

**ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ АНАЛИЗАТОРНЫХ СИСТЕМ
В ФИЗИОЛОГИЧЕСКОМ МЕХАНИЗМЕ ДИНАМИЧЕСКОГО
ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ПОЗЫ СТОЯНИЯ**

Новак С. З., Симферопольский государственный университет

Важнейшим условием взаимодействия человека с внешней средой является способность сохранять равновесие. Переход к прямостоянию в свое время стал для вида *Homo sapiens* событием огромного преобразовательного значения, фактически открыв путь антропогенеза. Не меньшее значение имеет возможность сохранения равновесия в процессе онтогенеза, определяя возможность каждому из нас передвигаться, оберегая себя от падений и связанных с ними повреждений, возможность выполнять необходимые двигательные навыки, трудиться.

Уже а priori понятно, что сохранение устойчивой вертикальной позы в условиях разнообразных движений рук, ног, головы и туловища представляет собой сложнейшую задачу. Подвижная биомеханическая структура, состоящая из нескольких сотен костей, связок и мышц может быть безотказно действующим двигательным аппаратом только при доведенном до высочайшего совершенства управлении состоянием каждого звена этой системы. Основной позицией в этом управлении является возможность стабилизации, несмотря на меняющиеся внешние условия и, главным образом, движения собственного тела, центра его тяжести (ЦТТ).

Вертикальное положение тела, длина которого намного превышает размеры опоры, создает предпосылки неустойчивости, причем каждое движение человека таит в себе опасность нарушения равновесия и падения. Учитывая разнородность «конструкций» человеческого тела и многообразие его движений, задачи удержания устойчивого положения тела, т.е. своеобразного динамического позиционирования центра тяжести тела (ДПЦТТ), выполняемые центральной нервной системой, оказываются исключительно сложными. Если учесть, что организм человека постоянно находится в движениях, то эти задачи намного сложнее, чем те, которые приходилось решать в свое время Эйфелю, конструирующему систему опор своей башни. Эти обстоятельства определяют интерес физиологов к изучению регуляции позы стояния.

Многочисленные электромиографические исследования свидетельствуют, что в позе удобного стояния мышцы находятся в пассивном состоянии либо лишь изредка проявляют незначительную активность [1-6]. Непосредственная регистрация усилий, воспринимаемых площадкой, на которой стоит испытуемый [7], свидетельствует, однако, о том, что даже в удобной позе стояния тело человека совершает небольшие постоянные движения [8]. С появлением компьютерного анализа возможности анализа этих движений многократно возрастают.

Настоящее исследование было направлено на выяснение той роли, которую играет взаимодействие анализаторных систем – в частности зрительного и приприцептивного анализаторов – в способности к оптимальной стабилизации позы стояния человека. Наше обращение к изучению роли зрительного анализатора в регуляции позы стояния определяется особой ролью его в этом отношении. Хотя

принято считать, что основное значение в стабилизации позы стояния принадлежит вестибулярному аппарату, который многие авторы даже называют «органом равновесия», этот аппарат не является главным в обеспечении равновесия и ориентации тела в пространстве [8-12]. Наряду с проприоцептивной – мышечно-суставной – рецепцией основную роль в стабилизации тела при стоянии играет зрение [8, 13], роль которого не ограничивается способностью «держаться глазами» за окружающую обстановку, как полагают некоторые исследователи [14], а проявляется, помимо визуального контроля за положением тела, в общестимулирующем влиянии света на организм [8, 15]. К сожалению, насколько нам известно, ни в одной из работ, в которых исследовалась роль различных анализаторов, не предпринимались попытки количественной оценки их вклада в стабилизацию позы стояния.

Современные технические возможности – в частности подход, объединяющий тензометрическую платформу с компьютером, – позволяют подойти к изучению физиологического механизма регуляции позы стояния изучая процесс этой регуляции как динамическое позиционирование ЦТТ. В исследованиях использована методика постурографии в модификации, разработанной инж. Я.Олтоном из Военного института летной медицины (Варшава). Постурографический аппарат состоит из тензометрической платформы, датчики которой выведены на компьютер. Чувствительность аппарата характеризуется величиной отклонения ЦТТ 0,1 мм. Заметим, в технических системах – как автоматических, так и автоматизированных – идея динамического позиционирования уже давно успешно используется исследователями [16, 17].

В исследованиях приняли участие 65 женщин и 124 мужчин в возрасте 19-24 лет. Все испытуемые были практически здоровыми студентами и не имели специальной подготовки, которая облегчала бы им выполнение позы стояния в усложненных условиях. Первым разделом работы было выяснение – в количественном выражении – того вклада, который обеспечивает зрительный анализатор в стабилизации оптимальной позы стояния. С этой целью были сравнены показатели, характеризующие разнонаправленные движения ЦТТ в условиях стояния на тензометрической платформе без обуви при открытых или закрытых глазах. Регистрировались следующие показатели: средний радиус поля, вычерчиваемого движениями ЦТТ, в мм; площадь этого поля в мм²; общая длина пути, характеризующего передвижение ЦТТ за стандартное время исследования (32 с) в мм и средняя скорость движения ЦТТ за весь период исследования в мм/с.

Наиболее очевидным и самым общим результатом проведенных исследований стало обнаружение того факта, что физиологический механизм ДПЦТТ работает таким образом, чтобы обеспечить не просто достаточно устойчивое положение тела стоящего человека, но наиболее устойчивое. Об этом свидетельствуют результаты исследований испытуемых в ситуации с открытыми и закрытыми глазами. Следует учесть, что площадь опоры у женщин с учетом размеров, определяемых опорными поверхностями стои, составляет не менее 29000 мм², а у мужчин – не менее 33000 мм². Средние же величины площади, описываемой движениями ЦТТ, как показали наши исследования, находятся при открытых глазах в пределах у женщин 220,0±18,5 мм² и у мужчин 377,3±23,3 мм², т.е. у женщин в среднем площадь

ДПЦТТ составляет у женщин лишь 1/132, а у мужчин – 1/88 площади опоры. Даже при закрытых глазах, когда единственным ориентиром в отношении положения остается проприоцептивная чувствительность, площадь ДПЦТТ составляет у женщин лишь 1/31, а у мужчин – не более 1/41 площади опоры. Становится ясно, что при любом положении ЦТТ, которое было зарегистрировано в наших исследованиях, ЦТТ не только не выходит за пределы площади опоры тела, но даже не приближается к «опасным» границам. Тем не менее физиологический механизм ДПЦТТ «не удовлетворяется» ситуацией, которая с запасом обеспечивает стабильность позы стояния, а находится в постоянном поиске самого оптимального положения тела.

Ярко выраженный «максимализм» в деятельности физиологического механизма ДПЦТТ свидетельствует о двух важных особенностях, характерных для него. Во-первых, это высочайшая чувствительность этого механизма. Она проявляется в том, что сигналами для рефлекторных движений, обеспечивающих ДПЦТТ, являются настолько незначительные отклонения ЦТТ от идеального положения, причем даже не приближающиеся к пределам зоны абсолютной стабильности, что по всем признакам они, казалось бы, должны быть допороговыми. Во-вторых, существенной особенностью деятельности физиологического механизма ДПЦТТ является его постоянная, безостановочная работа. В отличие от других механизмов рефлекторной регуляции функций организма (например, рефлексов системы дыхания и кровообращения, включающихся лишь при определенных состояниях и бездействующих вне этих состояний – 18-24) поиск оптимальной позиции тела, обеспечиваемый движениями скелетных мышц, не прекращается даже тогда, когда ЦТТ оказывается в идеальном положении.

Беспрестанные движения ЦТТ моментально уведут тело из этого положения для того, чтобы последующими действиями вернуть его – с тем же ущербным результатом – в прежнее состояние. Иначе говоря, достигая идеального положения, ЦТТ не замирает в центре поля, как бильярдный шар в лузе, а проходит через него, начиная сразу же после этого движение в обратную или близкую к обратному положению сторону. Доказательствами существования определенного и сводящегося к минимальной площади – фактически к точке – центра, который определяет движения динамического позиционирования ЦТТ являются лишь два факта. Ими являются своеобразная «кучность», т.е. концентрация движений вокруг некоей центральной точки и ускорение движений тем большее, чем больше они отклоняются от этой точки.

Исследования позволили также выявить вклад зрительного анализатора в стабилизацию позы стояния. Функциональное «выключение» зрительного анализатора в условиях позы стояния при закрытых глазах позволило в количественных показателях конкретизировать роль зрения в ДПЦТТ (табл. 1). Как видно из полученных данных, выключение зрительного анализатора существенно изменяет деятельность механизма, стабилизирующего позу стояния: все показатели, характеризующие отклонение ЦТТ от его оптимального, т.е. наиболее устойчивого положения, при «отключенном» зрении оказываются и у женщин и, особенно, у мужчин намного хуже. Возрастающая неустойчивость позы стояния при отключении зрения характеризуется увеличением общего пути, «проходимого» ЦТТ при закры-

тых глазах по сравнению с нормальными условиями, а также повышением скорости движений ЦТТ, т.е. своеобразной активизацией механизма поиска оптимальной позы стояния. Однако, наиболее значимым показателем нарушения механизма ДПЦТТ является резко выраженное – у женщин на 66,5 %, а у мужчин вдвое большее, т.е. на 115,9 % – увеличение площади, захватываемой движущимся ЦТТ.

Таблица 1

Характеристика разнонаправленных движений центра тяжести тела у женщин и мужчин при открытых (ОГ) или закрытых (ЗГ) глазах, $M \pm m$

Условия	Женщины				Мужчины			
	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм ²	Длина пути, мм	Скорость, мм/с	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм ²	Длина пути, мм	Скорость, мм/с
ОГ	3,4 ± 0,2	220,0 ± 18,5	208,1 ± 6,7	6,5 ± 0,2	4,1 ± 0,2	377,3 ± 23,3	279,7 ± 7,8	8,7 ± 0,2
ЗГ	3,6 ± 0,1	366,3 ± 37,7	310,9 ± 15,5	9,7 ± 0,5	4,9 ± 0,2	814,6 ± 95,7	460,0 ± 24,1	14,4 ± 0,8
ЗГ/ОГ в %%	5,9	66,5	49,4	49,2	19,5	115,9	64,5	65,5
Достоверн. разл., t и p	0,89 > 0,3	3,48 < 0,001	6,09 < 0,001	5,94 < 0,001	2,83 < 0,01	4,44 < 0,001	7,12 < 0,001	6,91 < 0,001

Таблица 2

Половые различия в характеристиках разнонаправленных движений центра тяжести тела при открытых или закрытых глазах, $M \pm m$

Пол	Исследование при открытых глазах				Исследование при закрытых глазах			
	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм ²	Длина пути, мм	Скорость, мм/с	Радиус отклонений, мм	Площадь поля, мм ²	Длина пути, мм	Скорость, мм/с
Женщины (А)	3,4 ± 0,2	220,0 ± 18,5	208,1 ± 6,7	6,5 ± 0,2	3,6 ± 0,1	366,3 ± 37,7	310,9 ± 15,5	9,7 ± 0,5
Мужчины (В)	4,1 ± 0,2	377,3 ± 23,3	279,7 ± 7,8	8,7 ± 0,5	4,9 ± 0,2	814,6 ± 95,7	460,0 ± 24,1	14,4 ± 0,8
А/В, %%	20,6	71,5	34,4	33,8	36,1	122,4	48,0	48,5
Достоверн. разл., t и p	2,47 < 0,025	5,29 < 0,001	6,96 < 0,001	4,24 < 0,001	5,81 < 0,001	11,52 < 0,001	5,20 < 0,001	4,98 < 0,001

Характерно, что и в обычных условиях, т.е. при взаимодействии обоих – зрительного и проприоцептивного – анализаторов, и в условиях выключения зрения, физиологический механизм ДПЦТТ у женщин работает гораздо эффективнее, чем у мужчин (табл. 2). Сравнение различий в деятельности механизма, обеспечивающего стабилизацию позы стояния, т.е. ее устойчивость, свидетельствует о том, что половые особенности работы этого механизма резко выражены. Так, площадь поля, характери-

зующего степень нестабильности ЦТТ у мужчин при открытых глазах превышает аналогичные показатели у женщин на 71,5%, а при закрытых глазах – даже более чем вдвое – на 122,4% (достоверность различий в обоих случаях $p < 0,001$).

Сходная ситуация отмечается при сравнении и других показателей ДПЦТТ: среднего радиуса отклонений ЦТТ, длины пути, проходимого ЦТТ и скорости движения ЦТТ в процессе динамического позиционирования, направленного на стабилизацию устойчивой позы тела.

Анализ результатов исследований позволяет оценить конкретный вклад зрительного анализатора в регуляцию позы стояния у женщин и мужчин. Наиболее важным показателем в этом отношении является площадь поля, описываемого колебаниями ЦТТ. Если принять площадь этого поля, свойственную ситуации с закрытыми глазами, за 100%, то мы получаем показатель, характеризующий регуляцию позы стояния за счет одной лишь проприоцептивной информации (вторая строка в табл. 1). У женщин этот показатель составляет $366,3 \pm 37,7 \text{ мм}^2$, а у мужчин – $814,6 \pm 95,7 \text{ мм}^2$. Следовательно, регулирование позы стояния за счет проприоцептивной информации у мужчин осуществляется в 2,2 раза хуже, чем у женщин. Относя степень сокращения площади поля, описываемого колебаниями ЦТТ, к площади поля, свойственного проприоцептивной информации, можно определить относительную величину вклада зрительного анализатора в регуляцию позы стояния. Эта величина составляет у женщин 39,9%, а у мужчин 53,7%. Иначе говоря, «вклад» зрительной информации в стабилизацию позы стояния у женщин значителен, но является вспомогательным; у мужчин же он оказывается основным.

Полученные данные свидетельствуют об ослабленной афферентации с нервно-мышечного аппарата у мужчин по сравнению с женщинами. Из литературных указаний известно, что эфферентная функция нервно-мышечного аппарата, характеризующая двигательные возможности, у мужчин развита лучше, чем у женщин. Полученные данные, помимо познавательного значения, имеют прямое отношение к практике физического воспитания, которая всецело направлена на развитие эфферентных возможностей двигательного аппарата. Если учесть, насколько важна регуляция позы стояния в жизнедеятельности человека, а также в профилактике искривлений позвоночника, ставших массовым явлением, то становится ясно, что направленная тренировка проприорецепции должна стать неотъемлемым элементом физического воспитания молодежи.

Литература

1. Joseph J., Nichtingale A. Electromyography of posture leg muscles in males // J. Physiol. - 1952. - 117. - P. 484-489.
2. Smith I.W. The act of standing // Acta orthoped. Scand. - 1953. - 23, № 2. - P. 159-165.
3. Basmajian J.V., Bentzon J.W. An elektromyographic study of certain muscles at the leg and foot in the standing position // Surg. Gynec. and Obst. - 1954. - 98. - P. 662-667.
4. Kawakami K. Electro-myographic study on the functional differentiation of the hand and foot muscles // Japan. J. Physiol. - 1954. - 4, № 1. - P. 1-5.

5. Jonbert G., Gueguen J.-Y. Les tensions elastique et contractile du muscle humain etiré. Leur intervention dans le maintien de la sttion debout // J. De Physiol. Paris. - 1956. - 48. - P. 763-770.
6. Жуков Е.К., Захарьянц Ю.З. Электромиографическая характеристика тонуса скелетных мышц человека // Пленум Комиссии по вопросам физиологии спорта: Тезисы докладов. Москва, 1957. - С. 52-54.
7. Бабский Е.Б., Гурфинкель В.С., Ромель Э.Л., Якобсон Я.С. Методика исследования устойчивости стояния // Труды Центр. научно-исследовательского института протезирования и протезостроения. Москва, 1952. - С. 31-35.
8. Гурфинкель В.С., Коц Я.М., Шик М.Л. Регуляция позы человека. Москва: Наука, 1965. - 256 с.
9. Wiggers C.I. Physiology in health and disease. Philadelphia, 1945. - 168 p.
10. Lowenstein O. Recording of responses from individual end-organs of the vestibular apparatus // Proc. Roy. Soc. Med. - 1952. - 45, 3. - P. 133-138.
11. Armstrong C.R. Space physiology // J. Brit. Interplan. Soc. - 1953. - 12. - P. 172-180.
12. Воячек Б.И. Современное состояние вопроса о функции вестибулярного аппарата // Сборник трудов Ленинградского научно-исследовательского института по болезням уха, носа, горла и речи. 1955. - Т. XI. - С. 35-61.
13. Крапивинцева В.П. Изучение рефлекторных механизмов прямостояния и их возрастных изменений у школьников: Автореф. дис.... канд. биол. наук. Москва, 1954. - 28 с.
14. Садчиков Н.Г. К методике исследования статического равновесия // Вопросы авиационной физиологии. - 1938. - IV. - С. 56.
15. Буліч Е.Г., Муравов І.В. Валеологія. Теоретичні основи валеології: Навч посібник. - Київ: ІМЗН, 1997. - 224 с.
16. Лукасік З. Динамічне позиціонування плаваючих монтажних установок за умов перешкод: Автореферат дис... доктора техн. наук, Київ, 1998. - 32 с.
17. Lukasik Z. Dynamiczne pozycjonowanie ruwaj cych obiektów wiertniczych Radom: Wydawnictwo WSI, 1988. - 117 s.
18. Хаютин В.М. Сосудодвигательные рефлексы. Москва: Наука, 1964. - 376 с.
19. Шик Л.Л. Кислородный запрос и кровообращение // Кислородный режим организма и его регулирование. Киев: Наукова думка, 1966. - С. 103-108.
20. Guyton A.C., Coleman T.G., Granger H.J. Circulation: Overall regulation // Ann. Rev Physiol. - 1972. - Vol. 34. - P. 13-46.
21. Guyton A.C., Hall J.E., Young D.B., Lechmeier T.E., Jackson T.E., Kastner P.R. A computer and experimental analysis of arterial pressure regulation and hypertension / Adv. Physiol. Sci., Cardiovascular physiology. Ed. A.G.B. Kovach et al., Budapest Pergamon Press-Akademiai Kiado, 1981. - Vol. 8. - P. 13-27.
22. Pelletier C.L., Sheperd J.T. Venous responses to stimulation of carotid chemorecepto by hypoxia and hypercapnia // Am. J. Physiol. - 1972. - 223, 1. - P. 97-103.
23. Bergofsky E.H. Mechanisms underlying vasomotor regulation of regional pulmonary blood flow in normal and disease states // Am. J. Med. - 1974. - 57, 3. - P. 378-394.
24. Гуревич М.И., Бернштейн С.А., Соловьев А.И. Дефицит кислорода в тканях и их кровоснабжение // Успехи физиол. наук. - 1981. - 12, 4. - С. 77-98.