

Войнов Иван Дмитриевич
E-mail: office@stabilan.com.ru.
Тел.: 88634614016.

Sliva Sergey Semenovich
Sliva Andrey Sergeevich
Joint Stock Company «ОКВ “Ritm”».
E-mail: stabilan@okbritm.com.ru.
99, Petrovskaya, Taganrog, 347900, Russia.
Phone: +78634623190.

Voynov Ivan Dmitrievich
E-mail: office@stabilan.com.ru.
Phone: +78634614016.

УДК 612.76

В.И. Усачёв, М.И. Говорун, А.Е. Голованов, М.С. Кузнецов

ДИНАМИЧЕСКАЯ СТАБИЛИЗАЦИЯ ВЕРТИКАЛЬНОГО ПОЛОЖЕНИЯ ТЕЛА ЧЕЛОВЕКА

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.

Функция равновесия; динамическая стабилизация; компьютерная стабилметрия.

V.I. Usachev, M.I. Govorun, A.E. Golovanov, M.S. Kuznetsov

DYNAMIC STABILIZATION OF VERTICAL HUMAN BODY POSITION

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.

Equilibrium function; dynamic stabilization; computed stabilometry.

В 1911 г. Х. Хэдом и Г. Холмсом было предложено определение схемы тела, как сформированного и закреплённого генетически в задней центральной извилине коры головного мозга в ходе синтеза различных ощущений представления о величине, положении и взаимосвязи частей тела. В последнее время обращается внимание на единство системы отсчёта для тела и внешнего физического пространства [1,6]. Важно отметить, что системой внутреннего представления о теле и внешнем пространстве в зависимости от условий восприятия, могут выбираться различные системы отсчёта: например, связанная с головой, с корпусом или с каким-либо объектом окружающего пространства.

Для поддержания равновесия тела решающую роль играет информация о гравитационной вертикали от вестибулярного аппарата и от проприоцепторов тела при контакте с плоскостью опоры. Вспомогательную, хотя и весьма существенную роль, играет зрительная информация о гравитационной вертикали. Тем не менее, человек может прекрасно ориентироваться в пространстве и поддерживать динамическое равновесие тела исключительно на основании информации от вестибулярного аппарата и проприоцепторов тела в воздухе, не имея контакта с плоско-

стью опоры. Для этого, кроме представления о гравитационной вертикали, необходима хорошая сенсомоторная память. При неустойчивости опоры ведущей системой отсчёта может стать тактильный контакт с неподвижным предметом окружающей обстановки, причём даже без опоры на него [4].

Многообразие возможных ситуаций поддержания равновесия тела противоречит общепринятой теории перевёрнутого маятника, в которой ведущая роль отводится вестибулярному аппарату. Для этого достаточно представить две ситуации: поддержание равновесия стоя на голове и раскачиваясь на проволоке, когда голова неподвижна и информация о линейном и угловом ускорениях от рецепторов ушного лабиринта практически отсутствует. Тем не менее гетерогенность систем отсчёта и пластичность использования сенсорных входов системой внутреннего представления пространства, отнюдь не отрицает инвариантности механизма поддержания человеком равновесия.

По нашему мнению, основой поддержания равновесия тела является *функциональная система тонической установки тела*. Её, не называя таким термином, прекрасно описал Рудольф Магнус в книге «Установка тела», обобщившей результаты многолетних фундаментальных физиологических исследований сотрудников своей лаборатории в Утрехте [2]. Магнус выделил два типа рефлексов, определяющих тоническую установку тела: *тонические рефлексы положения и тонические рефлексы выпрямления*. В результате суммирования тонических отолитовых и шейных рефлексов положения всякой позиции головы в пространстве и по отношению к туловищу соответствует совершенно определённое перераспределение тонуса мышц конечностей и глаз. Среди тонических рефлексов выпрямления описаны: отолитовый рефлекс и рефлекс туловища на выпрямление головы, шейный рефлекс выпрямления тела, рефлекс выпрямления тела на тело и зрительный (фиксационный) рефлекс выпрямления головы. *Взаимодействие рефлексов положения и выпрямления обеспечивает оптимальную ригидность тела и закономерное перераспределение мышечного тонуса тела, конечностей и глаз в зависимости от положения относительно вектора гравитации, ощущения плоскости опоры и зрительной фиксации окружающих предметов.*

Однако системы тонической установки тела недостаточно для обеспечения равновесия тела. Так как равновесие тела поддерживается динамически, то принято говорить о динамическом равновесии. В последнее время появился термин «*динамическая стабилизация*» [5]. Следуя предлагаемой нами терминологии, для обеспечения функции равновесия необходима *функциональная система динамической стабилизации вертикального положения тела*. Основным отличием её от функциональной системы тонической установки тела является возможность реагирования на действие линейных и угловых ускорений. Это могут обеспечивать не только полукружные каналы и отолитовый аппарат ушного лабиринта, но и проприоцепторы, а именно тельца Пачини, являющиеся как вторично чувствующими механорецепторами, так и хемо- и барорецепторами. Эти рецепторы заложены в фасциях, сухожилиях и связках, примыкающих к суставам, и глубоко под кожей. Они иннервируются быстродействующими миелинизированными афферентными нервными волокнами. Сходные по форме с тельцами Пачини тельца Руффини заложены непосредственно в капсуле суставов, информируя об их положении. Совместная работа этих проприоцепторов обеспечивает как реакции положения и выпрямления, так и динамической стабилизации. Тельца Пачини вместе с мышечными веретенами и тельцами Гольджи, контролирующими сокращения мышц, являются сенсорными каналами динамической обратной связи, информирующими о скорости изменения взаиморасположения частей тела, конечностей и головы в пространстве.

Система внутреннего представления о теле и внешнем пространстве постоянно контролирует все системы отсчёта, отдавая приоритет различным из них и запуская различные варианты как установки тела, так и динамической стабилизации, заложенные как генетически, так и приобретенные в процессе жизнедеятельности.

Мы лишь поверхностно затронули теоретические аспекты обеспечения функции равновесия тела. Однако даже изложенные положения позволяют по-иному подойти с практической точки зрения к стабилметрической оценке результатов её исследования.

С помощью компьютерной стабилметрии изучается перемещение центра давления (ЦД) стоп. Графическое отражение перемещения ЦД называется статокинезиграммой (СКГ). По математическим координатам её центра принято судить об отклонении тела во фронтальной и сагиттальной плоскостях. Необходимо заметить, что динамика перемещения центра масс тела человека является вторичной по отношению к динамике ЦД благодаря двойкой функции стоп – опорной и регулирующей. Тем не менее чаще всего принимают грубое допущение, что голова, тело и нижние конечности человека в вертикальной стойке представляют собой ригидный стержень, колеблющийся как единое целое. Поэтому по центру СКГ оценивают тоническую установку тела.

Динамическую стабилизацию вертикального положения тела по традиционным стабилметрическим показателям, таким как площадь СКГ, средняя скорость перемещения ЦД и другим, оценить не представляется возможным, так как они не отражают динамизма этого процесса, проявляющегося в вариативности отражающих его показателей. Для этой цели может быть использован анализ векторов СКГ, принцип которого предложен в 1983 г. Т. Okuzono [7].

При компьютерной стабилметрии в ПЭВМ данные о координатах ЦД поступают дискретно с частотой 50 Гц. Таким образом, статокинезиграмма представляет собой последовательный ряд точек. Если соединить каждую предыдущую точку с последующей, то получатся векторы, длина которых отражает линейную скорость перемещения ЦД. Графическое изображение векторов СКГ в виде круговой гистограммы Т. Okuzono назвал векторной статокинезиграммой, характеризующей преобладание направления и скорости перемещения ЦД. Описание этого метода можно найти в отечественной литературе [3].

С помощью анализа векторов достаточно просто оценить динамику линейной и угловой скоростей перемещения ЦД (рис. 1).

Эти графики, безусловно, характеризуют динамику процесса перемещения ЦД. Тем не менее эта характеристика не интегральная, так как реально как линейное, так и угловое перемещение ЦД происходит одновременно. Если продлить предыдущий вектор АВ на его длину ВВ₁, то, перемещаясь к последующему вектору ВС, им будет замечена площадь сектора ВВ₁С, так как вектор ВС переместится относительно вектора АВ на угол α (рис. 2).

Эту площадь сектора мы назвали *фактором динамической стабилизации* (ФДС), который является интегральной характеристикой линейного и углового перемещения ЦД и выражается в $(\text{мм/с})^2 \times \text{радиан/с}$. Динамика ФДС здорового человека с открытыми и закрытыми глазами отражена на рис. 3. Ухудшение динамической стабилизации вертикального положения тела при закрытых глазах выражается в увеличении вариативности ФДС, поэтому мерой стабилизации была избрана дисперсия ФДС. Она по специальной формуле преобразуется в *индекс динамической стабилизации* (ИДС) и выражается в процентах. Чем больше ИДС, тем лучше динамическая стабилизация. В данном примере ИДС с открытыми глазами составил 93,4 %, а с закрытыми глазами – 62,7 %.

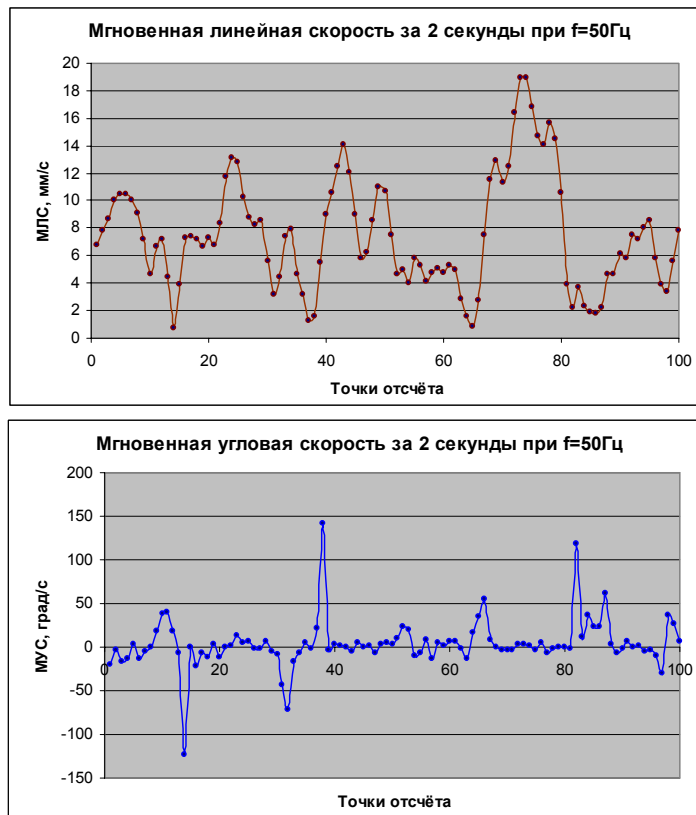


Рис. 1. Динамика линейной и угловой скоростей перемещения ЦД за период в 2 секунды при частоте дискретизации сигнала 50 Гц

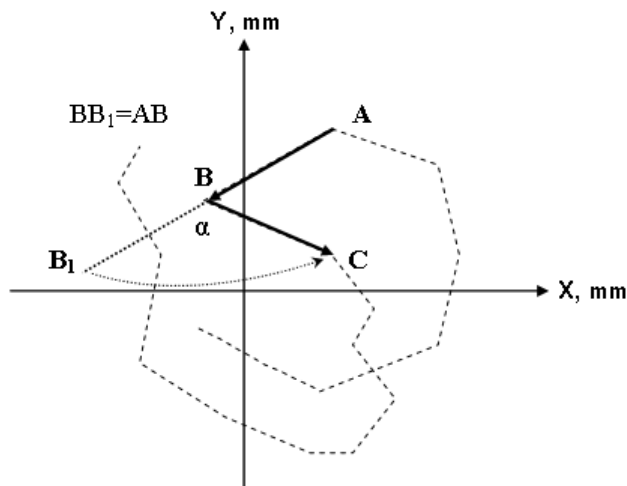


Рис. 2. Площадь сектора, заматаемая предыдущим вектором к последующему

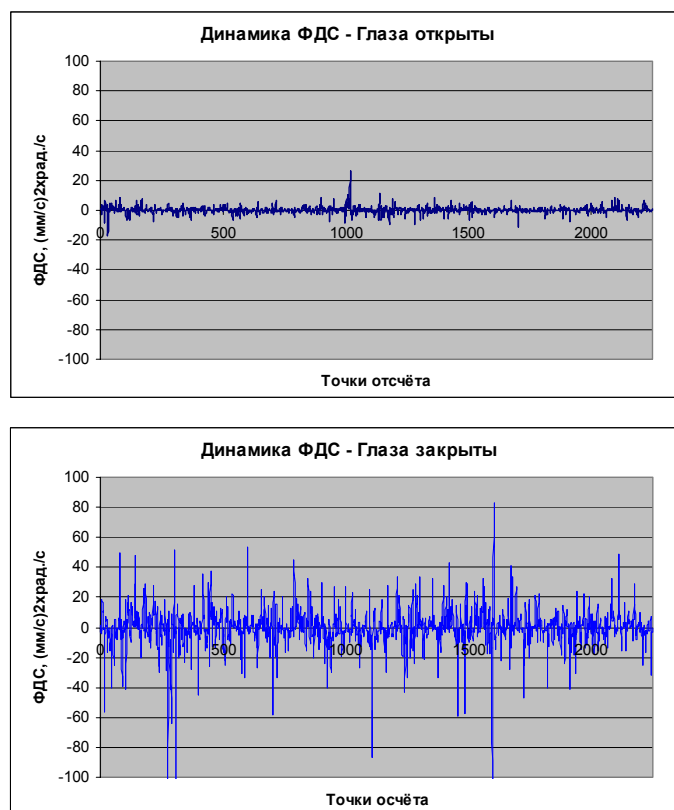


Рис. 3. Динамика ФДС здорового человека с открытыми и закрытыми глазами

Так как массив значений ФДС при каждом обследовании достаточно большой, то имеется возможность проводить оценку статистической значимости различия результатов пар обследований с помощью F-критерия Фишера для дисперсий. В данном примере $F = 4,35$ ($p < 0,001$).

Для удобства пользователей создано внешнее микропроцессорное конверторное USB-устройство, которое позволяет преобразовывать массив координат центра давления (X;Y), полученных с помощью программного обеспечения стабиллографа любой фирмы, в сводку значений ИДС и дисперсии ФДС для расчета достоверности различия. Кроме того, этим устройством формируется однотональный звуковой сигнал, соответствующий ИДС, по частоте которого на слух легко определить уровень динамической стабилизации вертикального положения тела.

Таким образом, оценка динамической стабилизации вертикального положения тела посредством анализа векторов статокинезиграммы открыла новое направление в анализе стабиллометрической информации. По индексу динамической стабилизации и его звуковому образу можно выяснить уровень динамической стабилизации человека в различных условиях исследования, оценить эффективность любого вида лечения. Эта информация может использоваться при профотборе и предрейсовом контроле, для оценки подготовленности спортсменов в ходе тренировочного процесса и успешности реабилитации пациентов после различных заболеваний. Важной особенностью описанного подхода является возможность определения статистической значимости различия уровня динамической стабилизации одного человека, а не групп лиц, на этапах обследования, лечения и реабилитации, что невозможно сделать с помощью традиционных стабиллометрических показателей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Левик Ю.С.* Система внутреннего представления в управлении движениями и организации сенсомоторного взаимодействия. Автореф. дисс. ... д.б.н. – М., 2006. – 47 с.
2. *Магнус Р.* Установка тела: Эксперим.-физиол. исслед.: Пер. с нем. – М.-Л.: Изд-во АН СССР, 1962. – 624 с.
3. *Усачёв В.И., Слива С.С., Беляев В.Е., Переяслов Г.А., Печорин П.Е.* Новая методология обработки стабилметрической информации и проблемы широкого внедрения ее в практику // Известия ТРТУ. – 2006. – № 11 (66). – С. 138-144.
4. *Казенников О.В., Шлыков В.Ю., Левик Ю.С.* Особенности поддержания вертикальной позы при дополнительном контакте с внешним объектом на движущейся и неподвижной платформе // Физиология человека. – 2005. – Т. 31, № 1. – С. 65-71.
5. *Gagey P.-M., Ouaknine M., Sasaki O.* Pour manifester la dynamique de la stabilisation // Posture et équilibre. Neuveautés 2001, conceptuelles, instrumentales et cliniques, Lacour M., Solal, Marseille, 2002. – P. 73-79.
6. *Gallagher S., Cole J.* Body Schema and Body Image in a Deafferented Subject // Journal of Mind and Behavior. – 1995. – Vol. 16. – P. 369-390.
7. *Okuzono T.* Vector statokinesigram. A new method of analysis of human body sway // Pract. Otol. Kyoto. – 1983. – Vol. 76, № 10. – P. 2565-2580.

Усачёв Владимир Иванович

Военно-медицинская академия им. С.М. Кирова.
E-mail: v.usa@bk.ru.
194044, Санкт-Петербург, ул. Академика Лебедева, 6.
Тел.: 88122923342.

Голованов Андрей Евгеньевич

E-mail: lor_vma@mail.ru.

Кузнецов Максим Сергеевич

E-mail: kuzm.ser@mail.ru.

Говорун Михаил Иванович

E-mail: lor_vma@mail.ru.
Тел.: 88123297184.

Usachev Vladimir Ivanovich

Army medical academy of S.M. Kirova.
E-mail: v.usa@bk.ru.
6, Academician Lebedev street, Saint Petersburg, 194044, Russia.
Phone: +78122923342.

Golovanov Andrey Evgenevich

E-mail: lor_vma@mail.ru.

Kuznetsov Maxim Sergeevich

E-mail: kuzm.ser@mail.ru.

Govorun Michail Ivanovich

E-mail: lor_vma@mail.ru.
Phone: +78123297184.