

Новая методология стабилметрической диагностики нарушения функции равновесия тела

Д.м.н., проф. В.И. УСАЧЁВ¹, с.н.с., ген. дир. В.И. ДОЩЕНКО², к.т.н. А.Ф. КОНОНОВ³, к.м.н. В.Г. АРТЁМОВ⁴

New methodology for the stabilometric diagnosis of equilibrium dysfunction

V.I. USACHYOV, V.I. DOTSENKO, A.F. KONONOV, V.G. ARTYOMOV

¹Кафедра оториноларингологии Военно-медицинской академии им. С.М. Кирова, Санкт-Петербург; ²Научный центр здоровья детей РАМН, ³Научно-медицинская фирма «Статокин», Москва; ⁴ОКБ «Ритм», Таганрог; ⁵ООО «Армаком», Москва

Обоснована необходимость изучения динамической стабилизации вертикального положения тела человека. Показаны новые возможности стабилметрического векторного анализа в диагностике нарушения функции равновесия, оценке эффективности лечения пациентов, а также определения статистической значимости различия результатов у одного пациента, а не у групп лиц.

Ключевые слова: функция равновесия, динамическая стабилизация, компьютерная стабилметрия.

The necessity of studying the dynamic stabilization of the human body vertical position is substantiated. New capacities of a stabilometric vector analysis in diagnosing equilibrium dysfunction, evaluating the efficiency of treatment, and determining the statistical significance of differences in the results in a patient rather than in a group of subjects are shown.

Key words: equilibrium function, dynamic stabilization, computed stabilometry.

Устойчивость, равновесие или динамическая стабилизация?

Тело человека в вертикальном положении обладает, казалось бы, большим запасом физической устойчивости. Площадь области перемещения центра давления (ЦД) стоп по отношению к площади полигона опоры с открытыми глазами не превышает 1%, а с закрытыми глазами — 1,5%. Даже у пациентов, страдающих вестибулярными расстройствами или детским церебральным параличом, этот показатель не превышает соответственно 5 и 10% [1]. Однако несмотря на 90% запас физической устойчивости, эти пациенты постоянно подвержены риску падения.

В чем же секрет физиологического феномена устойчивости тела человека? Разделяемая большинством постулатов физическая теория перевернутого маятника не в состоянии объяснить механизм поддержания равновесия тела в вертикальном положении. Тело человека представляет собой многосвязную и многоуровневую систему напряженной целостности — *tensegrity*, находящуюся в постоянном движении [2]. Тело непрерывно выводится из состояния равновесия дыхательными движениями; гидродинамическими силами крови при сокращениях сердца; перистальтикой кишечника; краниосакральным ритмом и более медленными ритмами: мотильностью тканей с периодом 25–35 с, медленными постуральными колебаниями с периодом около 60 с, медленным «приливом» с периодом около 100 с. Благодаря наличию голеностопного шарнира, наше тело неустойчиво и физически. Эти анатомо-физиологические особенности обуславливают выраженную тенденцию к падению. И мы непременно бы

упали, если бы не было соответствующего центрального нервного механизма, препятствующего падению. Тем не менее сам факт перманентного «падения» — великое благо для человека. Благодаря различным сенсорным системам, главными из которых являются вестибулярная, проприоцептивная и зрительная, наш мозг получает информацию о процессе отклонения от вертикали. Если физически рычажные весы в состоянии равновесия неподвижны, то физиологически покой означает отсутствие обратной связи для коррекции отклонения тела.

Пока мы не знаем, как функционирует этот великолепный механизм в ЦНС, но его внешнее проявление можно обозначить динамической стабилизацией [3].

Традиционная стабилметрическая диагностика

Современной стабилметрии чуть более 55 лет. Ее эпоха началась с раздельной регистрации перемещения ЦД стоп по фронтالي и сагиттали при помощи двухкоординатного самописца [4]. Таким образом, сложное движение ЦД стоп раскладывалось на две составляющие, а затем анализировалось без учета его интегрального характера. Основными параметрами служили среднее смещение ЦД по фронтали и сагиттали, частота и амплитуда колебаний, а также общая длина стабิโลграмм. Позднее начал применяться спектральный анализ стабิโลграмм с помощью медленного преобразования Фурье.

С появлением персональных компьютеров возникла возможность анализа стадокинезиграмм. По математическому ожиданию точек стадокинезиграммы определялись координаты ЦД стоп. Наиболее простым и понятным является анализ площади стадокинезиграммы. Следует

© Коллектив авторов, 2009

© Вестник оториноларингологии, 2009

Vestn Otorinolaringol 2009; 3: 19

¹e-mail: v.usa@bk.ru

²e-mail: statokyn@aha.ru

³e-mail: pavana@inbox.ru

⁴e-mail: armacom1@rambler.ru

отметить, что ориентация на оценку исключительно площади статокинезиграммы обладает серьезными недостатками. Указанная площадь крайне нестабильна во времени с тенденцией увеличения по экспоненциальному закону, обладает очень большой вариабельностью у одного и того же человека при повторных исследованиях [5].

Вторым основным показателем является длина статокинезиграммы.

Третьим показателем служит средний радиус отклонения ЦД.

Наиболее информативным оказалось использование показателя средней скорости перемещения ЦД — длины статокинезиграммы, деленной на время исследования. Его информативность вытекает из нормированности по времени и отражения средней характеристики динамики перемещения ЦД стоп.

Однако все эти показатели объединяет одно отрицательное качество. Они не отражают всей динамики процесса перемещения ЦД, по которой можно было бы судить о динамической стабилизации вертикального положения тела. Образно говоря, это всего лишь застывшие фотографии итогового процесса, сделанные в различных ракурсах.

Из всего арсенала стабилметрических показателей, предложенных для проведения традиционной стабилметрической диагностики, на сегодняшний день можно с достаточной степенью надежности опираться на координаты ЦД стоп, среднюю скорость его перемещения и спектральный анализ стабิโลграмм.

Векторный анализ статокинезиграммы

Компьютерная стабилметрия предполагает дискретную регистрацию координат ЦД стоп с частотой 40–50 Гц при помощи аналого-цифрового преобразователя с последующей обработкой этого массива данных специальной компьютерной программой «СтабМед». Таким образом, статокинезиграмма представляет собой последовательный ряд значений координат ЦД стоп.

Первым попыткам проанализировать весь массив данных статокинезиграммы К.-Н. Mauritz [6]. Он помещал центр искусственной системы координат в центр статокинезиграммы и разбивал всю плоскость на 16 секторов. По результатам вычисления среднего расстояния (в мм) от центра статокинезиграммы до всех дискретных точек, попавших в каждый из секторов, строилась круговая ги-

стограмма положения ЦД стоп по типу «розы ветров». Эта гистограмма демонстрировала преобладание отклонения в различных направлениях (рис. 1).

Т. Okuzono [7] построил круговую гистограмму по другому принципу. Сначала он соединил все дискретные точки статокинезиграммы между собой. Получилась последовательность векторов, имеющих определенную длину и направление (рис. 2).

Каждый вектор помещался своей начальной точкой в центр искусственной системы координат, а затем рассчитывалась средняя длина векторов, попавших в каждый из 18 секторов по 20° каждый. Затем строилась векторная статокинезиграмма, указывающая на преобладание скорости перемещения ЦД в разных направлениях, так как длина векторов (L), умноженная на время, отражает именно линейную скорость перемещения центра давления: V , мм/с = L , мм $\times 1/f$ дискретизации). При периферических поражениях вестибулярной системы в векторной статокинезиграмме Т. Okuzono наблюдал значительное увеличение скорости латеральных колебаний тела, а при центральных поражениях — в переднезаднем направлении.

Оба метода за более чем 25-летнюю историю своего существования не нашли широкого применения в клинической практике, а сам векторный анализ его авторами не совершенствовался.

Наше внимание привлекла возможность изучения при помощи этого метода линейной и угловой скоростей перемещения ЦД. Исследования проводились на отечественном **Стабилоанализаторе компьютерном с биологической обратной связью «СтабИл-01»**. Частота дискретизации стабилметрического сигнала составляла 50 Гц.

Было предложено 19 векторных показателей. Вычисляемая по векторам статокинезиграммы средняя линейная скорость была эквивалентна ранее вычисляемой средней скорости, как частного от деления длины статокинезиграммы на время исследования. Этот показатель определялся суммой значений линейной скорости всех векторов, деленной на их количество, и выражался в мм/с.

При помощи анализа векторов статокинезиграммы появилась новая возможность расчета угловой скорости перемещения ЦД. Каждый последующий вектор статокинезиграммы отклонен от траектории предыдущего на определенный угол α (рис. 3). При этом угловая скорость составляет α/t и выражается в °/с. При частоте дискретизации 50 Гц $t=0,02$ с (1/50 Гц).

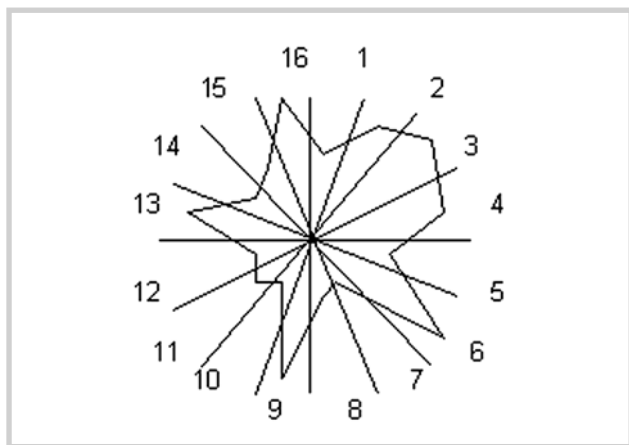


Рис. 1. Круговая гистограмма положения центра давления стоп.

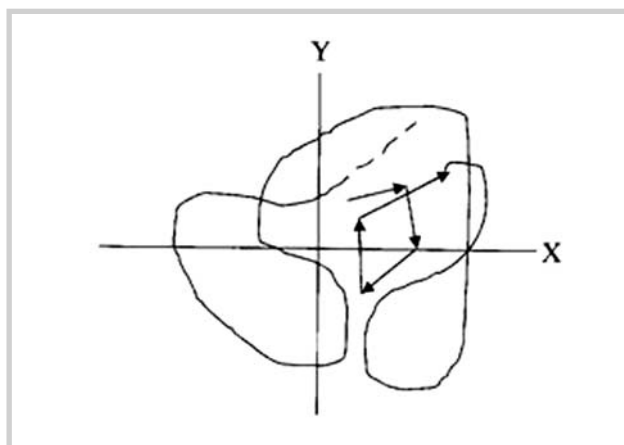


Рис. 2. Векторы статокинезиграммы.

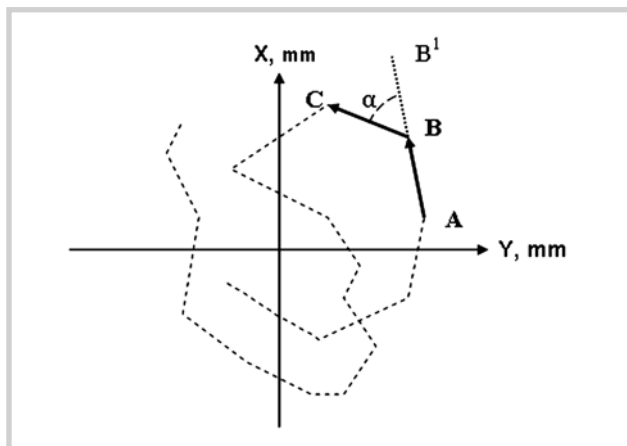


Рис. 3. Фрагмент векторов статокинезиграммы с обозначенным углом отклонения α вектора BC относительно траектории AB' вектора AB.

Анализ динамики линейной и угловой скоростей показал нелинейный (стохастический) характер их изменения [8]. Если линейная скорость имеет только положительные значения (рис. 4), то угловая скорость периодически принимает положительные и отрицательные значения (рис. 5).

Оставалась неудовлетворенность тем, что комплексно не учитывается в динамике линейное и угловое перемещение ЦД. Поэтому в качестве фактора динамической стабилизации (ФДС) была предложена площадь сектора, «заметаемая» последующим вектором относительно направления предыдущего вектора. Размерность ФДС: $(\text{мм/с})^2 \cdot \text{радиан/с}$.

Идея подобного расчета принадлежит Кеплеру, который доказал, что когда планеты движутся по эллипсовидной траектории, то площадь, которую «заметает» их радиус в единицу времени, одинакова. Идею Кеплера напомнил нам профессор Таганрогского технического института ЮФУ А.А. Колесников. Методику вычисления ФДС разработал ведущий инженер отдела компьютерной стабилографии к.т.н. А.Ф. Кононов. В отличие от закона Кеплера динамическая стабилизация вертикального положения тела проявляется в стохастическом изменении ФДС вследствие постоянного противодействия процессов, дестабилизирующих и стабилизирующих вертикальное положение тела человека.

Мерой стабильности была избрана дисперсия всех значений ФДС, отражающая вариативность этого показателя. Она по специальной формуле преобразуется в индекс динамической стабилизации (ИДС), который выражается в процентах.

По ФДС и ИДС можно судить об эффективности лечения вестибулопатий различного генеза (рис. 6).

Так как массив значений ФДС при каждом обследовании большой, то имеется возможность проводить оценку статистической значимости различия результатов пар обследований одного пациента при помощи F-критерия Фишера для дисперсий. В данном примере $F=3,63$ ($p<0,001$).

Для удобства пользователей создано внешнее микропроцессорное конверторное USB-устройство, которое позволяет преобразовывать массив координат ЦД (X;Y), полученных при помощи программного обеспечения ста-



Рис. 4. Динамика мгновенной линейной скорости перемещения центра давления.



Рис. 5. Динамика мгновенной угловой скорости перемещения центра давления.

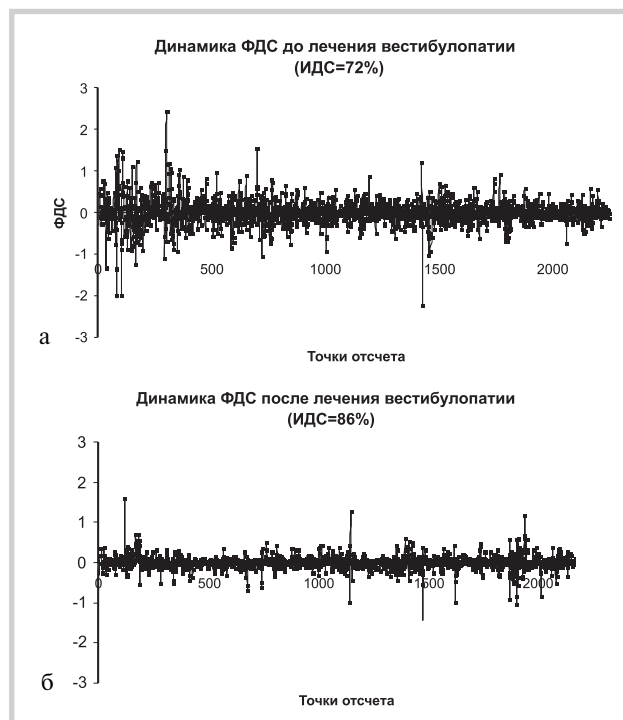


Рис. 6. Динамика ФДС и ИДС пациента Р. с болезнью Меньера до лечения (а) и после лечения (б). Глаза открыты.

билографов любого отечественного или зарубежного производителя, в сводку значений ИДС и дисперсии ФДС для расчета статистической достоверности различия, а также переводить этот числовой массив в однотоновый звуковой сигнал, характеризующий уровень динамической стабилизации [9]. На описанную методологию подана заявка на изобретение №2009102265, зарегистрированная 26.01.09. USB-устройство производится научно-медицинской фирмой «Статокин» (Москва).

Таким образом, векторный анализ статокинезиграмы открыл новое направление в оценке динамической

стабилизации вертикального положения тела. Используя его, врач может оценивать эффективность лечения по ИДС, выраженному в процентах и представленному в виде звукового образа, а также на этапах обследования, лечения и реабилитации проводить оценку статистической значимости различия вариативности ФДС одного конкретного пациента, а не групп лиц, что ранее было принципиально невозможно при использовании исключительно классических показателей анализа статокинезиграмы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Усачёв В.И., Печорин П.Е. Компьютерная стабилметрия в диагностике нарушения функции равновесия тела при детском церебральном параличе и оценке эффективности лечения: Материалы III международного конгресса «Восстановительная медицина и реабилитация-2006». М 2006; 96—97.
2. Parsons J. Tensegrity — unifying concept. Материалы международного симпозиума «Функциональные нарушения тканей тела человека и восстановление функций организма». Ст-Петербург 2005; 124—139.
3. Гаже П.-М., Вебер Б. Постурология. Регуляция и нарушения равновесия тела человека. Пер. с франц. под ред. В.И. Усачёва. Ст-Петербург 2008; 316.
4. Бабский Е.Б., Гурфинкель В.С., Ромель Э.Л. Новый способ исследования устойчивости стояния человека. Физиол журн СССР 1955;12:3:423—426.
5. Usachev V.I., Sliva S.S., Belyaev V.E. Stabilometric testing of a postural system. Abstracts of the XVIIth Conference of ISGGR. Marseille 2005;21 (suppl 1):151.
6. Mauritz K.-H. Standataxie bei Kleinhirnlasionen, Untersuchungen zur Differential-diagnostik und Pathophysiologie gestorter Haltungregulation. Freiburg 1979.
7. Okuzono T. Vector statokinesigram. A new method of analysis of human body sway. Pract Otol Kyoto 1983;76:10:2565—2580.
8. Усачёв В.И. Оценка динамической стабилизации центра давления стоп по данным анализа векторов статокинезиграмы. В кн.: П.-М. Гаже, Б. Вебер. Постурология. Регуляция и нарушения функции равновесия тела человека. Пер. с франц. под ред. В.И. Усачева. Ст-Петербург 2008; 291—296.
9. Usachev V.I. Estimation of dynamic stabilization of vertical body position in diagnostics of effectiveness of treatment and rehabilitation/ Abstracts of the 5th International Posture Symposium. Bratislava 2008; 53.