

4510.0

3-389

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ
ОРДЕНА ЛЕНИНА ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ
КУЛЬТУРЫ

В.М. Запирский, Б.И. Прилуцкий

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ
СОХРАНЕНИЯ РАВНОВЕСИЯ ЧЕЛОВЕКОМ
ПРИ ВНЕШНИХ ВОЗМУЩАЮЩИХ
ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Методические рекомендации для студентов
ГЦОЛИФКа

Москва - 1984

БИБЛИОТКА
ЧИТАЛЬНИЙ ЗАЛ

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ОРДЕНА ЛЕНИНА
ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

В.А. Зациорский, Б.И. Прилуцкий

Утверждены Ученым
советом ГЦОЛИФКа

БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОХРАНЕНИЯ
РАВНОВЕСИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ПРИ ВНЕШНИХ
ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ

Методические рекомендации для студентов
ГЦОЛИФКа

БИБЛИОТЕКА

Москва - 1984

I. Сохранение равновесия при выполнении спортивных движений

Во многих видах спорта важным фактором успеха является способность сохранять равновесие. Так, в стрельбе из пистолета точность попадания обеспечивается устойчивостью тела к моменту выстрела, так как колебания руки с оружием у стрелка тем меньше, чем меньше колебания ног и корпуса [19]. В спортивной и художественной гимнастике, в акробатике большое количество элементов включают в себя всевозможные равновесия. Не случайно устойчивость гимнасток, определенная по амплитуде колебаний тела в обычной вертикальной стойке, превышает устойчивость представителей других видов спорта [27,34]. Большое значение приобретает способность сохранять равновесие в фигурном катании, беге на коньках, где опора имеет очень малую площадь. Применение специальных упражнений, направленных, в частности, на совершенствование функции вестибулярного аппарата и обучение навыкам к сохранению равновесия, благоприятно сказывается на улучшении спортивных результатов прыгунов с трамплина [9], гребцов [7]. В спортивной борьбе признаком тактико-технического мастерства является умение спортсмена учитывать особенности позы устойчивости противника, которому необходимо сохранять равновесие, противодействуя внешним возмущениям (толчкам, рывкам и т.д.) со стороны атакующего [17,21]. Далее мы остановимся в основном на последнем аспекте проблемы устойчивости позы - сохранении равновесия при внешних возмущающих воздействиях.

II. Основные понятия

I. У с л о в и я р а в н о в е с и я. Общим условием равновесия системы тел является равенство нулю всех действующих на нее внешних сил и моментов:

$$\left. \begin{array}{l} \sum F_{xi} = 0 \\ \sum P_{yi} = 0 \\ \sum F_{zi} = 0 \end{array} \right\} \begin{array}{l} \sum M_{xi} = 0 \\ \sum M_{yi} = 0 \\ \sum M_{zi} = 0 \end{array}$$

где $i = \overline{1, n}$, n - количество звеньев системы.

Если представим тело человека в виде голономной стационарной механической системы и предположим отсутствие действия внешних сил (кроме сил тяжести и реакции опоры), то эта система будет находиться в равновесии (покое), если ее потенциальная энергия имеет экстремум.

2. В и д ы р а в н о в е с и я. Равновесие может быть как устойчивым, так и неустойчивым. Достаточный признак устойчивости равновесия был сформулирован Ж. Лагранжем: "...когда эта функция (потенциальная энергия - прим. авторов) является минимумом, то в этом случае имеет место устойчивое равновесие в том смысле, что если сначала система находилась в состоянии равновесия, а затем была немного из него выведена, то она сама собой стремится вернуться к этому состоянию, совершая около него бесконечно малые колебания..." [22]. Соответственно неустойчивым равновесие будет, если экстремум потенциальной энергии является максимумом. Можно определить вид устойчивости позы человека следующим образом. Если вывести его из равновесия, то (при условии, что поза не меняется) в случае, если общий центр масс (ОЦМ) тела будет подниматься, мы имеем дело с устойчивым равновесием, если ОЦМ опускается - равновесие неустойчиво. Примером устойчивого равновесия является разного рода висы, неустойчивого - стойки, в том числе обычная вертикальная стойка.

3. П о к а з а т е л и с т е п е н и у о т о й ч и в о с т и р а в н о в е с и я. Стоящий человек находится в положении неустойчивого равновесия. Степень неустойчивости или, что тоже самое, степень устойчивости этого неустойчивого равновесия (в дальнейшем, в соответствии со сложившейся терминологией, мы будем употреблять последний термин) будет определяться высотой ОЦМ и расстоянием от проекции ОЦМ на плоскость опоры до края стопы. Показателем степени устойчивости является угол, образованный вертикальной линией, проходящей через ОЦМ и линией, соединяющей ОЦМ с краем площади опоры в направлении, в котором определяется степень устойчивости. Этот угол носит название угла устойчивости. Чем больше этот угол, тем выше степень устойчивости тела в данном направлении. В самом деле для того, чтобы опрокинуть тело относительно края опоры, необходимо приложить опрокидывающий момент, превышающий момент силы тяжести тела ($P \cdot l$, где P - вес тела, l - расстояние от края опоры до проекции ОЦМ), который (если проекция ОЦМ находится

внутри площади опоры) противодействует внешнему возмущению. Противодействие будет тем значительней, чем больше величина, что соответствует большему углу устойчивости. Кроме того, противодействие будет возрастать при увеличении веса тела P . Таким образом, момент силы тяжести тела также является показателем степени устойчивости. Иногда его называют моментом устойчивости. Минимальная сила, необходимая для того, чтобы опрокинуть тело, называется критической силой. В работе [26] определены критические силы для разных поз человека.

Говоря о степени устойчивости, мы предполагали, что на внешнее возмущение человек отвечает пассивно, как твердое тело. На самом деле процесс сохранения равновесия — есть процесс активный. Тело человека непрерывно подвержено незначительным случайным, нарушающим равновесие воздействиям, связанным с деятельностью систем дыхания, кровоснабжения и т.д. Отражением процесса регуляции равновесия в этих условиях является колебательный характер движения тела. Очевидно, чем меньше амплитуда колебаний, тем лучше человек справляется с задачей сохранения равновесия. При больших возмущающих воздействиях (толчки, смещение опоры) показателем качества процесса сохранения равновесия может являться минимальная величина воздействия, приводящая к потере равновесия (отрыву стопы от опоры, падению) [35, 59 и др.]. Если внешнее возмущение заведомо не в состоянии привести к потере равновесия, то за показатель, отражающий функционирование системы регуляции позы, принимается, например, величина смещения ОЦМ [24, 25, 38] или изменение угла в голеностопном суставе [61, 71].

4. Методы регистрации степени устойчивости равновесия. В настоящее время для исследований степени устойчивости позы получил широкое распространение метод стабилграфии [5]. От часто применявшегося ранее метода кефалографии (см., например, [28, 65]) его отличает точность и простота. Одно время считалось, что стабилграмма регистрирует перемещение ОЦМ в горизонтальной плоскости [5, 31], однако, кроме того, стабилграмма отражает влияние мышечных стабилизирующих моментов, которые пропорциональны ускорению ОЦМ [47, 49, 56, 91]. Реальное перемещение ОЦМ имеет меньшую частоту и большую амплитуду [57, 62, 68, 82, 83, 86]. Согласно оценке

E.V. Burfinkel (1973) [49], предел частоты, при которой в стабиллограмме присутствует ошибка менее 10%, есть 0,2 Гц. При частоте 0,5 Гц компоненты стабиллограммы, вызванные смещением ОЦМ и ускорением, примерно равны, а при частоте выше 1 Гц стабиллограмма отражает практически только ускорение. Различия между стабиллограммой и истинным перемещением ОЦМ при некоторых условиях могут достигать 70% [82]. Это следует учитывать при интерпретации стабиллографических данных.

ш. Сохранение равновесия при внешних возмущениях

1. Способы возмущения позы. На рис. 1 представлены возможные способы возмущения позы. Самыми распространенными являются способы, связанные с движением платформы со стоящим на ней человеком и толчком в корпус. Это объясняется, видимо, относительной простотой необходимой аппаратуры и возможностью дозирования стимула. На рис. 2 показаны примеры организации эксперимента с движущейся платформой и толчком в корпус [45, 50, 77]. Исследования возмущенной позы человека в результате действия толчка могут проводиться с использованием математической модели. В этом случае модель тела человека представляется чаще всего в виде одно- или двухзвенного перевернутого маятника^{х)}. На вход модели подаются определенные возмущения в виде кратковременного изменения обобщенных координат и исследуется поведение системы под действием стабилизирующих моментов в сочленениях (II, 54 и др.). Возмущение позы человека также можно осуществить произвольным или произвольным движением самого испытуемого (см. рис. 1), причем произвольное движение чаще вызывается электрической стимуляцией большеберцового нерва, что приводит к рефлекторному сокращению трехглавой мышцы голени (Н-рефлекс и М-ответ) (см., например, [3, 41]). При этом изменяется реакция опоры, происходит смещение ОЦМ, может произойти уменьшение площади опоры (например, отрыв пятки) и т.д. Произвольное сокращение мышц нижних конечностей и вследствие этого изменение вертикального положения тела

^{х)} Хотя такие представления являются довольно приближенными (см., например, [75, 80]), они дают в ряде случаев полезные результаты [16, 79 и др.).

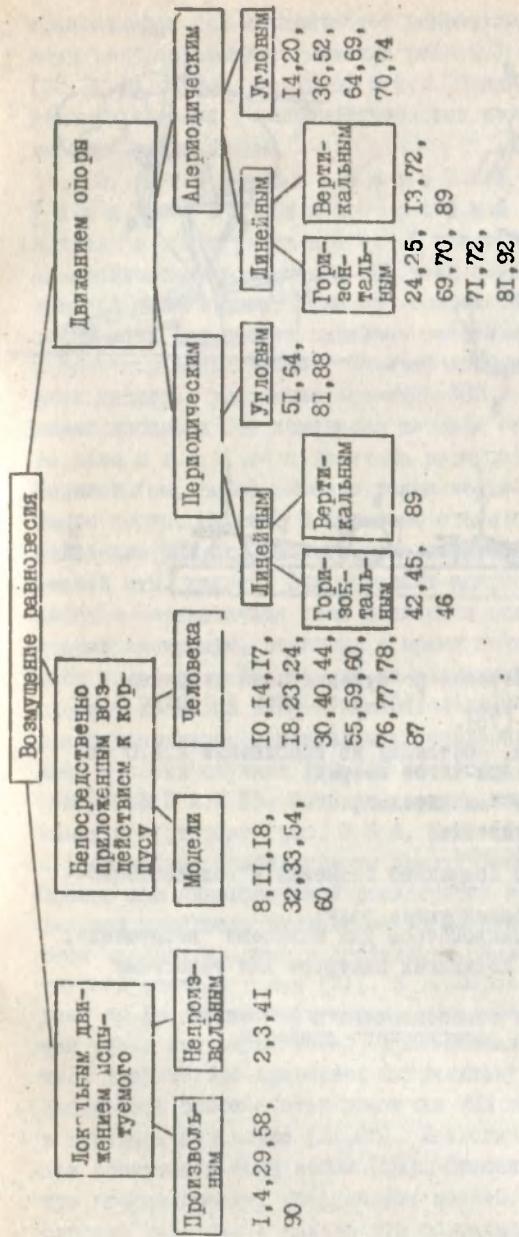


Рис. 1. Схема способов возмущения равновесия в эксперименте

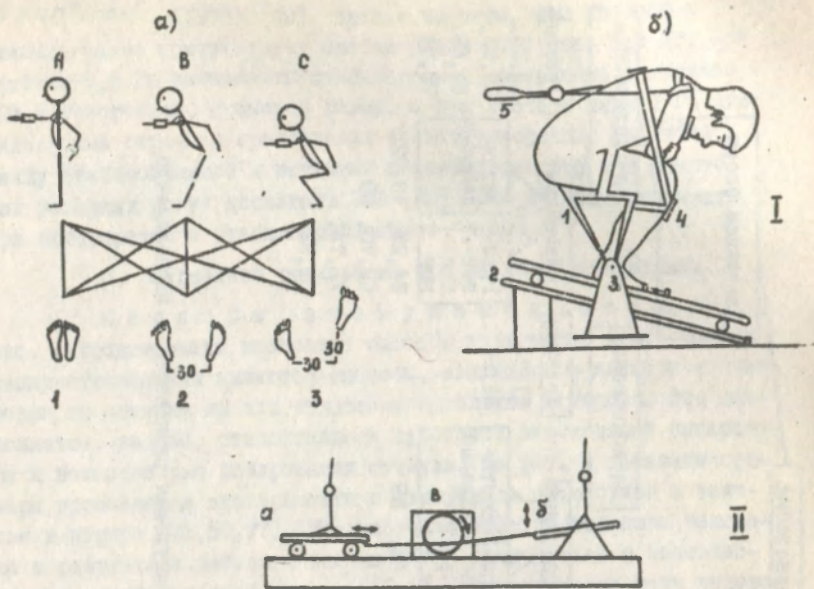


Рис. 2. Блок схемы методик возмущения позы человека движением опоры II [45] и толчком в корпус I: а) [60], б) [76].

I а) 9 различных поз, состоящих из комбинаций А, В, С и I, 2, 3, возмущаемых тягой вперед;

I б) возмущение позы "мыслителя";

1) подвижная скамейка;

2) стабиллоплатформа;

3) ось вращения подвижной скамейки и голеностопного сустава;

4) крепления, фиксирующие позу;

5) рукоятка с тензосметром для нанесения возмущений.

II. Схема устройства подвижных платформ для нанесения возмущений.

а - платформа для горизонтального движения;

б - платформа для ротационного движения;

в - двигатель

происходит и при механической вибростимуляции сухожилий и мышц (вибрационный тонический рефлекс) нижних конечностей [12, 15, 43, 48, 84], шеи [48] и т.д. Однако в связи со сложностью данного явления и недостаточной его изученностью мы его рассматривать не будем.

2. Биомеханические характеристики ответных реакций на внешние возмущения. Смещения ОЦМ. При аperiodическом возмущении ОЦМ тела смещается в сторону возмущающего воздействия, если оно приложено к корпусу. Если возмущение позы вызывается линейным смещением опоры, ОЦМ движется в обратном направлении. Задачей коррекции позы в этих условиях является удержание проекции ОЦМ в опорном контуре. Этого можно добиться без изменения площади опоры (без дополнительного шага и т.п.), если величина возмущения не является слишком большой (см. выше). Именно такие воздействия используются особенно часто. На рис. 3 показаны стабิโลграммы, характеризующие поведение ОЦМ при различного рода возмущениях. Отметим ряд особенностей этих кривых. Они отражают аperiodический характер процесса восстановления позы и имеют в основном один сильно выраженный экстремум, величина и время появления которого определяются силой воздействия, но не направлением. Так, при смещении опорной площадки вперед или назад на 4-5 см с ускорением 0,3 время достижения максимального отклонения стабิโลграммы составляет в обоих случаях 200-350 мс после начала возмущения (25) (см. рис. 3 Ш А, Ш Б). Похожая картина наблюдается и при толчках назад и в сторону (рис. 3 П А, П Б) [24]. Здесь сагиттальная и фронтальная стабิโลграммы практически повторяют одна другую. Однако при одновременной регистрации после возмущения в сагиттальной плоскости отклонения во фронтальной стабิโลграмме являются незначительными и составляют около 10% от амплитуды сагиттальной стабิโลграммы [21]. И, наоборот, если возмущение действует во фронтальной плоскости, например, при поднятии и опускании опоры под одной ногой, фронтальная стабิโลграмма по амплитуде значительно превышает сагиттальную [89] (рис. 3 Ш С). Интересной особенностью движения ОЦМ является его невозвращение в исходное положение [21, 25]. Аналогичные результаты получены при возмущении позы собак [38]. Стабิโลграммы, регистрируемые при аperiodических ротационных воздействиях, имеют во многом сходный характер с только что описанными.

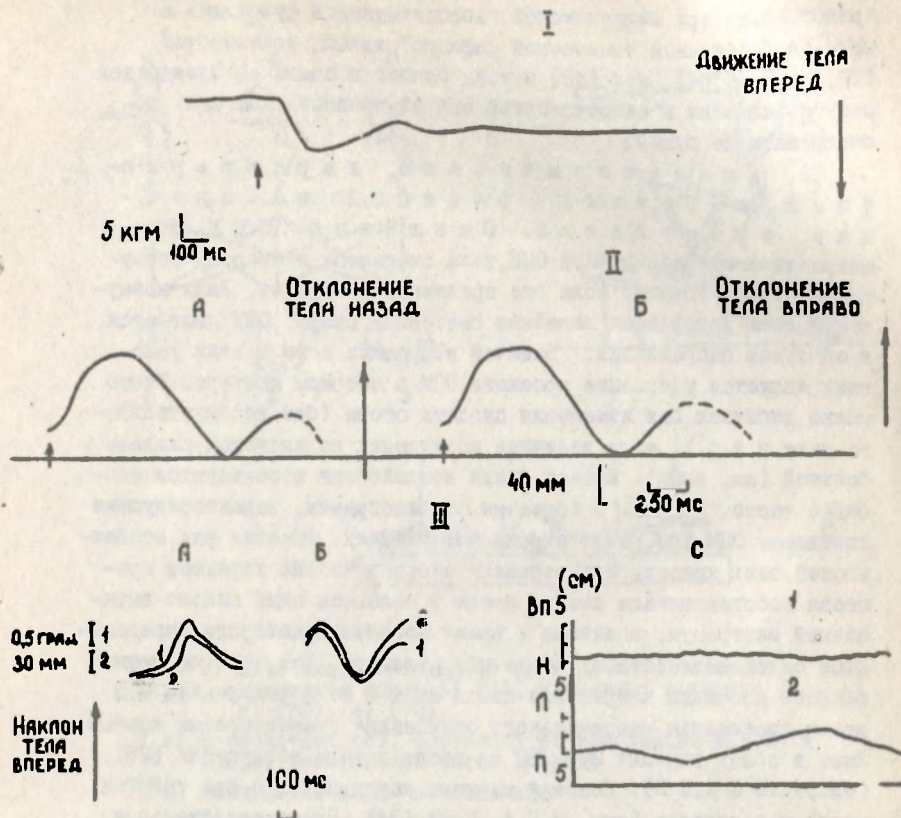


Рис. 3. Стабилограммы, регистрируемые при возмущении позы:

- I. Воздействием, приложенным к корпусу в переднем направлении (сагиттальная стабилограмма) [18].
 - А. Толчком в корпус в заднем направлении (сагиттальная стабилограмма) [24];
 - Б. Толчком в корпус в правую сторону (фронтальная стабилограмма) [24].
- II А. Линейным смещением опоры назад (сагиттальная стабилограмма) - 2, угол в голеностопном суставе - 1) [25];
- Б. Линейным смещением опоры вперед (сагиттальная стабилограмма - 2, угол в голеностопном суставе - 1) [25];
- С. Периодическим вертикальным смещением опоры под одной из ног (I - сагиттальная стабилограмма, 2 - фронтальная стабилограмма, II - вправо, II - влево, Вп - вперед, Н - назад) [89].

Маленькой стрелкой отмечен момент начала возмущения

В ответ на периодические линейные и ротационные смещения опоры тело реагирует так, как показано на рис. 4. Сравнивая кривую стабиллограммы с движением платформы (рис. 4 I), можно заметить, что частота колебаний тела соответствует частоте возмущения, однако тело движется с некоторым запаздыванием. Это запаздывание в полосе частот возмущающего воздействия от 0,2 до 1,4 Гц составляет от 36 до 122° [46]. Наименьшее значение фазы колебаний тела наблюдается при частоте ротационного и линейного смещений опоры, равной 0,8 Гц [46,64] (рис. 4 II Б). Относительные величины амплитуды колебаний ОЦМ можно сказать, что она максимальна при частотах 0,2-0,4 Гц и имеет тенденцию к уменьшению с ростом частоты (рис. 4 II А) [42,46,64]. Снижение амплитуды колебаний тела с увеличением частоты возмущения обнаружено также в работах [39,51,88].

Изменения углов в оуставах. Отклонение ОЦМ тела при возмущении определяется изменением суставных углов. Суставные углы ведут себя по-разному в зависимости от того, каков характер возмущающего воздействия, его сила, направление, а также какое исходное положение занимал человек. Поэтому естественно, что в разных работах авторы получают гониограммы самого разнообразного вида. В качестве примера приведем графики углов голеностопного, коленного, тазобедренного и туловищного суставов при возмущении позы толчком в корпус назад и смещением опоры вперед [24] (рис. 5). Несмотря на одинаковый характер стабиллограмм, представленные углы изменяются в противоположных направлениях. Наибольшая амплитуда угла при толчке в корпус наблюдается в коленном суставе (порядка 15°) (рис. 5 А), при движении опоры - в голеностопном суставе (порядка 25°) (рис. 5 Б). Если углы в коленном, тазобедренном и туловищном суставах меняются мало, то в этом случае гониограмма голеностопного сустава по форме очень напоминает стабиллограмму (см., например, рис. 3 III А, III Б).

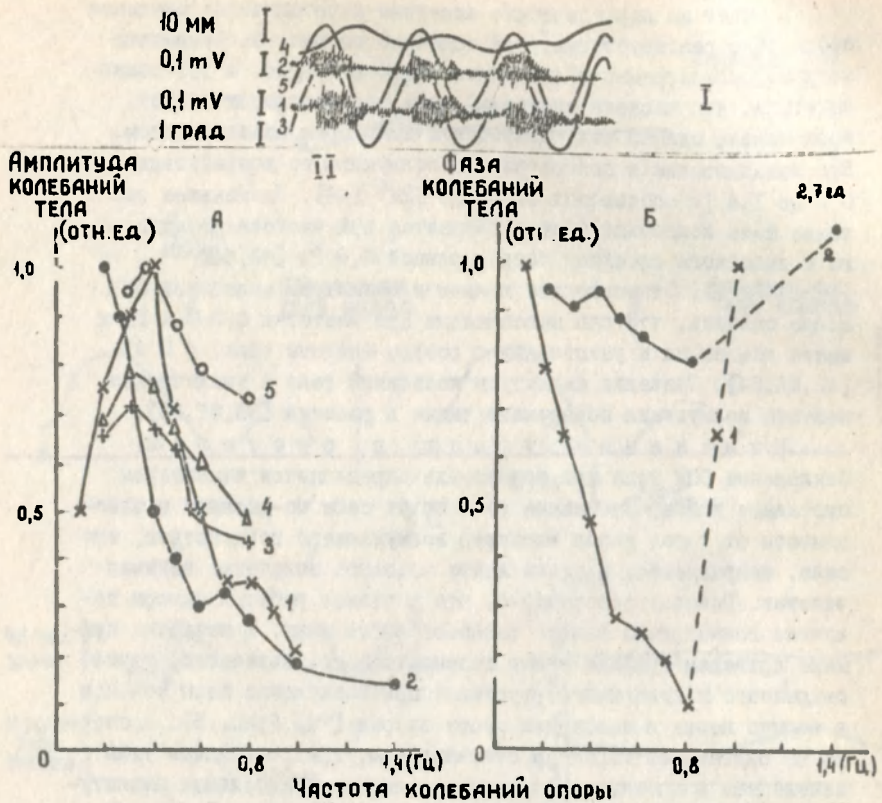


Рис. 4. Реакции ОЦМ тела на периодические возмущения.

I. Ответные реакции на ротационное синусоидальное смещение опоры (5I);

1 - ЭМГ камбаловидной мышцы; 2 - ЭМГ икроножной мышцы; 3 - положение голеностопного сустава; 4 - сагиттальная стабилотограмма: направление вверх - отклонение тела вперед; 5 - положение платформы, наклоняющейся с амплитудой 4° и частотой 1 Гц.

II. Амплитудные (А) и фазовые (Б) зависимости смещения ОЦМ тела в ответ на периодическое движение опоры:

1 - ротационное (64);

2 - линейное (46);

3 - линейное (42);

4 - линейное (42);

5 - линейное (42);

кривые 1, 2, 3 получены в экспериментах со здоровыми испытуемыми - 4, 5 с больными, страдающими расстройствами вестибулярного аппарата.

Примечание. Данные по амплитуде и фазе колебаний тела преобразованы нами в относительные единицы.

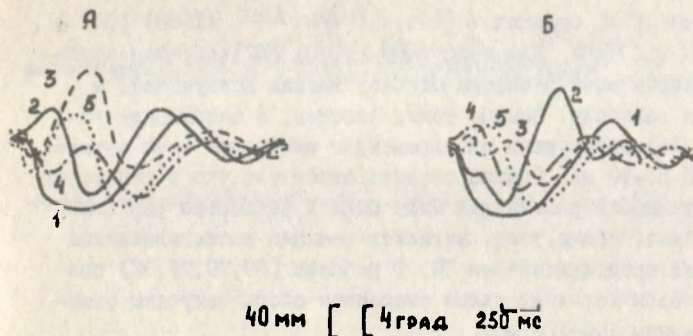


Рис. 5. Суставные углы и стабилосограмма при возмущении позы:
 А - толчком в корпус назад;
 Б - смещением опоры вперед;
 I - сагиттальная стабилосограмма; 2 - сагиттальный голеностопный угол, 3 - сагиттальный коленный угол, 4 - сагиттальный тазобедренный угол, 5 - сагиттальный туловищный угол.
 Смещению проекции ОЦМ и изменению суставных углов вперед соответствует отклонение кривых вверх [24]

Активность мышц. Поскольку разные способы возмущения позы вызывают различные ответные реакции испытуемых, целесообразно рассмотреть их в соответствии со схемой на рис. I. В табл. I, 2 и 3 собраны сведения о процессе сохранения равновесия человеком, в частности, о характере активности мышц при разных позах возмущениях. Отметим некоторые особенности этой активности. При аperiodическом линейном или ротационном смещении опоры, а также при резком толчке в корпус и локальном движении выявляются несколько типов ответных реакций. В одном из них [24, 40, 41, 52] активируются растягивавшиеся во время возмущения мышцы с коротким латентным периодом (ЛП) - 40-70 мс.

В работах [30,36,77], также рассматривавших растягиваемые мышцы, получен двойной мышечный ответ: первая волна активности наблюдается через 40-70 мс, вторая - через 120-250 мс. Похожую реакцию на возмущение, имеющую две волны активности через 20-25 мс и 55-60 мс после начала смещения опоры, обнаружили в экспериментах на собаках *L. Mori, J.M. Brockhart* (1968) [66] и *J.M. Brockhart, L. Mori, E.J. Reynolds* (1970) [67]. Причем активность некоторых мышц зависела от направления возмущения, а других - не зависела. Помимо таких ответов, в целом ряде работ [21,24,25] обнаружена одновременная активация мышц-антагонистов с ЛП 55-90 мс. Однако следует отметить, что в некоторых случаях активность растянутых мышц была в несколько раз выше [21,25]. Можно, кроме того, выделить реакцию растягивающихся мышц с более продолжительным ЛП. В работах [69,70,71,92] при возмущении позы горизонтальным смещением опоры получены ответы с ЛП, равным 100-120 мс.

Динамика электрической активности во времени так же, как ЛП, сильно вариативна. Причем вариативность эта во многом обусловлена характером возмущения. При синусоидальных смещениях опоры, например, ЭМГ мышц нижних конечностей имеет периодический характер (см. рис. 4 I). Если внешнее воздействие заключается в непрерывной тяге с постепенно возрастающей силой, приложенной к корпусу, то ответные реакции мышц в период возмущения можно разделить на два типа: с постепенным повышением уровня потенциалов и с чередующейся формой активности [17]. Соответствующие типы мышечной активности схематично представлены на рис. 6. Во время проявления серии усилий противодействия (рис. 6 А) всплески электрической активности соответствуют отклонениям в стабิโลграмме. При постепенном отклонении стабิโลграммы также постепенно увеличивается уровень активности мышц (рис. 6 Б). Следует обратить внимание на то, что при тяге опереди активизируются мышцы задней поверхности тела (в данном случае икроножная мышца), при тяге сзади - передней (передняя большая берцовая мышца). К такому же выводу пришли *C. Folk и J. A. ...* (1923) [44]. Правда, во многих случаях подобные представления не подтверждаются (см., например [23], а также данные других авторов в табл. I,2,3). При возрастании величины тяги, приложенной к корпусу, о. ну. до уровня, при котором человек

14

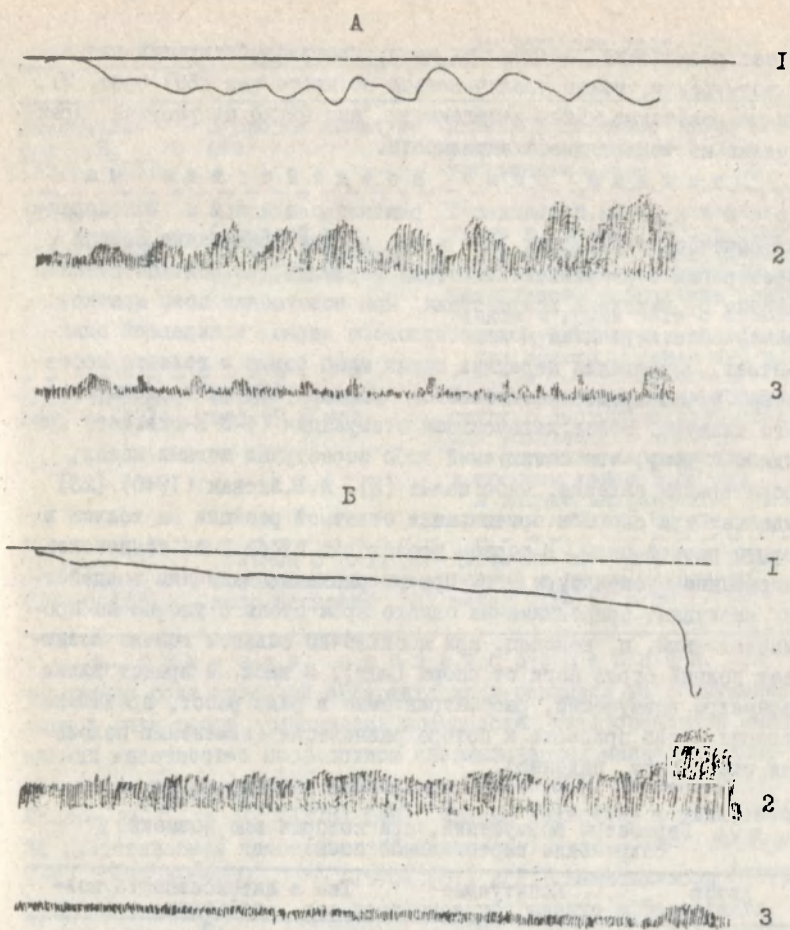


Рис. 6. Стабилограмма и ЭМГ, отражающие проявление серии усилий противодействия постоянно нарастающей нагрузке (А) и процесс целостного усилия противодействия (Б) (при тяге спереди) [17]:
 1 - стабилограмма, 2 - ЭМГ икроножной мышцы,
 3 - ЭМГ передней большеберцовой мышцы

тернет равновесие, активность мышц, противодействующих внешнему возмущению, может увеличиваться во много раз [59] (рис. 7), однако некоторые мышцы-антагонисты, как видно из рисунка, практически не меняют своей активности.

Влияние силы воздействия на восстановление равновесия. Как характер мышечной активности, так и все другие проявления позы перестройки в результате действия возмущения в большой степени зависят от величины воздействия. При возмущении позы кратковременной стимуляцией большеберцового нерва, вызывавшей один М-ответ, сокращения передних групп мышц бедер и голеней достаточно, чтобы предотвратить выход проекции ОЦМ за пределы опорного контура. Более интенсивная стимуляция (4-5 М-ответов) приводила к тому, что испытуемый либо переступал ногами назад, предотвращая падение, либо падал [3]. Л.Б.Литвак (1940) [23] выделяет три способа организации ответной реакции на толчки в корпус разной силы. В первом происходит глобальное тоническое напряжение мускулатуры ног. При возрастании величины воздействия наступает приподнимание одного края стопы с упором на противоположный, и, наконец, при достаточно сильном толчке возникает полный отрыв ноги от опоры (шаг). В табл. 4 представлены параметры возмущений, рассматриваемые в ряде работ, превышение которых могло привести к потере равновесия (изменению положения стоп, шагу, падению).

Таблица 4

Параметры возмущений, при которых еще возможно сохранение вертикальной позы

Автор	Испытуемые	Тип и интенсивность воздействия
1	2	3
Купцов А.П. (1969) [21]	Борцы с весом: до 57 кг от 57 до 78 кг от 78 до 97 кг и выше	Толчок в корпус с силой: 2,4 кг 3,0 кг 3,6 кг
Котляшова К. et al. (1974) [60]	Здоровые мужчины и женщины с весом от 46,2 до 98 кг	Тяга вперед, приложенная к груди с силой: менее 10 кг (при скорости тяги 10,6 см/с); менее 20 кг (при скорости тяги 53,7 см/с); менее 36 кг (при скорости тяги 105,4 см/с)

Продолжение табл. 4

1	2	3
Мамасахлисов Г.В. (1975) [25]	Здоровые испытуемые	Линейное смещение опоры вперед или назад на 4-5 см с ускорением 0,3g
<i>Kobayashi K. et al.</i> (1976) [59]	Здоровые мужчины (средний вес 70 кг) и женщины (средний вес 49 кг)	Тяга вперед, приложенная к груди в течение 10 с с силой: для мужчин - менее 11-18 кг; для женщин - менее 7-10 кг. Неожиданное устранение приложенной к груди тяги с силой: для мужчин - менее 4-14 кг; для женщин - менее 4-5 кг
Казидов М.М. (1977) [17]	Борцы (средний вес 67,5 кг)	Тяга, приложенная на уровне груди с постоянно возрастающим усилием (65 мг/с): в переднем направлении - в среднем менее 6,59 кг; в заднем направлении - в среднем менее 5,62 кг
<i>Hatmann K-F et al.</i> (1979) [53]	Больные с расстройством вестибулярного аппарата	Движение на периферии поля зрения с углом ускорения менее 0,8-2,4 м/с ²

3. Влияние пропорцепции. Для выяснения роли мышечной афферентации в реакциях на возмущение позы в ряде работ применялась ишемическая деафферентация мышц нижних конечностей посредством пневматических манжеток, помещаемых на проксимальные звенья ног [25, 40, 67]. По данным *Costaigne P. et al.* (1978) [40], ишемия приводила к удлинению ЛП растягиваемой камбаловидной мышцы на 15 мс. *S. Mori, P.J. Reyno-Eds. J.M. Dochhart* (1970) [57] и Г.В. Мамасахлисов (1975) [25] пришли к выводу, что частичное устранение афферентации незначительно изменяет реакции тела на возмущение. В связи с этим интересно рассмотреть проявление рефлекса на растяжение при регуляции устойчивости равновесия [50]. Мнение о том, что этому рефлексу принадлежит основная роль в данных условиях, не всегда подтверждается, так как уже отмечалось выше, - ответ на возмущение могут активироваться укорачивающиеся мышцы, а растягивающиеся способны отвечать с ЛП, значительно превышающим ЛП рефлекса на растяжение. В работе [51] показано, что вызванная периодическим смещением опоры активность икроножных мышц

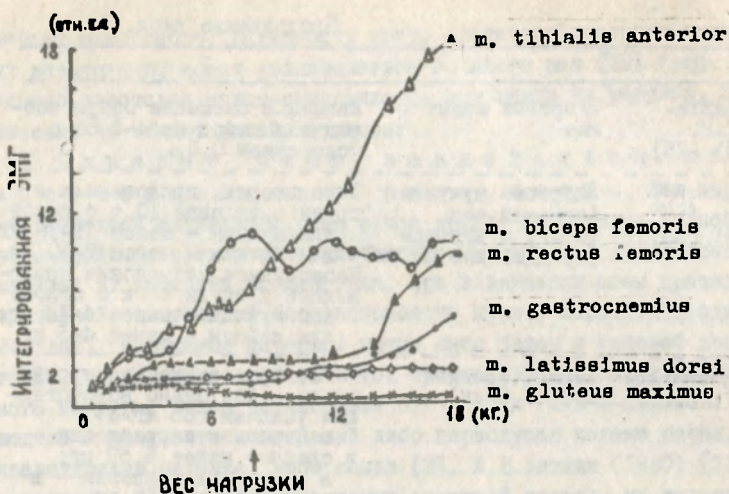


Рис. 7. Интегрированная ЭМГ позных мышц при статическом сопротивлении внешней силе, приложенной к груди стоящего испытуемого. Ордината - интегрированная ЭМГ за 10 с оспротивления внешней нагрузке. Абсцисса - вес нагрузки от нуля до максимума. Стрелка - максимальный уровень воздействия, при котором испытуемый был еще способен сохранять позу при неожиданном устранении внешней нагрузки. Испытуемый - мужчина, рост - 1,73 м, вес - 86 кг [59]

не соответствует фазе их растяжения. До этого В.С.Гурфинкелем с соавт. [14] обнаружено отсутствие раннего ответа трехглавой мышцы голени на возмущение, вызывающее ее удлинение по величине, превышающей порог стреч-рефлекса. Если при возмущении позы поворотом опорной площадки закрепить голеностопный сустав так, чтобы длина трехглавой мышцы не менялась, это практически не сказывается на характере реакции трехглавой мышцы, в частности на ее ЛП [52]. Эти результаты дают основание считать, что рефлекс на растяжение не может являться основным механизмом обеспечения устойчивости вертикальной позы, регуляция которой, возможно, определяется супраспинальными влияниями, учитывающими совокупность афферентной информации от различных мышц и суставов тела [3, 14, 52]. Однако существует и противоположное мнение, которого придерживается, в частности, *V. Dietz*. Он с соавторами при возмущении позы получил ответ передней большеберцовой мышцы через 40 мс после начала ее растяжения [41]. Частота ко-

лебаний тела при стоянии на качающемся основании, равная 4-5 Гц, соответствует, по мнению авторов, условиям проявления сегментарного рефлекса на растяжение. Фиксация голеностопных суставов пластырем и ишемия нижних конечностей приводили к уменьшению частоты колебаний до 1 Гц и ниже, что свидетельствовало, как было отмечено, об увеличении активности супраспинальных механизмов [41, 63]. *J. Noth, U. Metz* (1979) [73] обнаружали также короткий ЭМГ-ответ трехглавой мышцы голени во время взаимодействия с опорой бегущего на месте человека при неожиданном ее подъеме или опускании под одной ногой.

В заключение этого раздела следует отметить, что судить по латентному периоду о принадлежности рефлекса к тому или иному типу можно лишь с большой осторожностью. Подробнее этот вопрос рассматривается в работе [25].

4. Вестибулярные и зрительные влияния. В достаточно большом количестве работ (см. табл. 1, 2, 3) были получены III активации позных мышц порядка 100-250 мс, что, видимо, является отражением функции вестибулярного аппарата.

Говоря о роли зрения в ответных реакциях на возмущения, следует отметить, что сами по себе движения зрительной сцены могут вызывать значительные позные изменения (см., например, [61, 85], а у больных с патологией вестибулярного аппарата полную потерю равновесия - падение [53]. Кроме того, в сочетаниях с механическим возмущением вертикальной позы движение зрительной сцены способно модулировать двигательный ответ с III менее 100 мс, что значительно меньше длительности III произвольной двигательной реакции на зрительный стимул [71].

Особый интерес представляет случай, когда раздражения вестибулярного аппарата (в результате, например, ускоренного смещения опоры) не соответствуют зрительной стимуляции (движение зрительной сцены может быть осуществлено пресципированием изображения на экран и созданием так называемого "зрительного туннеля" [37, 61], а также при помощи движущейся камеры, помещаемой над головой испытуемого [53, 71, 92]). В этой ситуации наблюдается значительно большая позная реакция, выражающаяся в угле наклона тела [71]. По данным *J. T. Soechting, A. Berthoz* (1979) [81], при условии равенства скоростей движения тележки со стоящим на ней испытуемым и зрительного окружения (конфликтная ситуация) наклон тела увеличивался по сравнению с некофликтной ситуацией на 29-81%.

Возмущение равновесия

Тип движения	Автор	Испытуемые	Поза и ее особенности	Движение, возмущающее позу	Способ вызова непроизвольного движения
1	2	3	4	5	6
Н е п р о з в о л ь н о е	М.А.Александров и др., 1970, 1979 [2,3]	14 здоровых испытуемых (17-30 лет)	Ортоградная	Подожвенное сгибание одной из стоп	Электрическая стимуляция большеберцового нерва в подколенной ямке (1 мс), вызывающая максимальный М-ответ, с интервалами от 3 до 15 с
			С наклонном вперед		
			С наклонном назад		
			С опорой о стену		
Н е п р о з в о л ь н о е	V. Dietz <i>et al.</i> , 1980 [41]	14 здоровых испытуемых (24-26 лет)	Ортоградная на каблуке	Подожвенное сгибание обеих стоп	Электрическая стимуляция большеберцовых нервов, вызывающая максимальный М-ответ
			на основании		
П р о з в о л ь н о е	В.Е.Беленький и др., 1967 [6]	Здоровые испытуемые	Ортоградная	Поднятие по звуковой команде вытянутой руки вперед, опускание по звуковой команде руки	-
			Ортоградная с вытянутой рукой		

Таблица I

локальным движением испытуемого

Что регистрировалось	Активируемые мышцы	Результаты		Другие результаты
		латентный период (ЛП) (мс)	примечания	
7	8	9	10	11
ЭМГ КМ, ПЕМ, ЧМБ, ДМБ; стабилграмма; гснйограмма голенистоопного сустава	Контралатеральная ПЕМ,	94-150	ЛП от начала стимула	Подавлялась фоновая активность контралатеральной КМ
	ПЕМ, контралатеральная и ipsilateralная ЧМБ,	"-	"	ЛП возрастает; длительность реакции уменьшается; подавляется активность контралатеральной КМ
	ипсилатеральная ПЕМ	65-140	"	ЛП уменьшается; длительность реакции возрастает
	"-		"	ЛП возрастает; длительность реакции уменьшается; подавлялась активность контралатеральной КМ
ЭМГ ПЕМ, ИМ; стабилграмма; гонниограмма суставов ног	ПЕМ	40	ЛП от начала растяжения ПЕМ	-
ЭМГ ДМ, ДМБ, ЧМБ, мышцы туловища; стабилграмма	ДМ	130-140	ЛП от подачи сигнала	В положении сиди ЛП та же; ДМБ - неактивна
	ипсилатеральная ДМБ	80-100	"	Прекращается активность ипсилатеральной ДМБ о ЛП 50-60 мс
	Ипсилатеральная ЧМБ	70-110	"	

I 2 3 4 5 6

М.А.Алексеев 15 здоровых Ортоградная Поднятие ноо-
и др., 1975 испытуемых ка или пятки
(1): (19-35 лет) одной из ног
по звуковому
сигналу

М.А.Алексеев,
А.В.Найдель,
1972 [4]

С наклоном
вперед

С наклоном
назад

С наклоном
в сторону

Пр о з в о д ь н о е

Б. де Ви
1973 [90];
J.S. Kapteyn, W. Vley
1976 [58]

10 здоровых Ортоградная
испытуемых; с закрытыми
26 - с синд- глазами
ромом Менъ-
ера; 17 - о
другими рас-
стройствами
ЦНС

Кивание го-
ловой

М.Н.Сальчен-19 спорт- Ортоградная
ко 1980 сменов: Фехтоваль-
[29] щиков

Фехтоваль-
ный укол по
зрительному
сигналу

баскетбо-
листы

Ортоградная
на подвижной
тележке

Ортоградная Передача мя-
ча в мишень
по зрительно-
му сигналу

Примечание к таблице I. ЭМГ - электромиограмма, ПЕМ - перед
ЧМБ - четырехглавая мышца бедра.

Продолжение таблицы I

7	8	9	10	11
ЭМГ ПБМ, КМ, ЧМБ, ДМБ; гониограммы суставов осей ног; стабидограмма	Контралатеральная ПБМ, контралатеральная КМ	200-300	При подъеме пятки	В положении сидя активность не наблюдалась
		200-250	При подъеме носка (ДП от начала сигнала)	
		-	При подъеме пятки	Активность контралатеральной КМ падает
		-	При подъеме носка	Активность контралатеральной КМ выше
		-	При подъеме пятки	Активность контралатеральной ПБМ выше
		-	При подъеме носка	Активность контралатеральной ПБМ ниже
		-	При весе тела на: контралатеральной ноге	Коррекционная активность: исчезает
		-	исподлатеральной ноге	ослабляется
Стабидограмма		-		У больных с синдромом Меньера уменьшаются колебания тела; у остальных испытуемых, в том числе и у здоровых, - увеличиваются
ЭМГ мышц ног и рук	ЧМБ задней ноги	-	Активность возникла до активации мышц руки	Активация ЧМБ не наблюдалось
	ЧМБ обелх ног	-	Активность возникла до активации мышц рук	

няя большеберцовая мышца, КМ - камбаловидная мышца,

Возмущение равновесия непосредственно

Объект исследования	Автор	Испытуемые или модель	Поза и ее особенности	Характеристики возмущения		Возмущение	
				направление	место приложения	величина	сила
I	2	3	4	5	6	7	8
	(Fox, a The Vanguard, 1923 [44])	-	Ортоградная	Спереди-назад	Верхняя часть груди	-	-
	Д.Б.Литвак, 1940 [23]	50 здоровых испытуемых	Ортоградная	Спереди-назад	Верхняя часть груди	-	-
				Сзади-вперед	Между лопатками		
				В стопу	На уровне плеча		
	А.П.Купцов, 1969 [18]	140 борцов (средний возраст - 24,2 года, вес 63-78 кг)	Ортоградная: ноги на ширине плеч	Вперед; назад	На уровне чуть ниже лопаток	-	2,4-3,6
			правая нога впереди				
			левая нога впереди				

Таблица 2

приложенной к телу силой

дающего чем реали- зуется	Что ре- гистриру- ется	Результаты		Примечания	Другие резуль- таты
		активиру- емые мыш- цы	латент- ный пе- риод (мс) (мо)		
9	10	11	12	13	14
Рукой эко- перимента- тора	Напряже- ние мышц (посред- ством визуаль- ного на- блюдения и паль- пации)	ПММ, ЧМБ, мышцы ки- вота ИМ, ЯМ, КММ, мыш- цы зад- ней по- верхности бедр	-	При этом приподни- мался но- сок При этом приподни- мался зад- ний край отопи	-
-	Напряже- ние мышц (посредст- вом визу- ального наблуда- ния и пальпа- ции, а также о помощью прибора электри- ческой за- писи на кимографе)	Все мышцы нижних ко- нечностей	-	-	Выделено три фазы ответной реакции
Грузом, подвешен- ным на тросе че- рез блок	Стабиль- грамма; ЭМГ	Мышцы-ан- тагонисты голено- стопного оустава	70-100 50-70	До адапта- ции, после адаптации	Стойка со сто- пами на ширине плеч - наибо- лее устойчивая; растягивающие- ся мышцы были в несколько раз более активны
			-	-	
			-	-	

1	2	3	4	5	6	7	8
	А.И. Литвинцев 1972 (24)	-	Ортоградная о за-крытыми глазами	Спереди-назад	Верхняя часть туловища	-	-

Сле-ча-направо

Р.А. Гуревич 1973 (10)	50 испы-туемых (от инеалидов о протезами до гимнао-тов)	Ортоградная	Сзади-вперед	В опину на уров-не сред-негру-динного отдела	-	-
---------------------------	---	-------------	--------------	--	---	---

В.С. Турфин-кель и др., 1974 (14)	I здоро-вый испы-туемый	Ортоградная о противо-действием грузу (0,05 кг), подвешенно-му к поя-су сзади	Сзади-вперед	На уров-не пояса	-	0,05
--------------------------------------	-------------------------	---	--------------	------------------	---	------

<i>N. Kobayashi et al.</i> 1974 (60)	12 мужчин (рост - 1,56-1,90; вес - 53,5-98,0 кг) 4 женщины (рост - 1,56-1,70м; вес - 46,2-73,0 кг)	9 различ-ных поз (см. рис. 2а)	Вперед	На уров-не гру-ди	0,10 6 до 30 0,53 7 до 50 1,05 4 до 60	
---	---	--------------------------------	--------	-------------------	--	--

Продолжение таблицы 2

9	10	11	12	13	14
-	Стабилограмма; ЭМГ; гониометрия суставов ног	ПБМ, НШМБ, ГМ, ПМЖ	55-88	Активность определялась движением СЦМ	
		Правая ИМ	55-80	Вытормаживается активность левой ИМ	"-
		Левая ПБМ	"	"	"
		Правая НШМБ	"	"	"
		Левая ПСМ	"	"	"
Пооредот- вом сле- циального уотройот- ва	Стабило- грамма	-	-	-	Определена область статической характеристики, для которой найдены коэффициенты передачи
Неожидан- ным уст- ранением подвешен- ного гру- за	ЭМГ ТМГ; стабилограм- ма; Гонио- грамма го- леностопно- го сустава	ТМГ	-	Скорость и величина изменения угла в голеностопном суставе соответствовали условиям свободного стояния	
С помощью двигате- ля, тяну- щего на тросе ис- пытываемого	Измерялась сила тяги и ЭМГ мышц ног в туло- ща	Мышцы ног и туловища	-	-	Максимальные силы сопротивления были больше для стоек типа С и З (рис.2а)

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>П. Астауаш,</i> <i>т. талсу.</i>	16 мужчин 7 19-32 г.; средний рост 1,71 м; сред- ний вес - 70 кг; 4 женщины (возраст - 19-32 г.; средний рост 1,55 м; сред- ний вес - 49 кг)	Орто- градная- пятки вместе, носки врозь	Назад	Область груди Область ОЦМ	-	До 18	
<i>Р. Castaño,</i> <i>не et Cal,</i>	6 здоровых испытуемых; 3 - с востя- булярными расстройст- вами	Орто- град- ная	Сзади- вперед Спере- ди- назад	На уров- не груди	-	-	
М.М.Кави- лов, 1979, (17)	159 борцов (средний возраст - 19 лет, средний вес - 67,5 кг)	Орто- град- ная - ноги на ширине плеч	Вперед Назад	На уров- не нижне- го края лопаток "-	-	В сред- нем до 1,93 В сред- нем до 1,51	
Б.Н.Сме- танин в др. 1979 (30)	-	Орто- град- ная	Спере- ди- назад	На уров- не груди	-	-	
			Сзади- вперед				

Продолжение таблицы 2

9	10	11	12	13	14	
Нвокиданное устранение сопротивления груза посредством электромагнитной системы	" "	ПЕМ	117,2	1 кг	Сила, приложенная на уровне груди	Обнаружена связь между степенью устойчивости и весом тела
			90,1 78,9 71,1 68,0	3 кг 5 кг 7 кг 10 кг		
			113,6	1 кг	Сила, приложенная на уровне ОЦМ	
			101,8	3 кг		
			95,3	5 кг		
			90,3 87,5	7 кг 10 кг		
С помощью специального устройства	ЭМГ ПЕМ, КМ	КМ	53	При толчке сзади: -здоровых испытуемых; -больных		-
			110 85-90	При толчке спереди здоровых испытуемых		-
Заполнение сосуда, подвешенного через блок к испытуемому, водой (65 мл/о)	Стабилограмма; ЭМГ; гониограмма голеностопного сустава	-	-	Выявлено 2 типа усталости противодействия: 1) целостное; 2) периодическое проявление усталости		
				ПЕМ	50	Активируется до начала изменения угла в голеностопном суставе
			120-250			
			ИМ	50	" "	" "
			120-250	" "	" "	

1	2	3	4	5	6	7	8
	<i>B. N. Smolnar m. a. a. i. s. e. e.;</i> 1979 (76, 77, 7с)	5 здоровых испытуемых	Ортог- радная	Назад	На уровне груди	-	Поряд- ка 4
			Поза "мысли- теля"				
	<i>Tomie mo- tomei,</i> 1979 (87)	-	Ортог- радная	Вперед, назад, в сто- роны	Разные участки тела	-	-
	<i>B. Dzian et al.,</i> 1980 (55)	-	Ортог- радная	Сзади- вперед	Верхняя часть корпуса	-	-
	С. Ф. Фомин, Т. И. Штиль- канд, 1972, 1973 (32, 33)	Плоская двухзвен- ная модель; зве- нья соединены идеальными шарни- рами; в шарнире действует момент внутренних сил; используются уравнения Лагран- жа II рода			Возмущение имеет размерность сил и входит в уравнение с управляющим воздействием внутренних сил)		
	Р. А. Гур- вич и др., 1974 (II)	Перевернутый двух- звенный маятник, звенья которого соединены упруги- ми связями			Возмущающее воздействие в дельта-функции		
Б	<i>A. Kobayashi et al.,</i> 1974 (60)	Манекен (рост - 1,70 м; вес - 63 кг)			Тяга в переднем направлении тлови до 1,054 м/с (тяга лась на уровне ОЦМ, груди и		
С	<i>H. Yamani, S. A. J. v. i. s. "et al.",</i> 1977 (54)	Пятизвенная плос- кая модель с двумя ногами. Использо- уются уравнения ки- нетостатика			Линейное возмущение в виде момента		

Продолжение таблицы 2

9	10	11	12	13	14
Тягой эксперимента через трос	ЭМГ мышц голени и бедра; стабилграмма; гониограммы суставов ног	ПБМ, ЧМБ ПБМ	56-72 140-232	1-й ответ 2-й ответ (при силе тяги 3,5 порога вызова) Характер активности сходен с ортогональной позой	
	ЭМГ мышц голени и бедра				Выявлено 2 способа коррекции отклонения тела
	ЭМГ ПБМ, КМ; гониограмма голениостопного сустава				Толчок приволил к увеличению ЭМГ с коротким ЛП
момента аддитивно (моментом)		Определены области возможных движений системы при ожидаемом возмущении и начальных условиях, а также при действии возмущения			
виде		Получены данные о самовыравнивании объекта после возмущения			
оо скоростью прикладыва-головой)		Получено уравнение, связывающее максимальное сопротивление манекена оо скоростью тяги			
внешнего		Определены условия поддержания устойчивого равновесия с помощью контура постоянной обратной связи			

1	2	3	4	5	6	7	8
В.М.Голиков, А.Б.Клейн, 1978 (8); А.Б.Клейн и др. 1979 (18)	Трехзвенная плоская модель (две ноги и корпус); в сочленениях шарниры; используются уравнения кинематики	Бюковой толчок в момент импульс по обобщенным					to

Примечания к таблице 2: ЯМ - ягодичная мышца, КММ - НИМБ - наружная широкая мышца бедра, ПМЖ - передняя мышца мышца голени. Остальные обозначения см. в примечаниях к

Продолжение таблицы 2

9	10	11	12	13	14
- начальный координатам		Время восстановления равновесия изменяется для разных начальных условий в пределах от 0,3 до 0,7 с; введение дополнительной массы в модель увеличивает запас устойчивости на 5-15%			

крестцовопоясничная мышца, ГМ - гребешковая мышца, живота, ИМ - икроножная мышца, ТМГ - трехглавая мышца плеча.

Возмущение равновесия

Автор	Испытуемые	Поза и ее особенности	Характеристика возмущения
1	2	3	4
В.И. Крапивинцева, 1954 [20]	220 здоровых школьников и студентов (7-23 года)	Ортоградная	Апериодическое, ротационное, вызывающее подошвенное сгибание стопы, движение доски со стоящим на ней испытуемым (амплитуда 3°, скорость - от $5,7 \cdot 10^{-4}$ до $57 \cdot 10^{-4}$ рад/с)
А.И. Литвиненко, 1972 [24]	-	"	Апериодическое, линейное (вперед, назад, в сторону) движение тележки
<i>Y. Vanchoot, V. Copov, 1973 [46]</i>	5 здоровых испытуемых (23-26 лет)	"	Периодическое, линейное (вперед - назад) движение платформы, управляемой электродвигателем (амплитуда 36 мм, полоса частот от 0,2 до 1,4 Гц)
<i>E. J. Walsch, 1973 [88]</i>	5 мужчин и 1 женщина	Ортоградная с закрытыми глазами	Периодическое, ротационное движение платформы, управляемой электродвигателем (амплитуда - до 18 угловых мин, частота - от 0,06 до 0,67 Гц)
В.С. Гурфинкель и др., 1974 [14]	5 здоровых испытуемых (25-50 лет)	Ортоградная	Апериодическое, ротационное движение свободной площадки, вызывающее тыльное сгибание стопы (амплитуда - 0,1-0,2 и 1 град., скорость - 0,6 град/с)

Таблица 3

движением опоры

Что регистрировалось	Результаты		Примечания	Другие результаты
	активируемые мышцы	латентный период (ЛП) (мс)		
5	6	7	8	9
Колебания тела (с помощью кимографа)	-	-	-	С возрастом и при сидении реакция прямостояния уменьшается
ЭМГ мышц ног и туловища; стабилосонограмма; гониосонограмма; суточные ритмы нижних конечностей	ПЕМ, НШМБ, ГМ	55-80	При движении или таза влево	Активность мышц голени, стопы и коленного сустава определяется движением ОЦМ
	ГМ, ПМЖ	40-70	" "	
	Правая ПЕМ	55-80	При движении справа-налево	Активность мышц тазобедренного и туловищного суставов определяется изменением угла в этих суставах
	левая ПЕМ	" "		
	правая НШМБ	" "		
	левая ПСМ	" "		
Стабилограмма	-	-	-	Амплитуда колебаний тела начинает уменьшаться с частоты колебаний платформы 0,3 Гц
Регистрировались колебания головы и талии	-	-	-	При высоких частотах наблюдается некоторая стабилизация колебаний головы
ЭМГ ТМГ; стабилосонограмма; гониосонограмма голени; стопного сустава	-	-	Параметры ТМГ превышали порог стреч-рефлекса	Через 320±50 мс после нарастания движения наблюдалось вторичное повышение активности ТМГ; раннего ответа мышцы фона не наблюдалось

I	2	3	4
<i>E. J. Willens, M. S. Franken,</i> 1974 [89]	51 здоровая женщина	Ортоград- ная	Периодическое, линейное (в вертикальном направле- нии), а также аперодиче- ское линейное (в верхнем направлении) движение опоры под одной из ног
Г. В. Мамасах- лисов, 1975 [25]	20 здоровых испытуемых	"-"	Аперодиическое, линейное (вперед и назад) движение тележки под действием уп- ругих тяг (амплитуда - 4-5 см, ускорение - 0,3 g)
<i>N. Brasno- va et al.,</i> 1976 [42]	20 испытуе- мых с пато- логией вези- кулярного аппарата	"-"	Периодическое, линейное (в передно-заднем направ- лении) движение платформы, управляемой электродвига- телем (амплитуда - 36 мм, частота - 0,2-1,25 Гц)
<i>J. M. Smith, M. D. Gaganov,</i> 1976 [45]	10 испытуе- мых	"-"	Периодическое, ротацион- ное движение платформы (амплитуда 5 град 48 мин; частота - 0,5 Гц)
<i>V. S. Kuznet- sov et al.,</i> 1976 [51]	8 здоровых испытуемых (22-53 г.)	"-"	Периодическое, ротацион- ное движение платформы (амплитуда - 2 и 4 град, частота 0,2-2,0 Гц)
<i>J. M. Kishner,</i> 1976 [69]	12 здоровых испытуемых, 4 - с рас- стройствами ЦНС	"-"	Движение платформы: 1) апе- риодическое линейное (в заднем направлении); 2) аперодиическое, рота- ционное (скорость - 6 град/с); 3) комбинация двух первых типов движения

Продолжение таблицы 3

5	6	7	8	9
ЭМГ мышц ног и туловища; стабิโลграмма; координаты ряда точек на теле (при помощи фото-съемки)	-	-	-	При возмущении испытуемые отклонялись в противоположном направлении; увеличивалась активность НШФ ч/или СЯМ левой стороны, если правая подымалась
ЭМГ II мышц ног и туловища; стабิโลграмма	Сгибатели и разгибатели стопы	70-90	Растянутые мышцы были в 2-6 раз более активны, чем укороченные	Переходный процесс длился 900-1100 мс; после его окончания равновесное положение отличается от исходного; при дополнительной опоре ЛП растягиваемых мышц есть 30-35 мс
Стабิโลграфия, окулография	-	-	-	С увеличением частоты движения платформы уменьшается амплитуда колебаний тела; на частоте 0,4 Гц наблюдается некоторый максимум; амплитуда колебаний значительно превышает амплитуду здоровых испытуемых
" "	-	-	-	При горизонтальных движениях опоры ОЦМ смещался на 12-23 мм; Н-ре. Условно уменьшается при снижении удлинения мышц; ЭМГ активность КМ соответствует колебаниям тела; ПЭМ остается без ответа
ЭМГ ИМ, КМ; стабิโลграмма; гониограмма голеностопного сустава	-	-	-	Активность мышц не соответствует фазе их удлинения; при увеличении частоты движения платформы наблюдается стабилизация колебаний тела
ЭМГ ПЭМ, ИМ; гониограмма голеностопного сустава	ПЭМ	120 180	При растягивании ПЭМ (для 5 испытуемых) При растягивании ИМ (для 5 испытуемых)	-

1	2	3	4
<i>J. M. Nashner,</i> 1977 [70]	6 испытуемых (19-30 лет)	Ортог- радная	-
<i>m. Meyer, G. Blum,</i> 1978 [64]	10 здоровых испытуемых, 5 - о болез- нь Паркин- сона	-	Движение платформы: 1) перио- дическое, ротационное (ампли- туда - до 0,45 град, частота - 0,1-1 Гц); 2) аperiodическое, ротационное (амплитуда - 0,6 град)
<i>J. Nashner, A. Berthoz,</i> 1978 [71]	5 здоровых мужчин, 5 здоровых женщин	Ортог- радная	Аperiodическое, линейное (в заднем направлении) движение тележки, управляемой от ЭВМ (амплитуда - 0,4 м, длитель- ность - 2 с, окорость - 0,2 м/с), с движением зритель- ной сцены на периферии поля зрения и без него
<i>J. J. Vidal</i> <i>et al.</i> 1978 [92]	-	-	Аperiodическое, линейное (в передне-заднем направлении) с движением зрительной сце- ны на периферии поля зрения и без него
<i>J. H. J. Allison, M. D. McGee,</i> 1979 [36]	-	-	Аperiodическое, ротационное движение подвижной платформы, вызывающее тыльное или подоп- бочное сгибание стопы (ампли- туда - 2,5-5,2 град, длитель- ность - 100 мс)
<i>M. S. Guskobin</i> <i>et al.</i> 1979 [52]	4 здоровых мужчины (26-35 лет)	Ортоград- ная То же, с закреп- ленным голено- стопным суставом	Аperiodическое, ротационное движение подвижной платформы, вызывающее сгибание или раз- гибание голеностопного сус- тава (амплитуда - 6 град, скорость - 30-120 град/с)

Продолжение таблицы 3

	5	6	7	8	9
ЭМГ ИМ, ПБМ, ДМБ, ЧМБ; гониограмма голеностопного сустава		-	-	-	Обнаружено 6 различных ответов, в которых в различных сочетаниях участвуют 4 мышечные группы; ДП - 100-140 мс
Стабилограмма		-	-	-	Максимальное отклонение тела наблюдается при частоте движения платформы 0,4 Гц; с увеличением частоты наблюдается стабилизация колебаний тела
ЭМГ правой ИМ; гониограмма голеностопного сустава		ИМ	100	-	Зрительная стимуляция привела к более значительному отклонению тела
ЭМГ мышц ног	Мышцы, компенсирующие наклон тела		100	При открытых глазах	При закрытых глазах характер ЭМГ не менялся; при зрительной стимуляции ДП увеличился и снижалась амплитуда I пика ЭМГ, а также появлялся второй пик с ДП 200 мс
ЭМГ ПБМ, КМ; тензограмма	Растягивающиеся мышцы голеностопного сустава		40 90 и 130	Коротколатентный ответ "Парный оредвематентный стреч-рефлекс"	
ЭМГ КМ, ПБМ; стабилграмма	КМ ПБМ		45-55 45-55	При тыльном сгибании стопы При подошвенном сгибании стопы	Закрепление голеностопного сустава не меняло ДП

1	2	3	4
<i>J.M. Nashner et al.,</i> 1979 [72]	-	Ортоградная	Апериодические, горизонтальные или вертикальные движения подвижной платформы, вызывающие смещения одной или двух ног
<i>J. Ohni et al.,</i> 1979 [74]	10 здоровых мужчин	"	Апериодическое, ротационное смещение подвижной платформы, вызывающее сгибание или разгибание голеностопа
<i>J.T. Soechting, A. Berthoz,</i> 1979 [81]	15 мужчин и женщин (20-35 лет)	"	Апериодическое, линейное (в заднем или переднем направлениях) движение тележки, управляемой от ЭВМ (длительность - 10 и 20 с, максимальное ускорение - 0,2 и 0,05 м/с ² , максимальная скорость 1,1 и 0,5 м/с), с движением зрительной сцены на периферии поля зрения и без него
<i>В.С. Гурфильд и др.,</i> 1959 [13]	7 здоровых испытуемых	Ортоградная. Та же с закрытыми глазами. С наклоном корпуса вперед	Апериодическое, вертикальное (вверх или вниз) движение высокошахтного лифта (длительность - 2-3 с, ускорение - 0,3-2g)

Примечание. ПСМ - полуухохляная мышца. Остальные

Продолжение таблицы 3

5	6	7	8	9
ЭМГ мышц ног	—	—	—	ЭМГ активность была специфична для каждого вида возмущения
Стабилограмма	—	—	—	Колебания тела больше при наклонах платформы от 0 до 5 град, чем от 5 до 10 град
Гониограмма голеностопного сустава	—	—	—	При движении зрительного окружения в обратную от движения сторону, при равенстве абсолютных значений их скоростей наклон тела значительно увеличивается; при малых и больших ускорениях получены сходные результаты
Стабилограмма	—	—	—	В условиях стеснения с открытыми глазами при понижении и повышении веса наблюдается увеличение амплитуды стабилограммы на 50-100%; наклон вперед и закрывание глаз приводили к возрастанию амплитуды

обозначения см. в примечаниях к таблицам I и 2.

Литература

1. Алексеев М.А., Аскиназий А.А., Найдель А.В., Сметанин Б.Н. Регуляция позычх компонентов сложного произвольного движения человека. - В сб.: Сенсорная организация движений. Л., 1975, с.5-13.

2. Алексеев М.А., Аскиназий А.А., Добронравова И.С., Крылов И.Н. О механизмах коррекции вертикальной позы человека. Труды XI съезда Всесоюзного физиологического общества. Л., 1970, т.2.

3. Алексеев М.А., Добронравова И.С., Найдель А.В., Сметанин Б.Н. С механизме регуляции вертикальной позы человека при движениях стопы. - Физиология человека, 1979, т.5, № 4, с.579-588.

4. Алексеев М.А., Найдель А.В. Физиологический журнал СССР, 1972, т.58, с.1721-1730.

5. Бабский Е.Е., Гурфинкель В.С., Ромель Э.Л., Якобсон Я.С. Методика исследования устойчивости стояния (стабилография). Материалы II научной сессии ЦНИИИШ. М., 1952, с.31-36.

6. Белепский В.Е., Гурфинкель В.С., Пальцев Е.И. Об элементах управления произвольными движениями. - Биофизика, вып.1, 1957, т.12, с.135.

7. Бондарев Б.И. Специальные упражнения при обучении сохранению равновесия в гребле на каное. - Теория и практика физической культуры, 1979, № 6, с.13-20.

8. Голыков В.М., Клейн А.Б. Некоторые вопросы устойчивости при стоянии. Сборник трудов ЦНИИПП, 1978, № 47, с.54-61.

9. Грозин Е.А. Применение специальных упражнений в подготовительном периоде тренировки лыжника-прыгуна. Автореф. канд. дисс., М., 1961.

10. Гуревич Р.А. Исследование устойчивости равновесия человека. - В сб.: Елоника-1973. М., 1973, т.6, с.137-141.

11. Гуревич Р.А., Внуков В.А., Сорокин С.С. О некоторых принципах регуляции равновесия человека. VI Всесоюзное совещание по проблемам управления. Рефераты докладов, ч.2, 1974.

12. Гурфинкель В.С., Гурфинкель Е.В., Левик Ю.С. Влияние вибрационных раздражений постуральных мышц на регуляцию позы человека. - В сб.: Влияние вибрация на организм человека и проблемы виброзащиты. М., 1974, с.121-124.

13. Гурфинкель В.С., Исаков П.К., Малкин Б.Б., Попов В.И. Координация позы и движений человека в условиях повышенной и пониженной гравитации. - Бюллетень экспериментальной биологии и медицины, 1959, № II, с.12-17.

14. Гурфинкель В.С., Липшиц М.И., Попов К.Е. Является ли рефлекс на растяжение основным механизмом в системе регуляции вертикальной позы человека? - Биофизика, вып. 4, 1974, т.19, с.744-748.

15. Гурфинкель В.С., Липшиц М.И., Попов К.Е. Исследование системы регуляции вертикальной позы вибрационной стимуляцией мышечных веретен. - Физиология человека, 1977, т.3, № 4, с.635-642.

16. Гурфинкель В.С., Осовец С.М. Динамика равновесия вертикальной позы человека. - Биофизика, вып. 3, 1972, т.27, с.478-485.

17. Казиллов М.М. Пути оптимизации тактико-технических действий борца в связи с меняющейся устойчивостью позы противника. Канд.дисс., М., 1977.

18. Клейн А.Б., Делов В.И., Самсонов В.А. Устойчивость ортоградной позы человека в норме и на протезе. Тезисы докладов II Всесоюзной конференции по проблемам биомеханики. Рига, 1979, т.3, с.39-41.

19. Корх А.А. Устойчивость тела при стрельбе из пистолета и некоторые возможности ее совершенствования (экспериментальное исследование). Автореф. канд.дисс., М., 1965.

20. Крапивинцева В.П. Изучение рефлекторных механизмов прямохождения и их возрастные изменения у школьников. Канд.дисс., М., 1954.

21. Купцов А.П. Динамика устойчивости позы борца (к вопросу об эффективности сложных тактико-технических действий в спортивной борьбе). Канд.дисс., М., 1969.

22. Лагранж Ж. Аналитическая механика. М.-Л., 1950, т.1.

23. Литвак Л.Б. Рефлексы статической адаптации и статика в неврологической клинике. Докт.дисс., Харьков, 1940.

24. Литвинцев А.И. О механизмах регуляции вертикальной позы человека. - Автоматика и телемеханика, 1972, № 4, с.71-83.

25. Мамасахлисов Г.В. Реакции восстановления равновесия при возмущении вертикальной позы. Канд.дисо., М., 1975.
26. Петров В., Галль Ю. Механика спортивных движений. М., 1974.
27. Савченко И.С. Рационализация кефалографии. - Физиологический журнал СССР, 1936, т.20, № I, с.174-177.
28. Розен И.И. Экспериментальное обоснование методов совершенствования устойчивости гимнасток при выполнении упражнений на бревне. Автореф.канд.дисо., М., 1971.
29. Сальченко И.Н. Координация спортивных движений при обычной опоре и компенсаторные механизмы при нарушениях опоры. - В сб.: Физиологические основы управления движениями. М., 1980.
30. Сметанин Б.Н., Козьмян Э.И., Найдель А.В. Исследования коррекции равновесия у человека. XIII съезд Всесоюзного физиологического общества. Алма-Ата, 1979, Л., 1979, т.2, с.273-274.
31. Терехов Ю.В. Возможности применения стабиллографии в клинической практике и разработка методов и аппаратуры для оценки стабиллограмм. Канд.дисс., М., 1967.
32. Фомин С.В., Шталькинд Т.И. О понятии равновесия систем, снабженных ногами. - Биофизика, вып.1, 1972, т.17, с.131-134.
33. Фомин С.В., Шталькинд Т.И. О простой модели поддержания равновесия. - Биофизика, вып.4, 1973, т.18, с.739-46.
34. Чумаков А.П. Исследование функции равновесия у спортсменов и возможностей улучшения устойчивости тела. Канд.дисс., М., 1975.
35. Штейн С.Ф. Новый инструмент - ударомер (плегметр). М., 1903.
36. J.N.J. Allum, H.J. Wadingsen, The influence of initial inclination and head movements on coupled stretch reflexes in ankle flexor and extensor muscles. "Agressologie", 1979, V.20, N B, 143-144.

37. A. Berthoz, B. Pavard, L.R. Young. Perception of linear horizontal self-motion induced by peripheral vision (linearvection). Basic characteristics and visual-vestibular interaction: "Exp. Brain Res.", 1975, V. 23, 471-489.
38. J.M. Brookhart, S. Mori, P.J. Reynolds. Postural reactions to two directions of displacement in dogs. "Am. J. Physiol.", 1970, V. 218, N 3, 719-725.
39. J. Brookhart, R. Talbott. The postural response of normal dogs to sinusoidal displacement. "J. Physiol." (London), 1974, V. 243, N 2, 287-307.
40. P. Costaigne, J.P. Held, E. Pierrot-Deseilligny, B. Buaael, C. Bergego. Role des afferences vestibulaires et proprioceptives dans les reactions a la poussees. "Rev. neurol.", 1978, V. 134, N 6-7, 385-393.
41. V. Dietz, K.-H. Mauritz, J. Dichgans. Body oscillation in balancing due to segmental reflex activity. "Exp. Brain Res.", 1980, V. 40, N 1, 89-95.
42. N. Draganova, G. Gantchev, D. Dimov, S. Dunev. Etude des oscillations spontanées et provoquées du corps chez des malades a areflexie vestibulaire. "Agressologie", 1976, V: 17, N D, 13-18.
43. G. Eklund. Further studies of vibration-induced effects on balance. "Upsala J. Med. Sci.", 1973, V. 78, N 1, 65-72.
44. C. Poix, A. Tevenard. Les reflexes de postures. "Rev. Neurol.", 1923, V. 12; N 5, 449-472.
45. G.N. Gantchev, N.I. Draganova. H-reflex changes in various phases of spontaneous and induced body oscillations. "Agressologie"; 1976, V: 17, N B, 43-48.
46. G. Gantchev, V. Popov. Quantitative evaluation of induced body oscillations in man. "Agressologie", 1973, V. 14, N C, 91-94.
47. J.-B. Geursen, D. Altena, C.-H. Maasou, M. Verduin. A model of the standing man for the description of his dynamic behaviour. "Agressologie", 1976, V. 17, N B, 63-69.
48. M. Gregorio, T. Takeya, J.B. Baron, J.C. Besaineton.

- Influence of vibration of neck muscles on balance control in man. "Agressologie", 1978, V. 19, N A, 37-38.
49. E.V. Gurfinkel. Physical foundations of stabilography. "Agressologie", 1973, V. 14, N C. 9-14.
50. V.S. Gurfinkel. Muscle afferentation and postural control in man. "Agressologie", 1973, V. 14, N C, 1-8.
51. V.S. Gurfinkel, M.I. Lipshits, S. Mori, K.E. Popov. Postural reactions to the controlled sinusoidal displacement of the supporting platform. "Agressologie", 1976, V. 17, N B, 71-76.
52. V.S. Gurfinkel, M.I. Lipshits, K.E. Popov. On the origin of short-latency muscle responses to postural disturbances. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 153-154.
53. K.-P. Hamann, P.P. Vidal, J.M. Sterkers, A. Berthoz. A new test for postural disorders; an application of visual stabilization. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 129-130.
54. H. Hemami, R.L. Farnsworth. Postural and gait stability of a planar five link biped by simulation. "IEEE Trans. Automat. Contr.", 1977, V. 22, N 3, 452-458.
55. Y. Iwase, T. Uchida, Y. Takanashi, N. Suzuki, M. Hashimoto, Y. Yamamoto, T. Takegami, H. Koyama. A silent period in the calf muscles prior to the voluntary forward leaning. "J. Physiol. Soc. Jap.", 1980, V. 42, N8-9, 279.
56. T.-S. Kapteyn. The stabilogram; measurement techniques. "Agressologie", 1972, V. 13, N C, 75-78.
57. T.S. Kapteyn. Afterthought about the physics and mechanics of postural sway. "Agressologie", 1973, V. 14, N C, 27-35.
58. T.S. Kapteyn, W. Bles. Effects of optik and vestibular stimuli on the stabilograms of patients with dizziness complaints. "Agressologie", 1976, V. 17, N D, 25-29.
59. K. Kobayashi, H. Matsui. Stability of standing posture against an external force. "Biomechanics-V B" (Ed. P.V. Komi), University Park Press. Baltimore, London, Tokyo. 1976, 121-126.
60. K. Kobayashi, M. Miura, Y. Yoneda, K. Edo. A study of stability of standing posture. "Biomechanics-IV" (Eds. R.C. Nelson, C.A. Morehouse). University Park Press.

- Baltimore, London, Tokyo. 1974,53-59.
61. F. Lestienne, J. Soechting, A. Berthoz. Postural readjustments induced by linear motion of visual scenes. "Exp. Brain Res.", 1977, V. 28, N 3-4, 363-384.
 62. C.H. Maessen, L. Kodde. A model for the description of left-right stabilograms. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 107-108.
 63. K.-H. Mauritz, V. Dietz. Characteristics of postural instability induced by ischemic blocking of leg afferents. "Exp. Brain Res.", 1980, V. 38, N 1, 117-119.
 64. M. Meyer, E. Blum. Quantitative analysis of postural reactions to induced body oscillations. "Agressologie", 1978, V. 19, N 3, 30-31.
 65. W.R. Miles. Static equilibrium as a useful test of motor control. "J. Industr. Hyg.", 1922, V. 3, N 10, 316-331.
 66. S. Mori, J.M. Brookhart. Characteristics of the postural reactions of the dog to a controlled disturbance. "Am. J. Physiol.", 1968, V. 215, N 2, 339-348.
 67. S. Mori, P.J. Reynolds, J.M. Brookhart. Contribution of pedal afferents to postural control in the dog. "Am. J. Physiol.", V. 218, N 3, 726-734, 1970.
 68. P.J. Van de Mortel, C.H. Maessen, L. Kodde. Stabilograms and horizontal force. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 105-106.
 69. L.M. Nashner. Adapting reflexes controlling the human posture. "Exp. Brain Res.", 1976, V. 26, N 1, 59-72.
 70. L.M. Nashner. Fixed patterns of rapid postural responses among leg muscles during stance. "Exp. Brain Res.", 1977, V. 30, N 1, 13-24.
 71. L. Nashner, A. Berthoz. Visual contributions to rapid motor responses during postural control. "Brain Res.", 1978, V. 150, 403-407.
 72. L.M. Nashner, M. Woollacott, G. Tuma. Organization of rapid responses to postural and locomotor-like perturbations of standing man. "Exp. Brain Res.", 1979, V. 39, 463-476.
 73. J. Noth, V. Dietz. Spinal stretch-reflexes in self-initiated falls and in running movements. "Agressologie",

- 1979, V. 20, N B, 159-160.
74. T. Oku, J. Okubo, I. Watanabe, J.B. Baron. Observation by gravigonimetric test (second report). "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 171-172.
 75. T.D.M. Roberts, G. Stonhouse. The nature of postural sway. "Agressologie", 1976, V. 17, N A, 11-14.
 76. B.N. Smetanin, M.A. Alexeev. Investigation de la synergie stabilisante à la posture verticale de l'homme. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 119-120.
 77. B.N. Smetanin, M.A. Alexeev. Caracteristiques de la reponse musculaire immediate dans les conditions du trouble de la posture de l'homme. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 121-122.
 78. B.N. Smetanin, M.A. Alexeev. Regulation de l'activite musculaire amortissant l'oscillation du corps de l'homme dans les conditions du trouble de l'equilibre. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 123-124.
 79. J.W. Smith. The forces operating at the human ankle joint during standing. "J. Anat.", 1957, V. 91, 545-564.
 80. R.W. Soames, J. Atha. The validity of physique-based inverted pendulum models of postural sway behaviour. "Ann. Hum. Biol.", 1980, V. 7; N 2, 145-153.
 81. J.T. Soechting, A. Berthoz. Dynamic role of vision in the control of posture in man. "Exp. Brain Res.", 1979, V. 36, N 3, 551-561.
 82. A.J. Spaepen, J.M. Portuin, E.J. Willems. Comparison of the movements of the center of gravity and of the center of pressure in stabilometric studies. Comparison with Fourier analysis. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 115-116.
 83. A.J. Spaepen, L. Peeraer, E.J. Willems. Center of gravity and center of pressure in stabilometric studies. A comparison with film analysis. "Agressologie", 1979, V. 20, N B, 117-118.
 84. H. Sugano, H. Tominaga, K. Jimory, G. Miteki. Body movement under stimulation. "Agressologie", 1978, V. 19, N A, 33-34.
 85. R.E. Talbot. Postural reactions of dogs to sinusoidal motion in the peripheral visual field. "Am. J. Physiol"

- 1980, V. 239, N 1, R71-R79.
86. D.P. Thomas, R.J. Whitney. Postural movements during normal standing in man. "J. Anat.", 1959, V. 93, Part 4, 524-539.
 87. Tomita Mamoru. "J. Anthropol. Soc. Nippon", 1979, V. 87, N 2, 113-118 (Jap).
 88. E.G. Walsh. Standing man, slow rhythmic tilting, importance of vision: "Agressologie", 1973, V. 14, N C, 79-85.
 89. E.J. Willems, M.S. Vranken. Postural reactions of man on a slowly moving base; "Biomechanics-IV" (Eds. R.C. Nelson, C.A. Morehouse). University Park Press. Baltimore. London. Tokyo. 1974, 60-69.
 90. G. de Wit. The stabilometry as an auxiliary in investigations of patients with vestibular disturbances. "Agressologie", 1973, V. 14, N D, 27-31.
 91. T. Valk-Fai. Analysis of the dynamical behaviour of the body whilst "Standing Still". "Agressologie", 1973, V. 14, N C; 21-25.
 92. P.-P. Vidal, M. Gouny, A. Bertoz. Role de la vision dans le declenchement de reactions posturales rapides. "Arch. ital. biol.", 1978, V. 116, N 3-4, 281-291.

**БИОМЕХАНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СОХРАНЕНИЯ
РАВНОВЕСИЯ ЧЕЛОВЕКОМ ПРИ ВНЕШНИХ
ВОЗМУЩАЮЩИХ ВОЗДЕЙСТВИЯХ**

**Методические рекомендации для студентов
ГЦОЛИФКа**

Редактор Н.Свечнигова. Корректор Н.Ушакова.

Подписано к печати 14.03.84. Объем 2,7 в.л.

Тираж 400 экз. Зак. 673/1126

Издание Редакционно-издательского отдела ГЦОЛИФКа.

**Типография Р/о "Союзспэртобеспечение".
Москва, Мичуринский проспект, 40.**