова»
Минздравсоцразвития РФ, г. Москва

Введение

В исследованиях отечественных и зарубежных неврологов расстройствам функции движений глаз традиционно уделялось большое внимание. Действительно, анализ глазодвигательной функции даже при исключительно визуальном наблюдении – единственно доступном клиницистам вплоть до первой половины XX века – предоставлял ёмкую информацию о топическом поражении структур ЦНС, особенно при использовании несложных позиционных приёмов. По мнению замечательного отечественного невролога Я.Ю. Попелянского, «в сфере сложных взаимоотношений вестибуло-окулярных путей и центров клинический метод был особенно мастерски использован старыми неврологами XIX и начала XX веков. Если мы и в сфере проблемы зрения готовим почву для исследователей XXI века, нельзя, как указывал И.П. Павлов, взбираться на вершину науки, не освоив её азы. Нет лучшего способа двигаться от незнания к знанию, как совершать этот путь вместе с первопроходцами – знакомясь с первоисточниками» [4]. В значимости точной и оперативной регуляции движений глаз для жизнедеятельности человека не приходилось сомневаться. Закономерным представляется и отражение некоторых особенностей поведения, реагирования человека на различные жизненные ситуации в метких метафорах русского языка – например, «бегающие глазки» у человека, находящегося не в ладах со своей совестью, или «застывшие от ужаса глаза» и др.

Трудно переоценить роль глазодвигательной системы в жизнедеятельности человека и её значение для диагностики различных патологических состояний. Глазодвигательная система регулируется сложной иерархией иннервационных механизмов, расположенных на разных и многочисленных вертикальных уровнях ЦНС. Именно этим объясняется возникновение самых различных нарушений движений глаз при очаговых, диффузных и отчасти функциональных поражениях мозга; нередко наблюдается формирование т.н. «симптомов на отдалении». Но, с другой стороны, подобное рассредоточение морфологического субстрата глазодвижений в веществе головного мозга, полностью оправдывая народную мудрость «не класть яйца в одну корзину», является залогом того, что у человека не существует ни одной зоны

ствола или мозговых полушарий, разрушение которой выключало бы взор во всех направлениях или, скажем, все виды горизонтального взора [4]. А применительно к проблеме восстановительной неврологии это же обстоятельство полифокальности центров глазодвижений создаёт, в свою очередь, реальные предпосылки весьма эффективной компенсации частичного выпадения глазодвигательных функций. В целом же удобство, достоверность и точность регистрации движений глаз с использованием современных компьютерных методов и чёткие корреляции конкретных глазодвижений с активностью локальных нейронных групп на разных уровнях нервной системы являются предпосылкой объективной топической диагностики в неврологии, реабилитологии и психофизиологии [4; 7].

Нистагм как особое проявление глазодвигательной активности, с чёткой сменой быстрой и медленной фаз, формируется в эволюционном ряду достаточно рано – у большинства позвоночных холонокровных и, естественно, присутствует у всех теплокровных животных, подтверждая биологическую важность этой реакции для жизнедеятельности организма. С другой стороны, в онтогенезе вестибулярный нистагм появляется последним в числе прочих вестибулярных реакций, что служит подтверждением востребованности для реализации нистагма более зрелых и дифференцированных мозговых структур (Г.А. Образцова, 1964 – цит. по [3]).

Большая часть разновидностей нистагма (исключая спонтанный нистагм и некоторые другие его виды) по времени возникновения реакции и по направлению (согласно [3] важнейшей из особенностей нистагмной реакции является её векториальность) однозначно связана с двигательной ситуацией перемещения организма человека и, в частности, его головы в пространстве, с постоянно меняющимся зрительным окружением. В этом отношении нистагм как проявление жизнедеятельности несёт явно позитивную направленность в плане приспособления организма к существованию в условиях произвольной двигательной активности и пассивных перемещений [3]. Действительно, способствуя более длительной фиксации зрительных образов на сетчатке при угловых движениях головы и глаз, генерируемый адекватно ситуации нистагм позволяет, по мнению мно-

гих современных авторов и представителей классической школы отолотов и неврологов, эффективно борются с головокружением, осциллопиями и иллюзорным восприятием действительности. Наверное, не покажется слишком категоричным утверждение этих авторов, что во многом несостоятелен в своих адаптационных возможностях человек, у которого или от рождения, или вследствие какого-либо заболевания не сформирована или разрушена нистагмогенная система.

Справедливости ради следует отметить, что ставший уже классическим тезис об универсальности и высокой степени необходимости якобы происходящей фиксации зрительных образов на сетчатке в период медленной фазы нистагма при угловых перемещениях человека далеко не бесспорен. Сомнения в этой универсальности порождает тот факт, что ни при одном типе нистагма скорость медленной компоненты не соответствует скорости пассивного вращения пациента или произвольного поворота головы, что логично должно иметь место в случае действительно происходящей эффективной фиксации зрительного образа на сетчатке. Эта точка зрения о ней такой уж высокой биологической значимости нистагма для целей зрительной фиксации в корректных границах отстаивается некоторыми исследователями, в т.ч. и одним из авторов настоящей публикации [6].

Одна из функций нистагма, выработанная в процессе произвольного перемещения человека в пространстве – стабилизация на сетчатке картины окружающего мира – осуществляется благодаря согласованным движениям головы и глаз. Этим обстоятельством обусловлено оформление одного из современных стандартов проведения исследований движений глаз – исключительно в системе координат движений и положения головы относительно гравитационной вертикали, а не изолированно, как это в докомпьютерную эру науки многие десятилетия практиковалось раньше.

Из теоретических предпосылок значимости исследований нистагма как одной из важнейших форм глазодвигательной активности, неразрывно связанной с координатными ей движениями головы, следует указать и на такие факты. Эволюция сетчатки высших млекопитающих пошла по пути её дифференцирования, в том числе выделения у приматов зоны высочайшего разрешения **fovea для дневного и цветового зрения, занимающей на сетчатке человека всего лишь около двух угловых градусов**. В группе фовеальных животных (прежде всего, человека) для решения задачи активного исследования окружающего мира был создан принципиально новый глазодвигательный механизм активного помещения информативно значимых деталей сетчаточных изображений объектов на **fovea (фовеация)**. Благодаря содружественным движениям глаз в орбитах и головы положение зрительной оси в пространстве (мнимая линия, соединяющая fovea и зрительный объект) у человека остаётся неизменным. Среди безусловных рефлексов, при помощи которых осуществляются стабилизация изображения на сетчатке и рассматривание окружающего мира, в том числе и в движении, главными являются вестибулоокулярный и оптомоторный рефлексы – нистагм выступает как одно из их проявлений [9].

Материалы и методы исследования.

С учётом изложенных выше фактов были проведены исследования по изысканию новых показателей глазодвижений, отражающих глубину морфологических или функциональных неврологических расстройств, именно в модели различных по происхождению нистагмов, а не других глазодвигательных феноменов. Проанализированы нистагмы с участием вклада нескольких сенсорных систем.

Целью данной работы явилось изучение возможностей использования и информативности ранее пред-

ложенного [8] коэффициента стабилизации зрения (КСВ) при различных видах экспериментального нистагма, представляющего собой количественное выражение согласования (а в условиях патологии, соответственно, и глубину рассогласования) движений головы и глаз. По нашему предположению, КСВ может выступить показателем состояния вестибулярной функции и ЦНС у обследованных групп сравнения: здоровых лиц в условиях физиологического покоя и в экстраординарных ситуациях, у больных с неврологической патологией и с изолированным поражением вестибулярной системы.

С целью проведения нагрузочных проб на клинической базе Отделения восстановительного лечения детей с церебральными параличами НЦЗД РАМН при участии сотрудников механико-математического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова разработана лабораторная экспериментальная среда. В её состав входят: 1) электро-вращательное кресло RS-6 (Servomed, Швеция); 2) система электроокулографической регистрации движений глаз с датчиком угловой скорости головы – Аппаратно-программный комплекс «Нейро-КМ – Электронистагмограф» (разработка и производство НМФ «Статоким», Россия); 3) стимуляционный светодиодный экран для калибровки угловых смещений глаз (соотнесение мВ с угловыми градусами) и моделирования саккад; 4) штора, создающая визуальное окружение и обеспечивающая однородную оптокинетическую стимуляцию при произвольных движениях головы или вращениях кресла; 5) стереоскопический шлем виртуальной реальности eMagin Z800 (eMagin Corp., США) с двухстепенным датчиком угловой скорости головы.

В литературе [2, 5, 6] – в зависимости от вовлечения в генерацию нистагмов одного или в разных комбинациях нескольких сенсорных входов (вестибулярного, зрительного и проприоцептивного) – их подразделяют на вестибулярный (ВН), оптокинетический (ОКН), вестибулоцервикальный (ВЦН), оптовестибулоцервикальный (ОВЦН).

Следует отметить, что перечисленные виды нистагма, хотя и могут вызываться в модельных экспериментальных условиях, являются естественными для повседневной жизнедеятельности человека и неизбежно провоцируются в ходе постоянно осуществляемых активных и пассивных (в транспорте, на каруселях и т.д.) перемещений человека. Они являются рефлекторным ответом на приложение к соответствующим афферентным входам естественных, эволюционно обусловленных, не чужеродных и экологически безопасных для человека раздражителей (вестибулярная и зрительная стимуляция, шейная проприоцепция). Эти виды нистагма были изучены и в нашем исследовании, с прицельным вниманием к ОВЦН как наиболее богатому с позиций сенсорного вклада нистагму.

ОВЦН генерируется при совершении человеком произвольных вращательных движений головой в горизонтальной плоскости (вправо – влево) на свету с открытыми глазами. Вестибулярная стимуляция при этом обеспечивается раздражением вестибулярных рецепторов горизонтальных полукружных каналов перемещением эндолимфы вследствие приложения к ней механической энергии угловых ускорений в ходе вращений головой. Оптокинетическая стимуляция происходит в результате постоянного циклического перемещения объектов в поле зрения, а проприоцептивная стимуляция – в ходе повторяющегося раздражения проприоцепторов цервикальных мышц, сухожилий, связок и суставных образований шейного отдела позвоночника.

Важным показателем нормальной работы нервной и глазодвигательной систем является обеспечение достаточного по продолжительности т.н. интервала (времени) чёткого видения зрительного образа при

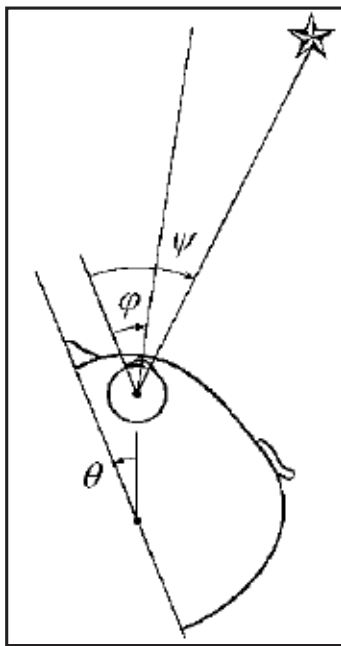


Рис. 1. Углы поворота: q – головы относительно неподвижного пространства, j – глазного яблока относительно головы и y – зрительной мишени относительно головы.

его проецировании на сетчатку. Это возможно при обязательном выполнении двух условий: образ мишени должен отклоняться не более 2° от центра fovea, области ясного видения, и перемещаться на сетчатке с угловой скоростью не более $4^\circ/\text{с}$.

По опыту создания кинопроекционной техники известно, что для хорошего зрительного восприятия интервал чёткого видения должен составлять не менее 50-60% от общего времени слежения за образом и его проецирования на сетчатку. При этом по субъективным ощущениям зрительные образы видны отчётливо.

К сожалению, ранее не существовало клинических либо инструментальных технологий вычисления доли интервала чёткого видения в общей продолжительности слежения за объектом – как при произвольном прослеживании, так и при рефлекторном во время медленной фазы нистагмического цикла. Предлагаемые подходы впервые позволили определять продолжительность указанного интервала, выраженную в показателе КСВ.

Движения глаз регистрировались методом классической биполярной электроокулографии при помощи АПК «Нейро-КМ – Электронистагмограф», который базируется на усилителе биопотенциалов постоянного тока с минимизацией артефактных сигналов и программным нивелированием проистекающей на неполяризуемых хлорсеребряных регистрирующих электродах собственной электрохимической активности. Одновременно этим же комплексом регистрировалась угловая скорость произвольных вращательных движений головы в горизонтальной плоскости или вращения кресла в условиях неподвижного положения пациента.

В результате ряда математических вычислений по заложенному в программное обеспечение специальному алгоритму определялась доля интервала чёткого видения в общей продолжительности медленной фазы

нистагма; в наиболее информативном варианте объектом исследования выступал ОВЦН.

В случае ОВЦН активные повороты головы при открытых глазах совершаются относительно окружающего пространства по известному закону $q = q_s(t)$ (рис. 1). Направление взгляда относительно головы измеряется и описывается функцией $j = j_p(t)$. Будем считать, что положение зрительной мишени относительно головы в момент t_i начала i -й медленной фазы нистагма определяется направлением взгляда $y(t_i) = j(t_i)$. Тогда дальнейшее движение мишени в системе координат, связанной с головой, в течение i -й медленной фазы определяется законом

$$y(t) = j(t_i) - (q(t) - q(t_i)), t \in (t_i; T_i),$$

где T_i – момент окончания i -й медленной фазы.

Промакх взгляда равен углу между направлением взгляда и направлением на мишень:

$$j(t) - y(t) = (j(t) - j(t_i) + (q(t) - q(t_i))), t \in (t_i; T_i)$$

Приведём формулу вычисления КСВ. Пусть t_i обозначает длительность той части i -й медленной фазы нистагмического цикла, в течение которой одновременно выполнены оба условия ясного видения (напомним, что это отклонение образа мишени от центра fovea не более 2° и его перемещение на сетчатке с угловой скоростью не более $4^\circ/\text{с}$). На рис. 2 интервалы чёткого видения выделены на горизонтальной шкале времени. Предлагаемым нами КСВ назовём отношение суммарного времени отчётливого видения к общему времени записи T :

$$\text{КСВ} = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^N t_i \cdot 100 \text{ \%}.$$

Были проведены исследования вестибулоокулярных реакций с целью определения значений КСВ у здоровых испытуемых и больных ДЦП [1]. Установлено, что значения параметров нистагма у больных статистически достоверно отличаются от параметров нистагма здоровых испытуемых, что нистагм больного характеризуется большей вариабельностью значений параметров нистагмического цикла.

Проведены исследования в трёх группах сравнения: больные ДЦП школьного возраста, включая одного взрослого пациента 46 лет (16 человек); 20 человек молодого возраста (студенты МГУ) без какой-либо патологии; эти же молодые люди после приёма алкоголя из расчёта дозы 2 мл этилового спирта на 1 кг массы тела.

Четверо больных ДЦП из наблюдаемой группы были обследованы в динамике после прохождения 14-дневного курса иппотерапии. Данная модель нейрореабилитации нам очень интересна и рассматривается в

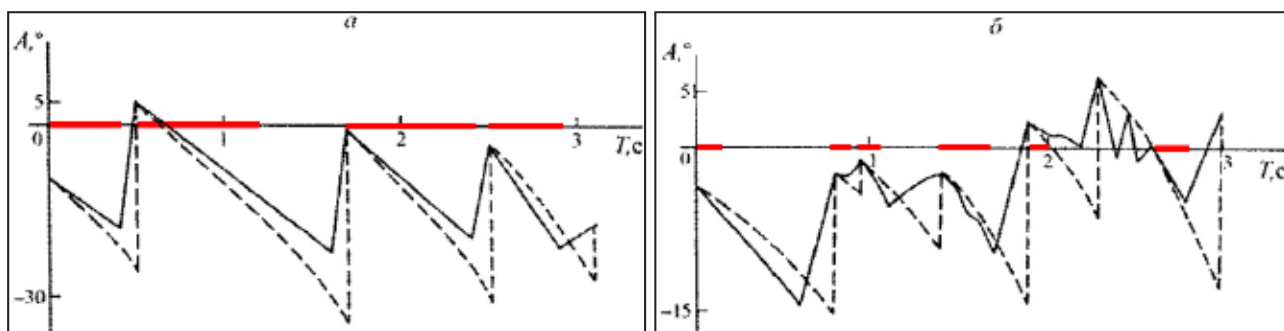


Рис. 2. Фрагменты записи движений глаз: а) здорового испытуемого; б) больного ДЦП при ВН. Сплошная линия – угол поворота $j(t)$ глаз относительно головы; штриховая – угловая позиция мнимой цели $y(t)$. Выделены интервалы чёткого видения.

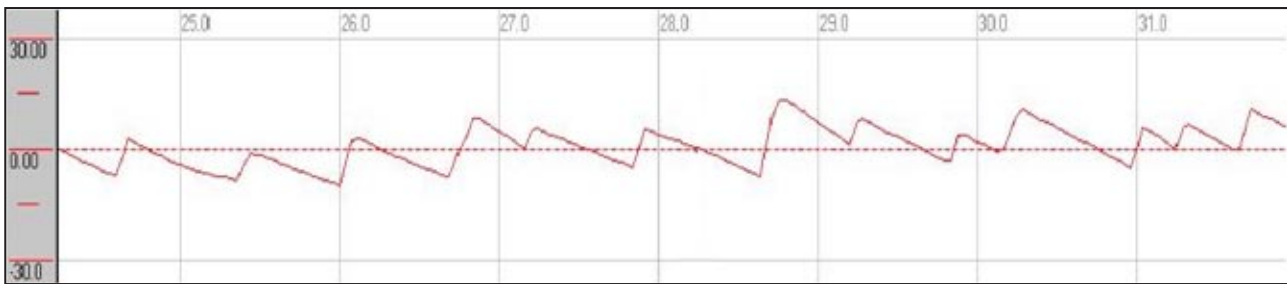


Рис. 3 а. Движение глаз здорового испытуемого при разгоне вправо (фрагмент).

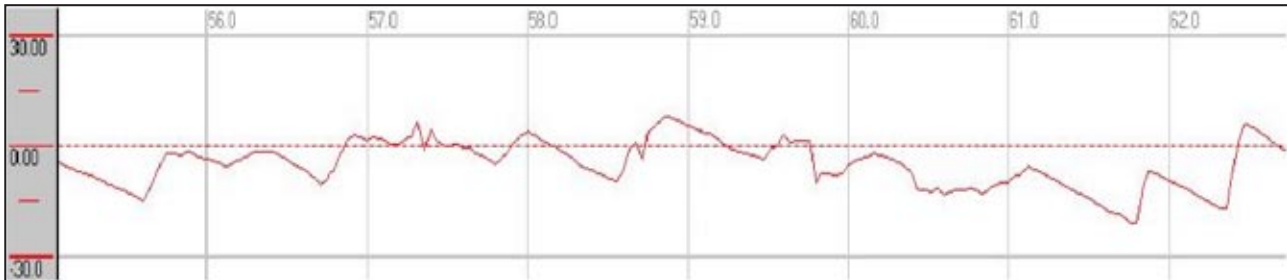


Рис. 3 б. Движение глаз больного ДЦП при разгоне вправо до иппотерапии (фрагмент).

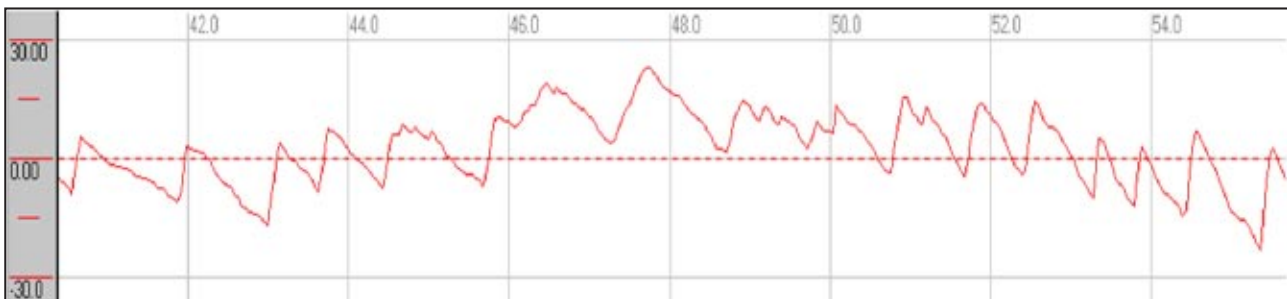


Рис. 3 в. Движение глаз больного ДЦП при разгоне вправо после иппотерапии (фрагмент).

качестве гармоничного воздействия на организм человека совокупности физических факторов, в том числе и улучшающих зрительно-моторную координацию. Также, не составляя отдельной группы сравнения, с позиций оценки КСВ были обследованы трое больных с последствиями радикальных операций на среднем ухе (врожденная холестеатома, острый средний отит).

Для записи нистагма здорового человека в условиях физиологического покоя КСВ составил 56% (рис. 3 а) – одна из лучших записей; в среднем по группе 49%, что абсолютно соответствует приведённым выше теоретическим рассуждениям о доле интервала чёткого видения в адекватном восприятии зрительного окружения и движении объектов в поле зрения человека. Для записи нистагма одного из больных ДЦП КСВ был равен 20% (рис. 3 б). В среднем по группе обследованных пациентов ДЦП изучаемый КСВ составил 23%, т.е. имел то весьма низкое значение, до которого он не опускался у здоровых испытуемых в условиях экспериментального стресса при употреблении алкоголя (группа, составившая 20 человек молодого возраста без какой-либо патологии и имевшая среднее значение КСВ 32%).

Были выполнены повторные записи нистагма у 4-х больных ДЦП после прохождения 14-дневного курса иппотерапии, но небольшой объём выборки не позволил утверждать, что изменение параметров нистагма является статистически достоверным; при сугубо качественном, описательном анализе по завершении курса иппотерапии хорошо заметна регуляризация нистагма и улучшение других его показателей (рис. 3 в).

Фрагменты записей горизонтальных движений глаз испытуемых (здорового человека и больного ДЦП), по-

лученные в эксперименте, показаны на рис. 3 а, б, в. Визуальные отличия нистагма здорового испытуемого и больного ДЦП, а также отличия нистагма до и после курса иппотерапии очевидны.

Трое пациентов с изолированным поражением вестибулярной системы в отдалённом периоде после выполнения радикальной saniрующей операции на среднем ухе не достигли компенсации своего состояния и демонстрировали низкие показатели КСВ (среднее в этой малой группе значение КСВ составило 21,7%), сравнимые с таковыми у больных ДЦП.

Заключение.

Исследования продемонстрировали, что КСВ отображает важный эволюционно обусловленный показатель качества зрительной ориентации человека в окружающем мире, является одной из информативных характеристик для определения тяжести поражения ЦНС (не только её органические заболевания, но и экспериментально смоделированные неблагоприятные состояния типа алкогольного опьянения) и который можно корректно вычислять при компьютерной обработке записей нистагма. КСВ при различных видах экспериментального нистагма представляет собой количественное выражение согласования (а в условиях патологии, соответственно, и глубину рассогласования) одного из важнейших эволюционных приобретений человека – содружественных движений головы и глаз. Вычисления исследованного показателя возможны исключительно в синхронном сопоставлении угловых перемещений головы и глазных яблок в орбите, что достигается использованием современной компьютерной окулографической аппаратуры и авторских алгоритмов обработки нистагмограмм.

Список литературы

1. Доценко В.И., Егорова Е.А., Каспранская Г.Р. и соавт. Экспериментальное изучение и математическое моделирование вестибулярного нистагма у здоровых людей и больных ДЦП // Фундаментальная и прикладная математика. 2005, Т. 11. Вып. 8. – С. 195–204.
2. Доценко В.И., Усачёв В.И. Алгоритм исследования нистагма в клинической практике с позиций межсенсорного взаимодействия // Функциональные методы диагностики и лечения рефракционных нарушений: Сб. трудов I Международной научно-практической офтальмологической конференции, 14–15 февраля 2008 г., Москва. – С. 25–28.
3. Левашов М.М. Нистагмометрия в оценке состояния вестибулярной функции. Л.: Наука, 1984. – 224 с.
4. Попелянский Я.Ю. Глазодвижения и взор (паралич, акинез, насильственность). М.: МЕДпресс-информ, 2004. – 184 с.
5. Усачёв В.И. Взаимодействие вестибулярной, оптической и проприоцептивной сенсорных систем в процессе реализации вращательного нистагма // Сенсорные системы. 1995. Т. 9. № 4. – С. 42–48.
6. Усачёв В.И., Доценко В.И. Физиологическая сущность и диагностическое значение вращательного нистагма // Вестн. оторинолар. 2010. № 1. – С. 58–63.
7. Шахнович А.Р. Мозг и регуляция движений глаз. М.: Медицина, 1974. – 160 с.
8. Стефанова О.Ю., Якушев А.Г. Критерий качества зрительного слежения при нистагме // Вестник Московского университета. Серия 1. Математика. Механика. 2008, № 4. – С. 63–65.
9. Шульговский В.В. Психофизиология пространственного зрительного внимания у человека // Соросовский образовательный журнал. 2004. Т. 8. № 1. – С. 17–23.

Резюме

При проведении нистагмологических исследований у здоровых лиц в условиях физиологического покоя и в экстремальных ситуациях (приём алкоголя), а также у больных с патологией ЦНС (детский церебральный паралич) и с изолированным периферическим поражением вестибулярной системы продемонстрированы возможности использования нового показателя компьютерного анализа нистагмограммы – коэффициента стабилизации взора. Указанный показатель отображает глубину морфологического поражения головного мозга или его функциональных расстройств, а также выступает динамичным критерием нормализации неврологических функций в процессе восстановительного лечения. Продemonстрирована высокая информативность анализа глазодвижений исключительно в системе координат движений головы (что обеспечивалось использованием авторского компьютерного окулографического комплекса с датчиком угловой скорости перемещений головы), в отличие от ранее используемой изолированной оценки движений глаз.

Ключевые слова: вестибулярная система, головной мозг, поражение, нистагм, электроокулограмма, моделирование, интервал чёткого видения, коэффициент стабилизации взора.

Abstract.

In healthy volunteers under conditions of physiological rest and of extreme situations (alcohol intake) as well as in patients with CNS pathology (infantile cerebral palsy), and in patients with isolated vestibular loss it was demonstrated, at the investigations of vestibular nystagmus, that a new numerical quality index, coefficient of gaze-stabilization, is found to be useful for computer analysis of the nystagmographic records. It was shown that analysis of eye-movements, which are considered in the head-fixed coordinate system, has a great informative value, in contrast with solely eye-movements records analysis. This analysis was performed by means of produced by the authors computer-based electro-oculographic laboratory environment, equipped by the sensor of head angular velocity.

Key-words: vestibular system, brain diseases, nystagmus, electrooculogram, simulation, clear-vision time-interval, coefficient of gaze-stabilization.

Контакты:

Доценко Владимир Иванович. E-mail: statokyn@aha.ru