

4510.23
К-663 •

АКАДЕМИЯ ПЕДАГОГИЧЕСКИХ НАУК СССР
НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ ИНСТИТУТ
ФИЗИОЛОГИИ ДЕТЕЙ И ПОДРОСТКОВ

На правах рукописи

В. Б. КОРЕНБЕРГ

**УСТОЙЧИВОСТЬ ТЕЛА В ПОЗНЫХ
РАВНОВЕСИЯХ И ЕЕ ВОЗРАСТНЫЕ
ИЗМЕНЕНИЯ У ШКОЛЬНИКОВ**

(Раздел III: «Биологические науки».

Специальность № 102: «Физиология
человека и животных»)

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата биологических наук

Москва — 1971

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Диссертация выполнена на кафедре физического воспитания (заведующий - доцент В.А.Масляков) Московского лесотехнического института (ректор - кандидат технических наук, доцент А.Н.Обливин) и на кафедре физиологии (заведующий - доктор биологических наук, профессор В.С.Фарфель) Государственного центрального института физической культуры (ректор - кандидат педагогических наук, доцент Хоменков Л.С.).

Научный руководитель доктор биологических наук, профессор В.С.Фарфель.

Официальные оппоненты:

Доктор биологических наук, профессор С.А.Косилов
Кандидат биологических наук, доцент Д.Д.Донской.

Отзыв о научно-практической значимости диссертации представлен Всесоюзным научно-исследовательским институтом физической культуры (сектор биологической механики)

Автореферат разослан "28" IX 1971 г.

Защита диссертации состоится "28" X 1971 г. в Научно-исследовательском институте физиологии детей и подростков АПН СССР по адресу: Москва, Г-117, ул.Погодинская, д.8

Ученый секретарь института Л.М.МЕТАЛЬНИКОВА

АКАДЕМИЯ НАУК СССР
ЦЕНТРАЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ФИЗИЧЕСКОЙ КУЛЬТУРЫ

Сохранение устойчивости тела — одна из основных задач двигательной деятельности человека. Лишь высокое совершенство соответствующих физиологических механизмов у здорового взрослого человека позволяет легко справляться с сохранением устойчивости тела в относительно простых и привычных ситуациях. Однако даже небольшое усложнение вида равновесия или условий его выполнения резко повышает трудность задачи. В этом случае уже заметно скашивается свойственная тому или иному человеку степень совершенства активного сохранения устойчивости тела. Ряд профессий связан с частым возникновением подобных осложненных ситуаций и потому предъявляет повышенные требования к надежности выполнения равновесий на ногах. Еще более сложные задачи на сохранение устойчивости тела, притом в различных равновесиях (в том числе и на руках), приходится решать в некоторых видах спорта, в цирковом искусстве. Обучение прямохождению имеет значение в медицинской практике (в случае протезирования нижних конечностей, при некоторых заболеваниях).

Одним из широко применяемых в двигательной практике классов равновесий является статичные (то есть без перемены места опоры) позы (с сохранением нешагивающей позы) равновесия). Изучению устойчивости тела в такого рода равновесиях, и прежде всего в ортоградной стойке на двух ногах, посвящен ряд работ (*Hinsdale*, 1887, 1890; *Romberg*, 1851; Латманисола, 1930; Рудик, 1935; Цопова, 1947; Крапивинцева, 1954; Гурфинкель, 1961; Бондаревский, 1964; Шеннишникова, 1969 и др.). При этом были использованы различные методы исследований, которые можно объединить в 5 групп.

I. Механо-геометрический метод (Коган, 1910; Бернштейн, 1934; Котикова, 1939; *Akerblom*, 1948; Дюпской, 1958; Луков, Котикова, Семенов, 1963; *Hochmuth*,

1967), основанный на моделировании тела человека геометрически равным абсолютно твердым телом того же веса и с таким же распределением масс. Этот метод направлен на определение граничных возможностей сохранения устойчивости тела.

2. Кефалографический метод (*Hinsdale*, 1887; Латманнизова, 1930; Попова, 1947 и др.) и его модификации (Шлемин, 1948; Крапивницова, 1954 и др.), направленные главным образом на изучение перемещений и колебательных движений тела при сохранении места опоры.

3. Динамографический метод (Рудик, 1935; Гурфинкель, 1961; Бондаревский, 1964 и др.), основанный на определении опорных реакций и интерпретации их как отражающих перемещение центра тяжести тела.

4. Метод возмущающих воздействий (штейн, 1900, 1903; Крапивницова, 1954; Купцов, Коренберг, 1967; Купцов, 1969 и др.), позволяющий изучать граничные возможности в сохранении устойчивости тела. Возмущения могут иметь различную природу (механические, оптические, электрические, химические и др.).

5. Метод контрольных упражнений (*Romberg*, 1851; Тамуриди, 1928; Яблоновский, 1930; *Espenshade*, 1947; Армстронг, 1954; Медведев, 1954, *Clark*, 1960 и др.). Исследования с применением этого метода на здоровых людях были проведены Бондаревским (1964), Розеном (1968), Пшеничниковой (1969).

Названные методы нередко применяются комплексно, что расширяет возможности экспериментатора, позволяя изучать реакции, навыки и др.

В ряде исследований (Латманнизова, 1930; Петров, 1938; Сухарев, 1959 и др.) показано усиление колебательных движений тела с утомлением, что было квалифицировано авторами как снижение устойчивости. Такого рода устойчивость тренируема неспецифическими упражнениями, например, обычными занятиями спортом (Сахлулина, 1944; Попова, 1947; Крапивницова, 1954; Медведев, 1954). На основании стаблогографических исследований (Гурфинкель, 1961; Бондаревский, 1964) был сделан вывод о независимости частоты и амплитуды высокочастотных (2 - 15 гц) колебаний тела от роста испытуемого. В то же

время на основании кефалографических исследований (Латманнизова, 1931; Петров, 1944; Козырев, 1954 и др.) был сделан противоположный вывод: что амплитуда колебаний тела зависит от роста. Такое разногласие можно предположительно объяснить тем, что флуктуации стабิโลграммы соответствуют не колебаниям центра тяжести тела, а изменениям напряжения мышц, ответственных за силовое взаимодействие с опорой.

Штейн (1900, 1903) исследовал граничные возможности испытуемых в сохранении устойчивости тела при внесении внешних возмущений (наклон опорной платформы, удар предварительно отклоненным маятником). Применение метода возмущающих воздействий позволило выявить и исследовать некоторые важные рефлекторные реакции, связанные с активным сохранением устойчивости. Крапивинцева (1954), применив наклоняющуюся опорную платформу, исследовала характер и возрастные изменения реакции прямохождения у девочек. Приложение (или снятие приложенной) горизонтальной внешней силы к телу испытуемого, стоящего на платформе стабิโลграфа, позволило исследовать последствие этого возмущения, проявляющееся в изменении устойчивости тела при последующих аналогичных воздействиях (Купцов, Коренберг, 1967; Купцов, 1969).

Рядом исследователей (Латманнизова, 1931; Сахмулина, 1944; Попова, 1947; Медведев, 1954 и др.) было показано, что способность сохранять устойчивость тела зависит от степени силы и дозости.

Крапивинцева (1954) и Бондаревский (1964), исследуя возрастное развитие функции сохранения устойчивости тела у школьников, пришли к выводу, что наилучшие показатели свойственны возрасту 12-14 лет.

Во всех исследованиях, посвященных активному сохранению устойчивости тела, так или иначе ставился вопрос об участии анализаторов в отпавлении этой функции. Некоторые авторы придерживаются мнения о ведущей роли вестибулярной чувствительности в решении задачи сохранения устойчивости тела (Magnus, 1924, 1926; Кононова, 1928; Куликовский 1933; Кроль, 1933; Асратян, 1939; Анохин, 1949; Хылов, 1969 и др.). Так, Чекурин (1947) называет вестибулярный аппарат

"специальным, наиболее чувствительным и главным органом сохранения равновесия". Другие (Компанеев, 1934; Фельдман, Вульфсон, 1935; Воячек, 1929, 1955; Крапивницова, 1954; Lowenstein, 1956) отвергают эту точку зрения.

Многочисленные работы показали большое значение зрения (*Vierordt*, 1864; *Hinsdale*, 1887; *Miles*, 1922; Латманисова, 1931; Гурфинкель, 1961 и др.) и проприоцептивного анализатора (Сеченов, 1891; Ухтомский, 1952; *Wiggers*, 1944; Крапивницова, 1954; Гурфинкель, 1961; Бондаревский, 1964 и др.).

Следует отметить то обстоятельство, что некоторые исследователи степень участия того или иного анализатора оценивали по глубине нарушений функции сохранения устойчивости тела в связи с внесением специальных искусственных помех соответствующей модальности. Так, ряд авторов считает, что нарушения устойчивости в связи с сильными вестибулярными раздражениями свидетельствуют о решающей роли вестибулярного анализатора и в норме. Но повышение специальной тренировки устойчивости вестибулярного анализатора к раздражениям не приводит к совершенствованию функции сохранения устойчивости тела (Розен, 1967). Целесообразно четко дифференцировать две стороны участия анализаторов в управлении устойчивостью тела: роль их как систем, обеспечивающих обратную связь, и роль их как возможных источников помех сохранению устойчивости тела. Во всяком случае смешение этих двух сторон деятельности анализаторов не может быть оправдано с методологической точки зрения.

ЗАДАЧИ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

В настоящей работе при исследовании статичных позных равновесий были поставлены следующие основные задачи.

1. Определить граничные функциональные возможности испытуемых в активном сохранении устойчивости тела путем динамического взаимодействия с опорой.
2. Исследовать динамические характеристики навыков регуляции человеческого устойчивости тела.
3. Выявить характер воздействия различных внешних и внутренних (относительно испытуемого) факторов на процесс активного сохранения устойчивости тела.

4. Исследовать возрастные изменения функциональных динамических характеристик устойчивости тела у детей школьного возраста.

В экспериментальной части работы были использованы методы стабиллографии (Лабский, Гурфинкель, Ромель, Якобсон, 1952; Гурфинкель, 1961) и стабилоскопии, в основе которых лежит фиксация изменения момента равнодействующей силы реакции опоры относительно заданной оси. В настоящей работе выбирались фронтальные оси, поскольку рассматривалась устойчивость тела только в сагиттальной плоскости. Метод стабилоскопии отличается тем, что показания осциллографа снимаются визуально со шкалы его смотрового окна. Применение стабилоскопии целесообразно при наблюдении медленных изменений одного-двух параметров.

Через изменения восстанавливающего момента можно с достаточным приближением определить изменения в положении вертикальной проекции центра тяжести тела, однако при условии, что сравниваемые положения и соответствующие им величины восстанавливающих моментов подвергаются лишь очень медленным изменениям в течение рассматриваемых нами хотя бы 0,5-1 сек. Если это условие не выполнено, нет основания считать, что стабиллограмма однозначно отражает горизонтальные перемещения центра тяжести тела.

В основу исследования была положена разрабатываемая нами концепция поля устойчивости, отражающая с функциональных позиций динамическое взаимодействие человека с опорой при выполнении статичных позных равновесий. Способность активно сохранять устойчивость тела в значительной мере определяется граничными силовыми возможностями испытуемого в механическом взаимодействии с опорой. Мерой этих возможностей в их абсолютном выражении является размер поля восстанавливающих моментов (ПВМ), а в относительном выражении (по отношению к весу тела) — размер пространственного поля устойчивости (ППУ). ПВМ — область горизонтальной плоскости, ограниченная годографом всех возможных векторов предельных (наибольших из доступных) восстанавливающих моментов. Поделив каждый из этих векторов на модуль веса тела, повернув всю полученную систему на 90° по часовой стрелке и построив новый годограф, получим границы ППУ. При перемещении верти-

кальной проекции центра тяжести тела внутри этих границ испытываемый любому опрокидывающему моменту (произведению веса тела и расстояния между проекциями центра тяжести и оси сагиттального сустава — например, голеностопного) может противопоставить равный или больший по величине восстанавливающий момент. Таким образом, ППУ есть область горизонтальной плоскости, в пределах которой можно располагать вертикальную проекцию центра тяжести тела без потери его устойчивости. В настоящей работе рассматриваются только сагиттальный размер ППУ и фронтальный размер ПБМ.

В поле устойчивости целесообразно различать зоны и точки, характеризующие навыки в управлении устойчивостью тела: удобную зону, надежную зону, удобную точку, надежную точку. Применительно к ППУ эти понятия означают следующее.

Положение тела, при котором вертикальная проекция центра тяжести тела расположена в пределах удобной зоны, испытываемый в обычной ситуации оценивает как нормальное для выполнения заданного равновесия, поскольку при этом обеспечена удовлетворительная надежность сохранения устойчивости и в то же время нет ощущения заметного неудобства. При расположении проекции центра тяжести в любой из точек надежной зоны испытываемый оценивает положение тела как высоконадежное, то есть как приемлемое в случае высокой значимости угрозы потери устойчивости. Расположение проекции центра тяжести тела в удобной точке (УТ) испытываемый (в обычной ситуации) оценивает как оптимально сочетающее надежность и удобство; расположение в надежной точке — как наиболее надежное.

Применительно к ПБМ справедливы те же определения при условии подстановки вместо положений вертикальной проекции центра тяжести тела соответствующих им восстанавливающих моментов.

Исходя из сказанного, можно утверждать, что размер удобной зоны характеризует диапазон наиболее вероятного произвольного расположения рабочей точки, то есть текущего положения проекции центра тяжести в ППУ или текущего значения восстанавливающего момента в ПБМ, при обычной ситуации; размер надежной зоны — то же в ситуации с высокой ценой угрозы потери устойчивости тела. Расположение удобной и надежной зон, удобной и надежной точек в ППУ предопределяет (в вероятностном плане) устойчивость тела в переднем и заднем направлениях, как и соот-

новение этих компонентов в общей устойчивости тела.

Методика определения характеристических точек ПШУ была построена исходя из вышеизложенных соображений о соответствии стабิโลграммы перемещения центра тяжести тела; испытуемый по сигналам экспериментатора и согласно полученной инструкции фиксировал каждое заданное положение (отклоняя тело вперед или назад при неизменной позе) в течение 2-3 сек, сразу же по приходе в нужное положение подавая условный сигнал. За истинную величину восстанавливающего момента принималось усредненное значение по показаниям за указанный отрезок времени. Испытуемые получали подробную словесную инструкцию о порядке показа характеристических точек. Содержание соответствующих понятий тщательно разъяснялось. Из числа равновесий на ногах изучению было подвергнуто выполнение свободной стойки, I/ приседа, полуприседа на двух ногах, свободной стойки на одной ноге (отдельно на "удобной" и "неудобной"), "ласточки" на "удобной" ноге. Из числа равновесий на руках — стойки на руках на полу, на гимнастических стоялках, на бревне, стойки на одной руке на полу и на стоялке, упора углом на полу, на стоялках, на бревне, упора согнувшись на полу, на стоялках, горизонтального упора на прямых руках и на локте (на стоялках). Почти все указанные равновесия выполнялись с открытыми и закрытыми глазами. В эксперименте по изучению возрастных особенностей характеристики устойчивости тела изучалось выполнение стойки на одной и двух ногах с открытыми и закрытыми глазами. Всего в опытах принимали участие 183 взрослых и 126 детей и подростков. Было проведено более 14 тысяч измерений различных параметров поля устойчивости. У всех испытуемых измеряли вес и сагиттальный размер опорной поверхности тела. При обработке материалов, полученных на детях школьного возраста, было принято деление на возрастные группы: 7-8, 9-10, 11-12, 13-14, 15-16 лет, а также по полу.

I/ Термином "свободная стойка" (на одной или двух ногах) в работе обозначается произвольное поамостояние с условием сагиттального расположения стоп (стоны) и расположения их крайних передних точек на одной фронтали.

ПОЛЕ УСТОЙЧИВОСТИ И ЕГО ПАРАМЕТРЫ

Размер пространственного поля устойчивости. Результаты проведенных измерений показали существенное отличие размера ППУ, то есть фактического размаха допустимых перемещений вертикальной проекции центра тяжести тела в передне-заднем направлении, от соответствующего размера площади опоры. Даже в равновесиях на ногах размер ППУ всегда меньше соответствующего размера площади опоры по нашим данным (у взрослых в среднем) в 0,85–0,9 раза. Различие еще больше при утомлении — в зависимости от его степени. В индивидуальном плане различие между размерами ППУ и площади опоры может колебаться даже в стойке на ногах между 1,0 и 0,45 раза. Для исследования равновесий на руках механо-геометрический метод не может быть применен даже при самых грубых допущениях, поскольку в этом случае размер ППУ почти целиком зависит от соответствующих локальных силовых возможностей испытуемого и даже при усреднении данных, т.е. статистически, лишь в небольшой мере от размера площади опоры. Отношение размеров ППУ и площади опоры в равновесиях на руках меняется в зависимости от вида равновесия (например, в упоре углом ППУ в 1,1–1,2 раза больше, чем в стойке на руках, и в 1,5–2,7 раза больше, чем в стойке на одной руке), от глубины утомления, от способа связи с опорой (например, в стойке на руках на полу, где связь с опорой не удерживающая, размер ППУ в среднем составляет 21% от размера площади опоры, а в стойке на руках на стоялках поперек — 117%). Утомление особенно отражается на размере ППУ при выполнении равновесий на руках: при сильном утомлении он может уменьшаться в 2 и более раза. На размер ППУ влияют, помимо утомления, характера связи с опорой и вида равновесия, даже небольшие изменения позы (очевидно, сказываются тонические влияния, особенности статической координации), волевое и эмоциональное напряжение, наличие даже незначительных болевых ощущений.

Поскольку размер ППУ предопределяет размах приемлемых перемещений вертикальной проекции центра тяжести тела, есть основания считать этот параметр одной из главных динамических характеристик способности активно сохранять устойчивость те-

ла в заданном статичном поном равновесии.

Размер и расположение удобной и надежной зон. Размер и расположение удобной зоны отражает (в вероятностном плане) тонкость дифференцировок целесообразного положения тела и, главное, критерии удобства и надежности, которыми пользуется испытуемый, то есть установку на силу и соотношение соответствующих ощущений. Следовательно, характеристики изменения размера удобной зоны, как и изменения ее расположения в ППУ, представляют собой характеристики навыка.

Не только абсолютный, но и относительный (в % ППУ) размер удобной зоны зависит от особенностей испытуемого, от вида равновесия, от характера связи с опорой, от того, открыты или закрыты глаза, от степени утомления. Однако заслуживает внимания, что относительный размер УЗ во многих видах равновесия различается очень незначительно. Это свидетельствует о тесной связи размеров удобной зоны и ППУ. Например, абсолютные размеры удобной зоны в свободной стойке на двух ногах 8,6 см, в приседе — 6,7 см, в стойке на руках на полу — 3,2 см. Относительные же размеры соответственно 39, 35 и 33% ППУ. Средний абсолютный размер удобной зоны в пяти равновесиях на ногах (свободные стойки на одной и двух ногах, присед, полуприсед, "ласточка") 9,15 см, в пяти равновесиях на руках (стойки на руках на полу и на стоялках, стойка на одной руке на стоялке, упор углом на полу и на стоялках) — 4,25 см. Средние относительные размеры отличаются друг от друга значительно меньше: 43,4 и 38,8% ППУ. При этом индивидуальные различия в размерах удобной зоны весьма значительны: коэффициенты вариации для большинства изученных равновесий как на ногах, так и на руках имеют значения в диапазоне 20-30%. С утомлением абсолютный размер удобной зоны уменьшается.

Расположение удобной зоны в ППУ также индивидуализировано, зависит от вида выполняемого равновесия, степени утомления, участия зрительного анализатора. Из десяти перечисленных выше равновесий в девяти удобная зона смещена назад от середины ППУ. В пяти равновесиях смещение значительно (7+22% ППУ), в четырех очень невелико (+0,3+2% ППУ), в одном — 4% ППУ.

Характерную картину дает относительные расстояния между задними границами удобной зоны и ППУ. Здесь намечаются раз-

личия между равновесиями, которые можно отнести к группе высоконадежных и к группе менее надежных. В первом случае расстояние между задними границами удобной зоны и ПЛУ приблизительно $1/6$ ПЛУ, во втором — $1/4$ ПЛУ или больше. Обращает на себя внимание тот факт, что эти расстояния в абсолютных единицах измерения для большинства равновесий сравнительно близки — 2,1 — 3,6 см (лишь в равновесиях на одной ноге и на одной руке расстояния иные). Видимо, именно такое расстояние обеспечивает достаточную надежность сохранения устойчивости тела в обычных условиях, перекрывая с достаточным запасом (с удовлетворительной вероятностью) случайные флуктуации рабочей точки.

Различия между размерами или расположением удобной зоны при выполнении разных равновесий в большинстве случаев статистически достоверны.

В результате утомления удобная зона не только уменьшается, но и смещается назад, причем несколько больше, чем это должно было бы иметь место при пропорциональном уменьшении всех частей ПЛУ. При закрывании глаз удобная зона уменьшается и смещается вперед. Эти изменения сближают ее по размеру и расположению с надежной зоной.

Надежная зона расположена почти точно посередине ПЛУ при выполнении любых равновесий. Поэтому смещение ее относительно удобной зоны для многих равновесий достигает значительной величины (например, в свободной стойке на ногах — 15% ПЛУ, в свободной стойке на одной ноге — 12% ПЛУ). Размер надежной зоны для большей части равновесий приблизительно вдвое меньше размера удобной зоны. Индивидуальные различия размеров надежной зоны весьма значительны (для различных равновесий $V = 17 - 26\%$).

Расположение удобной точки. Анализ расположения удобной точки (УТ) дал следующие результаты.

При всем различии равновесий на ногах и на руках, естественно вытекающем из различий в морфологии и функциональных возможностях этих звеньев опорно-двигательного аппарата, а также в структуре и совершенстве сложившихся соответствующих двигательных навыков со всем относящимся сюда аппаратом афферентации, можно отметить общие для этих двух групп равновесий черты. В частности, смещение УТ относительно середины ПЛУ при выполнении исследованных нами пяти равновесий на

ногах и пяти на руках оказалось в обоих случаях равным около 13% ППУ. Такое точное совпадение, по-видимому, случайно, поскольку величины смещения для разных равновесий расположены в широком диапазоне (-6 + -26% ППУ). Тем не менее оно указывает на сходное расположение УТ в равновесиях на ногах и на руках (в относительных единицах; выраженное в см, смещение УТ в равновесиях на руках вдвое меньше, чем на ногах), а значит и на известную общность закономерностей, определяющих расположение УТ в любых равновесиях.

Особенности выполняемых равновесий заметно отражаются на положении УТ в ППУ. Так, например, можно отметить тенденцию к расположению УТ ближе к середине ППУ при выполнении более сложных равновесий, когда труднее сохранить устойчивость тела: в свободной стойке на двух ногах смещение УТ относительно середины ППУ равно - 13,5% ППУ, а на одной ноге - на "удобной" - 7% ППУ, на "неудобной" -6% ППУ; в упоре углом на полу - -19,5% ППУ, в стойке на руках на полу - -7% ППУ и т.д.

Индивидуальная вариативность расположения УТ в ППУ, отражающая, по-видимому, определенные особенности навыковой стороны управления устойчивостью тела в конкретном равновесии, очень велика. Даже в свободной стойке на ногах расстояние УТ от задней границы ППУ у 20 испытуемых варьирует в диапазоне 4,6 - 12,1 см, что соответствует смещению УТ относительно середины ППУ -26 + +1% ППУ. Однако у подавляющего большинства испытуемых УТ смещена на -5 + -15% ППУ.

Изменение позы даже без перемены места и способа опоры обычно влечет за собой изменение положения УТ в ППУ, причем изменяется как положение УТ относительно места опоры, так и положение и размер ППУ. Можно думать, это связано с тоническими перестройками.

Смещение УТ относительно середины удобной зоны значительно меньше, чем относительно середины ППУ. Это справедливо даже в том случае, если сравнивать смещение УТ относительно середины удобной зоны, выраженное в процентах от ее размера, со смещением УТ относительно середины ППУ, выраженное в % ППУ. Это заставляет предполагать наличие тесной связи положения удобной зоны и УТ в ППУ. Они в среднем приблизительно одинаковы в равновесиях на ногах и на руках.

Стабильность расположения удобной точки. Способность

различать и воспроизводить заданную рабочую точку исследовалась в двух сериях опытов.

Стабильность расположения УТ, в определенной степени характеризующая способность определять положение рабочей точки в ППУ, зависит от величины временных интервалов между повторными измерениями. В настоящей работе была проанализирована стабильность расположения УТ в трех различных временных интервалах, условно обозначенных нами как малый (1-2 мин), средний (от нескольких минут до 2-3 часов) и большой (более одного дня). Согласно полученным данным для свободной стойки на ногах и для стойки на руках на полу соответственно $\sigma_m = 2,3\%$ ППУ и $4,6\%$ ППУ, $\sigma_{cp} = 3,4$ и $7,5\%$ ППУ, $\sigma_5 = 8$ и 13% ППУ.

С увеличением временного интервала стабильность положения УТ снижается, хотя это изменение неодинаково для различных равновесий. Стабильность положения УТ при стоянии с закрытыми глазами меньше, чем при стоянии с открытыми глазами.

При воспроизведении УТ наблюдаются резкие индивидуальные различия. У испытуемых, хорошо управляющих устойчивостью тела, ошибки воспроизведения меньше средних. Это наряду с общетеоретическими соображениями дает основание считать точность воспроизведения УТ одной из функциональных характеристик устойчивости тела в статичных позах равновесиях.

В другой серии опытов, проведенной главным образом на школьниках, изучалась точность воспроизведения рабочей точки, заданной трехкратным опробованием, при вертикальном стоянии на ногах. Наведение на заданную рабочую точку осуществлялось экспериментатором по показаниям стабилоскопа (посредством устных команд). Ошибки оказались близкими к ошибкам воспроизведения УТ, лишь немного в среднем превосходя их. Индивидуальные различия воспроизведения заданных рабочих и удобных точек в большинстве случаев также сходны.

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ФАКТОРОВ НА СТРУКТУРУ ППУ

Выше уже было отмечено, что под влиянием утомления в зависимости от его степени уменьшается размер ППУ. То же следует сказать и об удобной и надежной зонах, что еще раз подтверждает зависимость их размеров от размера ППУ. Кроме

того, в результате утомления наблюдается смещение удобной зоны и УТ от середины ППУ, влекущее за собой снижение уровня силового взаимодействия с опорой, то есть большую энергетическую экономичность процесса сохранения устойчивости тела. В большинстве равновесий это смещение назад. Так, размер удобной зоны при сильном утомлении уменьшается в среднем приблизительно вдвое (в 1,8 - 2,2 раза). Смещение ее назад при этом равно: в стойке на ногах 9% ППУ, в стойке на руках на полу 6% ППУ, в упоре углом на стоянках 22,5 ППУ. Смещение надежной зоны соответственно 1,0, 4,0 и 2,5% ППУ. УТ при утомлении обычно смещается назад еще больше, чем удобная зона, что нередко приводит даже к потере устойчивости тела (особенно в равновесиях на руках).

При сохранении устойчивости тела с закрытыми глазами размеры ППУ у многих испытуемых иные, чем с открытыми. Однако это различие статистически недостоверно. Что же касается размеров удобной и надежной зон, то они при закрытых глазах значительно меньше, чем при открытых. Расположение удобной зоны и УТ при закрытых глазах также иное: они смещаются в сторону середины ППУ. Так, смещение УТ вперед равно в среднем: в свободной стойке на ногах ~5% ППУ; в стойке на одной ноге ~8,5% ППУ; в приседе ~4% ППУ; в стойке на руках на полу ~10,5% ППУ. По-видимому, все это следует понимать как адаптивное изменение структуры ППУ в сторону компенсации изменения надежности выполнения равновесия в связи с выключением зрительного контроля.

Быстрые повороты тела вокруг вертикальной оси (переступанием в свободной стойке на ногах) являются вестибулярным раздражителем. В связи с последствием вестибулярного раздражения УТ смещается вперед, ближе к середине ППУ. После пяти поворотов смещение оказалось в среднем равным 5-7% ППУ, после десяти поворотов - 8-12% ППУ (данные получены на школьниках). Видимо, тут действуют два фактора: вестибуло-тонические перестройки и условнорефлекторная компенсация снижения устойчивости тела.

Смещение УТ наблюдается и после того, как испытуемый смещает центр опоры (то есть изменяет напряжение мышц соответственно такому смещению) вперед или назад - безразлично, вызывается это смещением ц.т.т. или приложением возмущающей внешней силы. Последствие смещения центра опоры вызывает

смещение УТ в противоположную сторону. Так, после смещения центра опоры в район передней границы ППУ УТ смещается назад в различных изученных нами равновесиях от 6,5 до 16%ППУ, после смещения в район задней границы — от 2,5 до 17% ППУ вперед. Сами испытуемые не замечают смещения УТ, что, по-видимому, свидетельствует о наличии тонических перестроек.

ВОЗРАСТНЫЕ ИЗМЕНЕНИЯ УСТОЙЧИВОСТИ ТЕЛА ПРИ ПРЯМОСТОЯНИИ У ШКОЛЬНИКОВ

Возрастные изменения устойчивости тела были прослежены по материалам изучения: сагиттального размера и структуры ППУ при прямостоянии на одной и двух ногах с открытыми и закрытыми глазами; способности воспроизведения заданной точки ППУ при стоянии на двух ногах с открытыми глазами; изменения структуры и размера ППУ как последствия некоторых возмущающих факторов при стоянии на двух ногах.

У мальчиков (всех возрастов) размер ППУ больше, чем у девочек. И у мальчиков, и у девочек он с возрастом увеличивается, что является базой повышения устойчивости тела. Лишь у девушек 15-16 лет он временно уменьшается, что можно отнести за счет быстрого и значительного увеличения веса тела. Отношение размера ППУ к размеру площади опоры у мальчиков имеет максимальную величину в возрасте 11-12 лет, у девочек — в возрасте 13-14 лет. Особенно ярко эти максимумы выделяются при анализе стояния на одной ноге. При стоянии с закрытыми глазами размер ППУ у мальчиков в среднем несколько больше, чем при стоянии с открытыми глазами; у девочек, наоборот, несколько меньше. Однако различия между размерами ППУ при стоянии с открытыми и закрытыми глазами для каждой возрастной группы как у мальчиков, так и у девочек статистически недостоверны.

С 7 по 12 лет и у мальчиков, и у девочек вес тела и размер площади опоры возрастают приблизительно пропорционально и скорость увеличения ППУ у них примерно одинакова (в % ППУ 7-8-летних). Но в возрасте 13-14 лет соотношения нарушаются.

У мальчиков наряду со снижением скорости увеличения веса резко возрастает скорость увеличения площади опоры. И

все же наименьший прирост размера ППУ наблюдается именно к этому возрасту. Видимо, сглаживается задержка развития относительной мышечной силы, связанная с этой стадией пубертатного периода. К 15-16 годам, несмотря на менее выгодное соотношение приращений размера площади опоры и веса тела, размер ППУ снова растет быстрее. У девочек к 13-14 годам быстро растет вес тела при почти неизменной площади опоры, а размер ППУ, тем не менее, быстро возрастает. Это можно объяснить только резким повышением относительной силы пальцев ног, поскольку известно (Basler, 1942), что от трехглавой мышцы голени даже при максимально возможном смещении вперед центра опоры требуется напряжение лишь около 1/7 от максимального.

835

Очень четко проявляются половые различия возрастных изменений размера ППУ при стоянии на одной ноге. Так, если при стоянии на двух ногах ППУ для всех возрастных групп у мальчиков достоверно больше, чем у девочек, то при стоянии на одной ноге (как "удобной", так и "неудобной") в возрасте 13-14 лет наблюдается инверсия этого отношения: у девочек ППУ быстро возрастает и оказывается больше, чем у мальчиков, у которых оно значительно уменьшается (это временное уменьшение ППУ при стоянии на одной ноге на фоне продолжающегося его увеличения при стоянии на двух, видимо, следует объяснить известным ухудшением статической координации, связанным с данным возрастом).

Размеры удобной зоны (в % ППУ) у мальчиков и девочек 7-8 лет статистически неразличимы, но в дальнейшем у девочек этот параметр значительно больше, чем у мальчиков: у девочек в среднем для всех возрастов 49,5% ППУ, у мальчиков 43% ППУ. Размер удобной зоны при стоянии с закрытыми глазами существенно меньше. Возрастные изменения размера удобной зоны у мальчиков и девочек существенно различаются, однако при стоянии на двух ногах эти изменения в основном однонаправлены. В возрасте 11-12 лет удобная зона уменьшается у мальчиков и у девочек (при стоянии на двух ногах и на "удобной" ноге), но в 13-14 лет резко увеличивается. Наименьшее (в среднем) ее смещение относительно середины ППУ наблюдается в 11-12 лет. У мальчиков удобная зона расположена дальше от задней границы ППУ, чем у девочек соответствующего возраста (лишь у девочек 15-16 лет при стоянии на "удобной" ноге она

расположена впереди). Поскольку удобная зона в большинстве случаев смещена назад, у мальчиков она в среднем расположена ближе к середине ППУ.

Расстояние между задними границами удобной зоны и ППУ (в % ППУ) минимально в 15-16 лет (мальчики - $\sim 20\%$ ППУ, девочки - $\sim 17\%$ ППУ), максимально - в 11-12 лет (мальчики 46% ППУ, девочки - 43% ППУ). При закрытых глазах удобная зона расположена ближе к середине ППУ, чем при открытых, а размер ее меньше. Это уменьшает снижение надежности, связанное с потерей зрительного контроля. Расстояние между передними границами удобной зоны и ППУ в большинстве случаев больше, чем между задними (только у девочек 13-16 лет при стоянии на одной ноге - меньше). Возрастные изменения расстояний УТ и задней границы удобной зоны от задней границы ППУ чрезвычайно сходны, что дает основание для предположения об однородности афферентации, определяющей оба параметра. В возрасте 11-12 лет УТ занимает среднее положение в ППУ: у мальчиков почти точно посередине, у девочек - лишь на 5% ППУ сзади.

Мальчики 9-12 лет и девочки 9-10 лет располагают надежную точку почти точно посередине ППУ, что обеспечивает наилучшую устойчивость тела. В возрасте 11-12 лет и мальчики, и девочки почти совмещают удобную и надежную точки, что может быть интерпретировано как проявление двигательной установки на обеспечение надежности стояния даже в ущерб его удобству и энергетической экономичности. Сближение этих точек характерно и для возраста 7-8 лет, но только они значительно смещены назад от середины ППУ и расположены так, как это вообще характерно для УТ. Возрастные изменения положения надежной зоны хорошо соответствуют изменениям положения надежной точки. Наблюдается общая тенденция к уменьшению размера надежной зоны (в % ППУ) с возрастом. По-видимому, это свидетельствует о совершенствовании с возрастом определения положения тела, обеспечивающего высокую надежность сохранения устойчивости.

Одним из проявлений способности дифференцировать положение тела в поле устойчивости является точность воспроизведения рабочей точки, заданной опробованием. В 7-12 лет различия между средними ошибками пятикратного ее воспроизведения мальчиками и девочками несутворственны, в 13-14 лет у



мальчиков ошибка достоверно меньше, чем у девочек, в 15-16 лет это различие несколько меньше, но все же статистически достоверно. При этом у девочек 11-16 лет величина ошибки удерживается приблизительно на одном уровне. Средняя относительно (в % ШПУ) ошибка воспроизведения рабочей точки относительно первого воспроизведения в половом и возрастном планах различается несущественно. Ошибка первого воспроизведения меньше средней ошибки пятикратного воспроизведения. С возрастом это различие уменьшается, что, видимо, можно отнести за счет улучшения моторной памяти.

Смещение центра опоры в большинстве случаев влечет за собой последующее смещение УТ в противоположную сторону. Только после смещения центра опоры вперед у мальчиков 7-8 и 15-16 лет, как и у девочек 7-10 лет, наблюдается инверсированная реакция (у мальчиков 7-8 лет - при открытых глазах, у остальных - при закрытых). Наиболее выражено последствие у мальчиков в 9-12 лет, у девочек - в 7-8 и в 15-16 лет. Последствие смещения центра опоры назад у мальчиков и девочек всех возрастов различается меньше, особенно при измерении в % ШПУ. Величина и направление смещения УТ в результате последствия смещения центра опоры зависит от положения исходной УТ в ШПУ.

Для всех возрастных групп мальчиков и девочек характерно смещение УТ вперед в результате последствия быстрых поворотов тела вокруг вертикальной оси. Смещение после 10 поворотов больше, чем после 5 (приблизительно в 1,5 раза больше у мальчиков, в 1,25 раза - у девочек). С возрастом смещение УТ у мальчиков подчиняется тенденции к уменьшению, у девочек - к увеличению. Это различие больше при измерении в % ШПУ.

ВЫВОДЫ

I. Предлагаемый метод основан на анализе динамического воздействия человека на опору, проводимом с позиций концепции поля устойчивости. Поле устойчивости (ПУ) - область значений, в пределах или на границах которой должно находиться значение переменной величины (принятой в качестве определяющей), чтобы было возможно сохранение устойчивости тела при заданной ситуации. В настоящей работе в качестве определяю-

дих переменных были приняты восстанавливающий момент и положение центра давления на опору (центра опоры), которым соответствуют поле восстанавливающих моментов (ПВМ) и пространственное поле устойчивости (ПШУ). Размер ПУ — расстояние между наиболее удаленными друг от друга в выбранном направлении его точками. Другие параметры структуры ПУ представляют собой расстояния в заданном направлении между различными его характеристичными точками. В число элементов структуры ПУ входят: удобная зона, надежная зона, удобная точка, надежная точка, рабочая точка. Удобная зона — зона ПУ, соответствующая совокупности положений тела, которые оцениваются испытуемым как вполне приемлемые при выполнении рассматриваемого равновесия в обычных условиях. Надежная зона — зона ПУ, соответствующая совокупности положений тела, которые оцениваются испытуемым как вполне надежные при выполнении рассматриваемого равновесия в условиях, в которых повышена ответственность за успешность сохранения устойчивости тела. Удобная точка — точка удобной зоны, соответствующая ощущениям наиболее удачного положения тела при выполнении рассматриваемого равновесия в обычных условиях. Надежная точка — точка НЗ, соответствующая ощущениям наибольшей надежности сохранения устойчивости тела. Рабочая точка — точка ПУ, соответствующая текущему значению определяющей переменной. Использование перечисленных понятий и некоторых связывающих и характеризующих их параметров позволяет количественно описывать функциональные возможности человека в активном сохранении устойчивости тела при выполнении статичных (без перемены места опоры) позах равновесия. Адекватными методиками получения отправных данных анализа являются стабиллография и стабилдоскопия.

2. Размеры ПВМ и ПШУ характеризуют потенциальные силовые возможности, а структура ПВМ и ПШУ — особенности навыка человека в активном сохранении устойчивости тела.

3. Сагиттальный размер ПШУ зависит от соответствующего размера площади опоры, от текущих силовых возможностей человека во взаимодействии (связи) с опорой, от позы, от характера участия пальцев в обеспечении устойчивости, от специфики опоры, от опоры на одну или две конечности. Он всегда меньше сагиттального размера площади опоры — при неудерживаемой связи с опорой. При удерживаемой связи размер ПШУ

может быть существенно больше соответствующего размера площади опоры либо меньше его — в зависимости от потенциальных силовых возможностей человека во взаимодействии с опорой и их текущего состояния.

4. Наблюдается общая тенденция к уменьшению различия между однородными параметрами структуры ПУ в различных равновесиях при выражении этих параметров в % ППУ (по сравнению с различием при выражении их в абсолютных единицах измерения структуры ПУ в позах равновесиях).

5. Имеет место тенденция к восприятию середины ПУ в качестве надежной точки и к симметрии относительно нее надежной зоны. Расположение удобной точки для большинства равновесий характеризуется отношением расстояний ее от задней и передней границ ППУ порядка $2/3$. Расположение удобной зоны относительно удобной точки обычно приблизительно симметрично.

6. Параметрам ПУ в каждом виде статичного полого равновесия свойственна значительная вариативность, зависящая как от индивидуальных физических особенностей и функционального (физического и психического) состояния исполнителя, так и от специфики его навыка в исполнении данного равновесия.

7. Утомление приводит к соответствующему его степени уменьшению тотальных размеров ПУ и удобной зоны, а также к смещению удобной зоны и удобной точки назад (при выражении не только в абсолютных мерах, но и в % ПУ). Надежная точка и надежная зона даже при утомлении остаются приблизительно посередине ПУ, что обеспечивает наибольшие возможности в сохранении устойчивости тела.

8. В статичных полых равновесиях, характеризуемых одинаковой опорой, но различными позами, размеры и структура ПУ различны. Эффект позы может в отдельных случаях (при выполнении равновесий на руках) проявляться в изменении сагиттального размера ПУ до полутора раз, в еще большем по размаху изменении размера удобной зоны, в различном (с размахом до 50% ПУ) расположении удобной точки.

9. Параметры структуры ПУ могут существенно изменяться в результате последствия значительного смещения центра опоры. Проявлению этого эффекта свойственна широкая индивидуальная, адаптационная и стохастическая вариативность.

10. Закрывание глаз вызывает смещение удобной точки, сближающее ее с надежной точкой. Данный эффект проявляется тем сильнее, чем дальше смещена исходная удобная точка относительно середины ПУ. То же наблюдается как проявление последствий быстрых поворотов вокруг вертикальной оси. Это смещение удобной точки, по-видимому, следует рассматривать как адаптационное.

11. Функциональные характеристики устойчивости тела при прямостоянии у мальчиков и девочек 7-16 лет претерпевают значительные возрастные изменения.

12. Функциональные характеристики устойчивости тела при прямостоянии и их возрастные изменения у мальчиков и девочек 7-16 лет существенно различаются. Это относится и к характеристике потенциальных возможностей в силовом взаимодействии с опорой, которые у мальчиков во всех возрастных группах выше, чем у девочек, и к характеристикам навыка, выраженным параметрами ППУ.

13. С возрастом сагиттальный размер ППУ в свободной стойке на ногах и у мальчиков, и у девочек увеличивается (лишь у девочек размер ППУ в 15-16 лет временно уменьшается в связи с быстрым возрастанием веса тела).

14. У школьников и школьниц расположение удобной зоны и удобной точки в ППУ с позиций обеспечения максимальной устойчивости тела наиболее благоприятно в 11-12 лет (удобной зоны — у девочек также и в 13-14 лет).

15. В школьном возрасте способность к дифференцированию положений рабочей точки в ППУ наиболее развита у мальчиков в 15-16 лет, у девочек — в 11-12 лет.

По материалам диссертации опубликованы следующие работы

1. Сохранение равновесия в упражнениях спортивной гимнастики. Тез. докл. научно-мет. конф. вузов г. Москвы по физ. воспит., М., 1962.

2. Сохранение равновесия при выполнении спортивных упражнений. Тез. докл. НТК МЛТИ, М., 1963.

3. К вопросу об определении положения вертикальной проекции центра тяжести тела при применении стабиллографической методики исследований. Рефер. докл. НТК МЛТИ, М., 1965.

4. О функциональном подходе к оценке условий устойчивости тела спортсмена в процессе сохранения позного равновесия. Реф. докл. НТК МЛТИ, М., 1965.
5. К вопросу о функциональных динамических характеристиках процесса сохранения позного статического равновесия. Тез. докл. IУ конф. молодых ученых, ГЦОЛИФК, М., 1966.
6. Субъективная структура поля равновесия. Реф. докл. НТК МЛТИ, М., 1967.
7. Эффект последствия отклонений тела при сохранении поznego равновесия. Материалы XУШ научно-мет. конф. вузов г.Москвы, по физ. восп., М., 1967.
8. Некоторые вопросы обучения гимнастов стойке на руках. Матер. XУШ научно-мет. конф. вузов г.Москвы по физ. восп., М., 1967.
9. О функциональном подходе к оценке устойчивости тела. "Теория и практ. физ. культ.", № 6, 1967.
10. Об устойчивости позы. (Соавтор А.П.Купцов). "Теория и практика физ. культ.", № 12, 1967.
11. Воспитание устойчивости в стойках и равновесиях о применением стабилоскопа. В кн.: "Мастерство гимнастов", ФизС, 1969.
12. О механизмах управления устойчивостью тела в позных равновесиях. Реф. докл. НТК МЛТИ, М., 1969.
13. Надежность исполнения в гимнастике. ФизС, М., 1970.
14. Об устойчивости тела в статичных позных равновесиях. "Теория и практ. физич. культ.", № 3, 1970.
15. Функциональные характеристики устойчивости тела и их возрастные изменения. Реф. докл. НТК МЛТИ, М., 1971.