

В.И. Доценко, ГУ Научный центр здоровья детей РАМН, Научно-медицинская фирма «Статокин», Москва

Об актуальности и вездущих аспектах исследования позной регуляции методом компьютерной статокинезиметрии (стабилометрии) в клинической практике

В процессе многовековой эволюции человека сформировалась одна из наиболее целесообразных и устойчивых к действию деструктивных факторов динамических систем – функциональная система антигравитации (ФСА), в деятельности которой вестибулярные механизмы играют ведущую роль. Человек с первых часов своего внутриутробного развития существует в условиях гравитационного поля Земли. «Тяжесть – самое неизбежное и постоянное поле, от которого (наряду с электромагнитным полем) ни одно существо на Земле никогда не освобождается» – справедливо писал академик А.А. Ухтомский. В рамках ФСА с целью постоянного противодействия гравитационному фактору и компенсации неблагоприятных сдвигов в организме осуществляются многообразные, оперативно подстраиваемые под текущую ситуацию вестибуло-моторные, вестибуло-висцеро-сосудистые и вестибуло-глазодвигательные реакции.

Удержание вертикальной позы, прямохождение и биоподальная локомоция – это венец эволюции человека в его приспособительной деятельности к существованию в гравитационном поле Земли.

Изучением механизмов поддержания вертикальной позы в норме и при развитии ряда патологических состояний организма, формирования компенсаторных механизмов позной регуляции занимается особая область человеческого знания – постурология (лат. *postura* – поза). Об актуальности выделения этого медико-биологического направления в отдельную науку свидетельствует существование за рубежом нескольких ассоциаций специалистов в области постурологии, в частности, авторитетнейшей **Association française de posturologie**.

Удержание человеком вертикальной позы сопровождается его микроколебательным (в сравнении с габаритами человека!) процессом, очень редко заметным при визуальном наблюдении за актом естественного комфортного стояния. Происходят достаточно сложные гармонические колебания как общего центра масс (ОЦМ), так и центра давления (ЦД) стоп на плоскость опоры, которые в силу объективных обстоятельств не совпадают по амплитуде и фазности.

ЦД – это та интегральная точка на плоскости опоры, в которую объёмное геометрическое тело – человек, имеющий, во-первых, различную плотность тканей организма и, во-вторых, установленный не в виде несгибаемого прямого луча, а постоянно меняющийся в сочленениях туловища взаимную конфигурацию его сегментов, как бы «усредняется» в реальном режиме времени в ходе поддержания своей вертикальной стойки. Таким образом, мы подчёркиваем, что ЦД не является отображением проекции ОЦМ человека на плоскость опоры и колебательные процессы ОЦМ и ЦД не тождественны (их отождествление – распространённая ошибка многих врачей). Общим свойством ЦД и проекции ОЦМ устойчиво стоящего

(не падающего) человека является лишь то, что локализируются они в пределах координат границы опоры человека (т.н. стопного треугольника).

ОЦМ человека вообще обладает минимальной интенсивностью колебательного процесса, т.е. все отклонения тела человека осуществляются как бы вокруг ОЦМ с его минимальным собственным смещением. Уместно провести аналогию, что место локализации в теле человека ОЦМ напоминает то место в центре корпуса морского судна, где при сильном волнении моря качка является минимальной, и куда с кормы или из носовой части корабля стараются переместиться люди, страдающие чрезмерным укачиванием (болезнью движения, «морской болезнью»).

Статокинезиметрия (син. **стабилометрия**) – метод качественного и количественного анализа колебательного процесса ЦД на плоскости опоры вертикально установленного или, что используется реже, сидящего человека. Метод служит для оценки функции равновесия и механизмов поддержания человеком вертикальной позы – как в норме, так и при различных патологических состояниях. Предпочтительным является общепризнанный в мировой научной литературе термин **статокинезиметрия** (буквальная расшифровка – измерение движения человека, т.е. колебательного процесса ЦД, неизбежно возникающего во время обеспечения человеком своей статикой, произвольного поддержания вертикальной позы).

В условиях постоянно действующего гравитационного поля Земли процесс отклонения тела человека от вертикали в информационном плане является абсолютно необходимым для последующего восстановления утрачиваемого равновесия. С этой точки зрения у здорового человека функцию равновесия можно охарактеризовать как устойчивое неравновесие. И в этом поддерживаемом «неравновесии» в целях стабилизации вертикальной позы функционирует преимущественно тоническая мускулатура. 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.

Если же постуральная система человека функционирует негармонично, либо имеет место тот или иной патологический процесс, поразивший мозговые структуры обеспечения функции равновесия, то в поддержании вертикальной позы дополнительно задействуется и фазическая мускулатура, требующая гораздо большего и нецелесообразного в данном случае расхода энергии (ведь удерживать вертикальную позу приходится в течение многих часов!). Разумеется, спектральный анализ рассматриваемого нами низкочастотного колебательного процесса в этих случаях способен выявить отклонения различной направленности.

Инструментальным обеспечением метода **статокинезиметрии** на современном этапе служат постурографические компьютерные комплексы – стабилметрические анализаторы. Ключевым аппаратным модулем любого стабиланализатора является стабиллоплатформа, которая по реакциям опоры на четыре (реже – на три) тензодатчика при помощи компьютерной программы определяет искомую результирующую – 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 распространённый в России отечественный аппаратно-программный комплекс – **Стабилметрический анализатор «Статокинезиметр – СтабилАн»** (совместная разработка ОКБ «Ритм» – НМФ «Статокин»).

Траектория перемещения ЦД человека в двумерной системе координат в ходе поддержания им вертикальной позы или при выполнении произвольных тестовых движений носит название «статокинезиграмма». Элементарное разложение колебательного процесса по направлению горизонтальной плоскости (построение графиков изменения во времени амплитуды отклонения ЦД в сагиттальном и фронтальном направлениях) носит название «стабилограмма».

При проведении статокинезиметрии учитывается роль отдельных анализаторных систем (слуха, зрения, дополнительной проприоцептивной нагрузки или депривации этой же модальности, оценка роли мандибулярного, т.е. нижнечелюстного афферентного входа) в удержании вертикальной позы.

Профессором В.И. Усачёвым (Санкт-Петербург) предложен последовательный алгоритм проведения исследования, в котором каждая из проб отвечает на свой круг вопросов. Вычисляются соответствующие коэффициенты постуральной системы:

- ♦ коэффициент Ромберга, позволяющий оценить роль зрения (отношение в % площади

статокинезиграммы человека, стоящего с закрытыми глазами, к таковой при стоянии с открытыми глазами);

- ♦ плантарный коэффициент, оценивающий роль стоп (отношение в % площадей статокинезиграммы человека, стоящего с закрытыми глазами последовательно на коврике и на твёрдой опоре);

- ♦ височно-челюстной коэффициент, оценивающий роль височно-нижнечелюстного сустава (отношение в % площадей статокинезиграммы человека, стоящего с закрытыми глазами, при сомкнутых зубах и без их смыкания);

- ♦ два коэффициента поворота глаз (отношение в % площадей статокинезиграммы при зафиксированных в положении $\pm 30^\circ$ поворотах закрытых глаз и без указанного поворота – при направлении взора закрытых глаз прямо);

- ♦ два коэффициента поворота головы (отношение в % площадей статокинезиграммы, регистрируемой у человека с закрытыми глазами, при зафиксированных в положении $\pm 60^\circ$ поворотах головы и без указанного поворота);

- ♦ два коэффициента поворота плеч (отношение в % площадей статокинезиграммы, регистрируемой у человека с закрытыми глазами, при зафиксированных в положении $\pm 30^\circ$ поворотах плеч и без указанного поворота).

Последние три пары коэффициентов отражают соответственно функцию проприоцепторов глаз, шеи и поясничного отдела позвоночника и объективизируют их вклад в позную регуляцию.

Векторный анализ статокинезиграммы качественно изменил достоверность стабилметрической диагностики, осуществляемой ранее исключительно по классическим алгоритмам анализа траектории перемещения ЦД человека. На чём же основаны принципы векторного анализа? В компьютерном комплексе **«Статокинезиметр – 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 статокинезиграммы продолжительностью 20 мсек. Указанные отрезки статокинезиграммы между двумя соседними точками отсчёта (принимая их за прямые линии), помимо скалярных характеристик, обладают и векторными признаками – от отрезка к отрезку меняют своё направление. В плане же величины пройденного пути за эти 20 мсек мы также видим определённую 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 истории медицины известен пример очень удачного подхода к анализу массива данных, эксплуатирующего дисперсию лишь одного физиологического параметра – межпульсных интервалов сердечных сокращений (R-R интервалов ЭКГ-комплекса), что составило основу наиточнейшего и информативного метода оценки состояния организма – кардиоинтервалографии (или вариационной пульсометрии), обладанием которой мы обязаны профессору Р.М. Баевскому. В нашем же случае векторного анализа статокинезиграммы ситуация ещё более благоприятная, так как мы имеем возможность одновременно анализировать дисперсию в массивах не одного, а двух переменных – направления и величины единичного модуля статокинезиграммы, проистекающего на временном отрезке 20 мсек.

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

Одним из удачных вариантов такой медицинской техники является широко распространённый в России отечественный аппаратно-программный комплекс – **Стабилметрический анализатор «Статокинезиметр – СтабилАн»** (совместная разработка ОКБ «Ритм» – НМФ «Статокин»).

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 статокинезиграмм, приведённые 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, которые отражены в патенте на изобретение № 2175851 «Способ качественной оценки функции равновесия» (В.И. Усачёв, 2001).

Интегральный показатель адаптации человека к гравитационному окружению на основе векторного анализа статокинезиграмм 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 статокинезиграммах одного человека (когда его функциональное состояние за относительно короткий промежуток времени не успело существенно измениться) является практически одинаковой. Наблюдается минимальная вариативность показателя КФР, подчёркивая его высокую информативность для оценки поддержания позы.

Другой показатель векторного анализа статокинезиграмм – **коэффициент резкого изменения направления движения (КРИНД)** – отображает степень оптимальности энергозатрат человека в процессе удержания вертикальной позы. Как было отмечено выше, у здорового человека функцию равновесия можно охарактеризовать как устойчивое неравновесие. Функционирует в этом поддерживающемся «неравновесии» 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 неё «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. 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 позы регуляция 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.

Особого внимания заслуживает изложение одного из прикладных лечебных методов, основанных на произвольной регуляции человеком функций своего организма, – тренинга функций равновесия и статокинетической устойчивости методом биологической обратной связи,

или – этот термин является предпочтительным – **Функционального биоуправления (ФБУ) по стабิโลграмме (статокинезиграмме)**. Данный подход также подразумевает размещение пациента на описанной выше стабิโลметрической платформе.

При осуществлении сеансов ФБУ по стабิโลграмме стоящий на стабิโลплатформе пациент под зрительным контролем положения на мониторе своего тела (в данном случае, ЦД) в увлекательной игровой ситуации управляет произвольными перемещениями ЦД, который в разных играх символизирует того или иного субъекта игровой сессии. Например, симпатичный щенок, управляемый перемещениями тела стоящего на платформе пациента, стремится догнать котёнка, перемещения которого на экране монитора генерируются самой компьютерной программой. И характеристики перемещения котёнка (скорость, частота и крутизна изменения направления движения), т.е. трудность двигательной задачи ФБУ-тренинга для пациента, задаются врачом в каждый сеанс тренировки избирательно, день ото дня повышая сложность двигательной задачи. Существует возможность результаты игровых сессий сохранять в компьютерной базе данных пациента, что позволяет количественно и качественно анализировать положительную динамику двигательной реабилитации на этапах восстановительного лечения.

Также в этой технологии ФБУ по стабิโลграмме возможно использование двуплатформенного варианта с ещё более эффективным реальным соревнованием в успешности управления вертикальной позой и двигательной координацией сразу двух пациентов.

Выраженная мотивационная заинтересованность пациента в результатах игровой сессии выдвигает метод ФБУ по стабิโลграмме в разряд одного из наиболее эффективных методов контроля функций организма на принципе биологической обратной связи.

Многолетний опыт постурологических исследований и использования в лечебных целях ФБУ по стабิโลграмме, накопленный в ведущих российских и зарубежных клиниках, демонстрирует гармоничность и оправданную естественность включения этих исследований с привлечением компьютерной статокинезиметрии в алгоритм диагностического поиска и контроля эффективности клинической работы. В этом отношении статокинезиметрия выступает логичным продолжением традиционного неврологического исследования пациента.

Литература

1. Абдулкеримов Х.Т. Автоматизированная стабิโลметрическая диагностика атаксий на основе современных компьютерных технологий: Дисс. ... д-ра мед. наук. – С-Пб., 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. Усачёв В.И. Способ качественной оценки функции равновесия/ Патент на изобретение № 2175851. – М., 2001 (приоритет от 1999 года).