

О НОВЫХ НАПРАВЛЕНИЯХ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ НЕВРОЛОГИЧЕСКОЙ ДИАГНОСТИКИ ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛАЗОДВИЖЕНИЙ И ЭНЕРГОЗАТРАТ УДЕРЖАНИЯ ВЕРТИКАЛЬНОЙ ПОЗЫ

В. И. Доценко, В. И. Усачев

ГУ Научный центр здоровья детей РАМН, Научно-медицинская фирма "Статокин",
Институт остеопатической медицины СПбМАПО,
Москва — Санкт-Петербург

В последние годы возрос закономерный интерес к постурологическим исследованиям (лат. postura — поза) в неврологии и нейрореабилитации, к комплексной оценке процессов регуляции вертикальной позы и тесно связанных с ней исполнительных механизмов различных глазодвижений и установки головы в пространстве. Успехи данного направления неврологической диагностики подкрепляются возможностями использования современных постурологических и окулографических компьютерных комплексов, в том числе разработанных и серийно выпускаемых отечественной медицинской промышленностью, в частности, Научно-медицинской фирмой "Статокин", и доступных широкому кругу клиницистов.

Трудно переоценить роль глазодвигательной системы в жизнедеятельности человека и ее значение для диагностики различных патологических состояний. Глазодвигательная система регулируется сложной иерархией иннервационных механизмов, расположенных на разных уровнях нервной системы. Столь обширное представительство иннервационных механизмов двигательного аппарата глаз в нервной системе является причиной возникновения самых различных нарушений движений глаз при очаговых, диффузных и отчасти функциональных поражениях мозга. С другой стороны, высокая точность регистрации движений глаз и их четкие корреляции с активностью локальных нейронных групп на разных уровнях нервной системы являются предпосылкой объективной диагностики в неврологии, реабилитологии и психофизиологии (А. Р. Шахнович, 1974).

Нистагм как особое порождение глазодвигательной активности, с четкой сменой быстрой и медленной фаз нистагменного цикла, появляется в эволюционном ряду у достаточно высокоорганизованных теплокровных животных. Большая часть разновидностей нистагма (исключая спонтанный нистагм и некоторые другие его виды) однозначно и векториально направленно связана с двигательной ситуацией перемещения организма человека и, в частности, его головы в пространстве, с постоянно меняющимся зрительным окружением. В этом отношении ни-

стагм как проявление жизнедеятельности несет явно позитивную направленность в плане приспособления организма к существованию в гравитационном поле Земли в условиях произвольной двигательной активности и пассивных перемещений (М. М. Левашов, 1984).

Наверное, не покажется слишком категоричным классическое утверждение, что во многом несостоятелен в своих адаптационных возможностях человек, у которого или от рождения или вследствие какого-либо патологического процесса не сформирована или разрушена нистагмогенная система.

Существует мнение о том, что, способствуя более длительной фиксации зрительных образов на сетчатке при угловых смещениях головы и глаз, генерируемый адекватно ситуации нистагм позволяет эффективно бороться с головокружением, осциллопсиями и иллюзорным восприятием действительности. С другой стороны, тезис об универсальности и высокой степени необходимости якобы происходящей фиксации зрительных образов на сетчатке при угловых перемещениях человека (согласно этой версии субъект отклоняющимися глазами как бы продолжает видеть уплывающие из поля зрения предметы) далеко не бесспорен, что и будет продемонстрировано ниже.

При кажущейся простоте и изученности модели порождения нистагма иногда всплывают явные противоречия в трактовке результатов исследований.

Определение нистагма как ритмической глазодвигательной реакции, состоящей из медленных (следающих) и быстрых (возвращающих глаз в исходное положение в орбите) компонентов, является описательным и не до конца обоснованным. А. А. Митькин (1982) позволил себе назвать нистагм "биологической бессмыслицей", что свидетельствует о недопонимании им сущности этой физиологической реакции. Некоторые авторы склонны принижать роль вестибулярной системы в реализации нистагменной реакции (Ю. К. Янов, В. С. Новиков, К. В. Герасимов, 1997).

В настоящем сообщении обсуждается, в основном, аспект взаимодействия вестибулярной, зрительной и проприоцептивной афферентации применительно к особенностям и характеристикам нистагма; анализируются диагностические возможности подобной интерпретации нистагменных проявлений в оценке состояния организма и эффективности реабилитационного процесса.

Морфологической предпосылкой достаточно тесного взаимодействия сенсорных потоков от вестибулярных рецепторов и от скелетно-мышечной проприоцептивной системы служит значительное взаимопроникновение клеточных элементов нижнего вестибулярного ядра, а также нежного и клиновидного ядер проприоцептивной передающей системы. В то же время вполне закономерным выглядит обладание рефлекторными актами вестибулярной системы (ВС), в частности, нистагмом определенного запаса прочности к действию многочисленных приводящих факторов; некоторые из них носят деструктивный характер и безразличны для организма.

Феноменология вестибуло-проприоцептивного взаимовлияния при различных патологических состояниях не ограничивается лишь изменением активности ВС отрицательного знака, угнетением рефлекторной активности. Интересны наблюдения по развитию ирритативных процессов в деятельности ВС, сказывающихся и на параметрах нистагма, при юношеском идиопатическом сколиозе (Т. Sahlstrand, В. Petruson, 1979), а также по формированию вестибулярных дисфункций у больных с неврологическими проявлениями поясничного остеохондроза, спастической кривошеи (С. А. Лихачев, Ю. Н. Рушкевич, 2004; И. А. Склют и соавт., 1983; 1999; А. Л. Шевелев, 1983), у больных ДЦП (К. А. Семенова, В. И. Доценко, 1988; В. И. Доценко и соавт., 2005).

В то же время зарождается закономерное сомнение в самодостаточности исследования исключительно вестибулярного нистагма по традиционному в вестибулологии алгоритму при пассивном вращении пациента на кресле с закрытыми глазами. И действительно — в естественной жизнедеятельности че-

ловека при реализации им богатейшего спектра произвольных движений и при пассивных перемещениях в пространстве всегда имеет место комплексная нистагменная реакция с несомненным вкладом в ее развитие оптической (ведь все движения происходят с открытыми глазами!) и проприоцептивной (в основном, цервикогенной) информации. Изучение естественного вида нистагма — опто-вестибуло-цервикального (ОВЦН) — у неврологических больных и является наиболее информативным.

Очень важно сравнивать характеристики упомянутого выше нистагма при произвольных поворотах головы с открытыми глазами — ОВЦН — с параметрами других типов нистагма: чисто вестибулярного (ВН), опто-вестибулярного (ОВН) и вестибуло-цервикального (ВЦН).

Новый алгоритм изучения нистагменной реакции с последовательным выключением из генерации нистагма и вносящих в него свой вклад сенсорных процессов (оптического, проприоцептивного цервикального, вестибулярного) предложен в 1993 году профессором В. И. Усачевым. Этот алгоритм подкупает простотой проведения исследования, так как не требует малодоступного большинству врачей электровращательного стенда. В требуемых пределах углового смещения (примерно на 90 градусов) пассивное синусоидальное (т.н. маятникообразное) вращение пациента врачом за строго фиксированное и рекомендуемое время (с полупериодом 4 сек, т.е. с частотой 0,125 Гц) может быть выполнено вручную на обычном бесшумно вращающемся офисном кресле.

Окулографические исследования проводили при помощи отечественного **Аппаратно-программного комплекса "Нейро-КМ — Электронистагмограф"** (разработка и производство НМФ "Статокин", Москва). В соответствии с международным стандартом, проведение окулографических исследований в обязательном порядке сопровождается синхронной записью кинематических параметров углового смещения головы (угловая скорость, угол поворота или наклона). Иными словами, все изучаемые глазодвижения как бы помещаются в систему координат движений головы и рассматриваются эти два класса двигательной активности в неразрывной связи.

ВН регистрировали при осуществляемом врачом маятникообразном вращении кресла с сидящим в нем пациентом (сначала вращение на 90 градусов вправо с ускорением, переходом через точку максимальной угловой скорости вращения кресла и последующим замедлением до полной остановки кресла; потом — такой же цикл вращения влево) с закрытыми глазами.

ОВН — при точно таком же маятникообразном вращении кресла и сидящего в нем пациента, но с открытыми глазами.

В этих двух описанных моделях порождения нистагма скорость углового движения головы была тождественна скорости движения кресла, т.е. положение головы по отношению к положению кресла не менялось.

ВЦН регистрировали при активных поворотах пациентом головы за 4 секунды из крайнего левого отведения в крайнее правое (этот угол также составляет примерно 90 градусов) с закрытыми глазами. Для выявления асимметрий в стимуляции лабиринтов это же вращение осуществляется и в противоположную сторону.

Опыт показывает, что при активных поворотах головы из неподвижного положения до ее полной остановки, в противоположном положении график динамики угловой скорости головы во времени протекает по синусоидальной зависимости — т.е. в соответствии с той же математической функцией динамики угловой скорости, которую мы достигаем ручным вращением пациента на кресле из неподвижного положения до его полной остановки. Данное обстоятельство представляется очень важным, так как во всех четырех моделях порождения нистагма мы стремимся к унификации физических факторов (в данном случае — механической энергии угловых ускорений), способствующих генерации нистагменной реакции.

ОВЦН (самый физиологичный и интенсивный из всех изучаемых видов нистагма) — при описанных в предыдущей пробе активных поворотах головы, но уже с открытыми глазами.

Как мы видим, общим свойством у описанных выше четырех видов нистагма является обязательное присутствие вращательного компонента (активного при движениях головы или пассивного при вращении на кресле). К каждому из этих нистагмов уместно применить определение "вращательный нистагм", в отличие от не изучаемых в настоящей работе калорического нистагма, также относящегося к группе вестибулярных нистагмов, и чисто оптического нистагма в модели движения объектов в поле зрения пациента.

Результаты исследования показали, что в норме скорости медленной и быстрой фазы, а также амплитуда нистагма возрастают в закономерной последовательности ВН-ВЦН-ОВН-ОВЦН. С целью минимизации эффекта габитуации целесообразно исследовать различные типы вращательного нистагма в следующем порядке: ОВЦН — ОВН — ВЦН — ВН.

Введено понятие **опто-вестибуло-цервикальной функциональной системы**, реализующей нистагменную реакцию; уменьшение выраженности показателей нистагменной реакции мы объясняем дефицитом сенсорной информации в этой системе. Наименьшая интенсивность вращательного ВН связана с отсутствием подтверждающей вращение оптической и цервикальной афферентации. По-видимому, в ЦНС имеет место активный процесс регуляции силы рефлекторного ответа, направленный на снижение интенсивности нецелесообразной в подобных условиях реакции — срабатывает функция энергосбережения. Наш мозг (его опто-вестибуло-цервикальная система) как бы справедливо рассуждает: зачем реализовывать нистагм, если мы ничего не видим, а также нет и никакой информации о произвольном угловом перемещении головы, подтверждаемом активацией шейных проприоцепторов?

Исходя из наблюдаемых закономерностей, можно определить нистагм при повороте головы с открытыми глазами (ОВЦН) как установочную глазодвигательную реакцию, предназначенную для целесобразной ситуации **опережающего выведения глаз в сторону поворота головы** (что совсем не наблюдается в ВН). Происходят оптимальное при таком опережении прослеживание объектов окружающей обстановки и максимально ранняя фиксация своим взором конечной зрительной цели осуществляемого поворота головы (т.е. информационно значимого для человека образа). С позиций теории управления этот феномен представляется нам ни чем иным, как иллюстрацией принципа стратегии предвидения будущего. Интенсивность опережающего выведения глаз в модели ОВН и ВЦН носит промежуточный характер, являясь более выраженной все-таки в ОВН, чем в ВЦН.

Не согласуются с укоренившейся точкой зрения наши наблюдения при нистагмах с закрытыми глазами — ВН и ВЦН, при которых прослеживается явное отставание от пассивного или активного углового смещения головы медленного компенсаторного смещения глазных яблок в противоположную вращению сторону, особенно в модели ВН, вплоть до диссоциированной кривой типа "ножниц" в нистагменных циклах на пике вращения кресла.

Присоединение оптического фактора в порождении нистагма (ОВН), особенно в сочетании с цервикальным проприоцептивным вкладом (ОВЦН), выравнивает описанную выше диссоциацию скорости медленной компоненты нистагма и скорости вращения или кресла (ОВН), или головы (ОВЦН).

При анализе нистагмов с участием шейной проприоцепции немаловажное наблюдение заключается

и в обнаружении феномена генерации первого нистагменного цикла не с медленного компенсаторного отклонения глазного яблока, а с его быстрого саккадического "броска" непосредственно из среднего физиологического положения в орбите, по времени совпадающего с началом активного поворота головы. Это указывает на то, что система управления движением глаз имеет сложную и неоднозначную морфологическую структуру и функциональную организацию. В. А. Филиным (2002) экспериментально доказано, что нистагменные реакции, обусловленные одновременным действием углового ускорения, оптических стимулов и активацией шейной проприоцепции, разыгрываются на фоне спонтанной микросаккадической активности глазодвигательного аппарата. Им же впервые высказано мнение о том, что в нистагме не менее важную роль (в плане "стремления" к искомому объекту) играет быстрая фаза (В. А. Филин, 1992).

По результатам этих наблюдений можно сформулировать предварительные, не вполне укладывающиеся в лоно традиционных представлений о механизмах генерации нистагма, выводы:

- во время нистагма нет слежения за объектами окружающей обстановки, что противоречит приписываемой ранее нистагму якобы его биологической целесообразности и высокой значимости в плане борьбы с иллюзиями, головокружением и осцилляциями — на самом деле глаза либо отстают от параметров вращения кресла/головы, либо опережают;
- приоритет саккады над противовращением глаз в первом нистагменном цикле привносится проприоцепторами шеи;
- прогрессивное смещение глаз из центральной позиции в орбите в сторону вращения осуществляется за счет оптокинетики.

Вывод, не претендующий на "ревизию" классических представлений о механизмах порождения нистагма и соответствующий канонам "законов Эвальда", подтверждается наблюдением за феноменологией наиболее традиционного и хорошо изученного, мономодального в своем происхождении вращательного ВН. Он заключается в том, что реакция противовращения глаз в этой "рафинированной", практически не встречающейся в естественной жизнедеятельности человека, модели нистагма обеспечивается полукружными каналами ушного лабиринта.

Таким образом, для исследования опто-вестибуло-цервикальной системы при различных видах патологии ушного лабиринта и ЦНС необходимо изучать сравнительные характеристики четырех типов вращательного нистагма. Указанный сравнительный

анализ позволяет судить об участии различных сенсорных систем в обеспечении этой глазодвигательной реакции и о диссоциированных расстройствах межсенсорного взаимодействия при неоднородной в морфофункциональном плане патологии. Промонстрированные на качественном уровне и количественно просчитанные различия четырех типов нистагменной реакции и должны быть положены в основу дифференциальной диагностики дисфункций опто-вестибуло-цервикальной системы.

Инструментальным обеспечением метода *статокиметрии* на современном этапе служат постурографические компьютерные комплексы — стабилометрические анализаторы. Ключевым аппаратным модулем любого стабилоанализатора является стабилонит, которая по реакциям опоры на четыре (реже — на три) тензодатчика при помощи компьютерной программы определяет искомую результирующую — центр давления (ЦД) стоящего на платформе человека, а затем по специальным алгоритмам происходит анализ колебательного процесса этого ЦД. Одним из удачных вариантов такой медицинской техники является широко распространенный в России отечественный аппаратно-программный комплекс — **Стабилометрический анализатор "Статокиметр — СтабилАн"** (совместная разработка ОКБ "Ритм" — НМФ "Статоким").

Траектория перемещения ЦД человека в двумерной системе координат в ходе поддержания им вертикальной позы или при выполнении произвольных тестовых движений носит название "статокиметрической диаграммы".

Векторный анализ статокиметрической диаграммы качественно изменил достоверность стабилометрической диагностики, осуществляемой ранее исключительно по классическим алгоритмам анализа траектории перемещения ЦД человека. На чем же основаны принципы векторного анализа? В компьютерном комплексе **"Статокиметр — СтабилАн"** частота дискретизации, т.е. текущего опроса траектории перемещения ЦД, является для столь низкочастотного колебательного процесса достаточно высокой и составляет 50 Гц. Это означает, что мы имеем возможность анализировать события, разворачивающиеся на временном отрезке зарегистрированной статокиметрической диаграммы продолжительностью 20 мсек. Указанные отрезки статокиметрической диаграммы между двумя соседними точками отсчета (принимая их за прямые линии), помимо скалярных характеристик, обладают и векторными признаками — от отрезка к отрезку меняют свое направление. В плане же величины пройденного пути за эти 20 мсек мы также видим определенную

дисперсию показателя длины векторов — пройденный путь на соседних отрезках статокинезиграммы может весьма существенно отличаться по величине, демонстрируя неравномерность линейного перемещения ЦД. Таким образом, налицо две переменные характеристики векторов статокинезиграммы — их направление и величина.

В отношении дисперсии абсолютной величины векторов статокинезиграммы, которая отражает степень неравномерности линейного перемещения ЦД человека, следует привести общепризнанную точку зрения, что любое двигательное действие — шаг, бросок, циклический трудовой двигательный навык и т.д. — тем лучше, оптимальней организовано, чем стереотипней, с меньшей вариативностью оно происходит. И эта стереотипность объективно отражает степень тренированности, затраченные усилия на отработку любого двигательного навыка. А ведь удержание равновесия, стабилизация вертикальной позы в пространстве также являются сложнейшей двигательной синергией, а не состоянием "покоя", как это представляется на первый взгляд!

Векторы статокинезиграммы, приведенные в исходную точку координат в виде своеобразной "облачной" диаграммы, служат нативным исходным материалом, приложение к которому современных математических алгоритмов и позволило получить ряд "ноу-хау" в анализе механизмов регуляции вертикальной позы, отраженных в патенте на изобретение № 2175851 "Способ качественной оценки функции равновесия" (В. И. Усачев, 2001).

Интегральный показатель адаптации человека к гравитационному окружению на основе векторного анализа статокинезиграммы носит название **Качество функции равновесия (КФР)**. Универсальное значение этого показателя подтверждается и таким фактом: в отличие от других характеристик векторного анализа именно процентная величина КФР в последовательно зарегистрированных статокинезиграмах одного человека (когда его функциональное состояние за относительно короткий промежуток времени не успело существенно измениться) является практически одинаковой. Наблюдается минимальная вариативность показателя КФР, что подчеркивает его высокую информативность для оценки поддержания позы.

Другой показатель векторного анализа статокинезиграммы — **Коэффициент резкого изменения направления движения (КРИНД)** — отображает степень оптимальности энергозатрат человека в процессе удержания вертикальной позы. У здорового человека функцию равновесия можно охарактеризовать как устойчивое неравновесие. И в этом

поддерживающемся "неравновесии" функционирует преимущественно тоническая мускулатура, которая для предотвращения падения человека "мозаично" перераспределяет напряжение между различными группами мышц и осуществляет свой метаболизм в экономных с позиций энергопотребления анаэробных условиях. В результате столь целесообразной мышечно-тонической деятельности, без вовлечения в нее "быстрой" фазической мускулатуры, колебательный процесс ЦД осуществляется по плавным дугам, с минимальными затратами энергии, что и характеризует нормальное, комфортное в субъективном плане стояние здорового человека, закрепившего удержание вертикальной позы на уровне прочного автоматизма. В математическом плане вычисление показателя КРИНД заключается в процентном определении доли тех векторов, угол отклонения каждого из которых от направления предыдущего вектора составляет 45 градусов и более. Такое изменение направления движения ЦД ($\geq 45^\circ$) считается "резким", неоптимальным.

Таким образом, с привлечением для анализа качества позной регуляции показателя КРИНД становится возможным оценить степень комфортности, т.н. "энергетическую стоимость" (а не "переплачиваем" ли мы?) такого многокомпонентного двигательного акта, каким является удержание вертикальной позы.

Обобщая изложенный материал, следует отметить, что комплексное инструментальное обследование неврологических больных с привлечением методов компьютерной статокинезиметрии и окулографии в значительной степени повышает достоверность неврологической диагностики, особенно в той ее части, когда требуется объективно оценить степень завершенности нейрореабилитации, оптимальность энергозатрат двигательных функций, включая важнейший процесс жизнеобеспечения — позную регуляцию.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абдулкеримов Х. Т. Автоматизированная стабилметрическая диагностика атаксий на основе современных компьютерных технологий: Дисс. ... д-ра мед. наук. — СПб., 2003. — 234 с.
2. Доценко В. И. Введение в клиническую постурологию: качество удержания вертикальной позы — важный показатель общего и психоневрологического здоровья человека // Практическая медицина. — 2007. — № 3 (22). — С. 71–73.
3. Усачев В. И. Способ качественной оценки функции равновесия / Патент на изобретение № 2175851. — М., 2001 (приоритет от 1999 года).
4. 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, № 8. — С. 195–204.
5. Лихачев С. А., Рушкевич Ю. Н. Влияние проприоцептивных сигналов с мышц шеи на организацию вестибуло-окулярных реакций // Физиол. человека. — 2004. — Т. 30, № 6. — С. 70–73.
6. Усачев В. И. Физиологическая концепция реализации вращательного нистагма и его диагностическое значение: Дисс. ... докт. мед. наук. — СПб., 1993. — 206 с.