

О НЕКОТОРЫХ АСПЕКТАХ РАЗРАБОТКИ ФРИКЦИОННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ СО МНОГИМИ СТЕПЕНЯМИ СВОБОДЫ



Сотский Н.Б.

д-р пед. наук, доцент,
Белорусский
государственный
университет
физической культуры

В статье представлены аспекты развития новой технологии силовой тренировки, построенной на использовании оригинального пространственного поля диссипативных сил, создаваемого разработанными автором специальными устройствами – фрикционными тренажерами со многими степенями свободы. Показана логика исследования от определения актуальности, построения и использования новых методов анализа до формулировки концепции и ее практической реализации в виде конкурентоспособной продукции, востребованной на отечественном и зарубежных рынках.

Ключевые слова: развитие силы; поза; тренажер; классификация; эффективность; конструирование.

SOME ASPECTS OF FRICTION SIMULATORS DEVELOPMENT WITH MANY DEGREES OF FREEDOM

The article presents aspects of a new power training technology development, built on the use of the original spatial field of dissipative forces, created by the author's special devices – friction simulators with many degrees of freedom. The logic of the study is shown from determining the relevance, construction, and use of new methods of analysis to formulation of the concept and its practical implementation in the form of competitive products in demand in domestic and foreign markets.

Keywords: strength development; posture; simulator; classification; efficiency; design.

Вопросы физического воздействия на организм человека с целью совершенствования структуры его опорно-двигательного аппарата и повышение двигательных возможностей, таких как сила, выносливость, гибкость и ловкость, постоянно находятся в поле внимания специалистов физической культуры, включая такие специфические отрасли, как лечебная и оздоровительная физическая культура, физическая реабилитация. Здесь активно работают и специалисты технических отраслей, поскольку указанное воздействие осуществляется с использованием различного рода материальных объектов. Это устройства, созданные на основе физических объектов и различного рода полей, которые воздействуют как непосредственно на человека, так и служат для передачи информации.

Физическое воздействие в упомянутом смысле осуществляется с помощью различных приспособлений, создающих силовое поле, преодолевая которое или подчиняясь ему, человек получает необходимое влияние на свой опорно-двигательный аппарат, вызывающее приспособительные реакции и, соответственно, тренировочный эффект. Такие

объекты принято называть силовыми тренажерами или тренировочными устройствами.

В педагогических процессах, связанных с обучением двигательным действиям и развитием физических качеств постоянно возникают новые направления, базирующиеся на разработке оригинальных технических средств, использующих передовые достижения науки и техники. В то же время часто в стороне остаются объективные биомеханические закономерности реализации упражнений с их использованием. Это относится к отсутствию учета при их выполнении закономерностей изменения позы, инерционных воздействий, особенностей рассеивания энергии, что в конечном итоге приводит к чрезмерным искусственным конструктивным ограничениям, которые в значительной мере снижают эффективность использования технических устройств как средств специальной тренировки для мышц, обеспечивающих сложные пространственные движения. Решение указанных проблем представляется актуальной задачей для дальнейшего развития научного направления, связанного с тренажерными технологиями развития двигательных качеств.

Целью описываемого исследования было создание теоретического обоснования и осуществление практической реализации концепции силовых тренажеров для мышц, обеспечивающих пространственные движения, требующие одновременного использования многих степеней свободы опорно-двигательного аппарата с минимальной инерционностью и эффективным рассеиванием энергии.

В процессе работы по данной теме на первом этапе были изучены современные подходы, применяемые в биомеханическом анализе физических упражнений человека, и возможности объективного использования биомеханических закономерностей построения двигательных действий как основы классификации технических средств физической культуры. Второй этап был связан с построением классификации технических средств физической культуры на основе учета биомеханических закономерностей выполнения двигательных действий человеком с введением числовых показателей, отражающих конструктивную биомеханико-педагогическую эффективность использования тренажерных технологий.

Для объективного рассмотрения особенностей выполнения физических упражнений была разработана исследовательская методика определения позы для пространственных движений человека, построена система ее цифровой регистрации для статических и динамических ситуаций, а также создана методология ее применения к исследованию физических упражнений, включающая биомеханический анализ, компьютерный синтез и синтез специальных силовых упражнений.

Следующий этап состоял в выявлении на основе разработанных методов характерных особенностей динамики изменения позы при выполнении силовых упражнений с использованием типового современного тренажерного оборудования, оценке его возможностей в отношении биомеханико-педагогической эффективности нагрузки, соответствия упражнений режимам реальных пространственных движений человека и определены перспективы развития тренажерных технологий на основе диссипативных устройств со многими степенями свободы.

Результаты проведенных исследований позволили обосновать и сформулировать концепцию создания пространственного силового поля диссипативных сил для обеспечения тренировочной нагрузки мышц, отвечающих за движения, требующие активизации одновременно нескольких степеней свободы опорно-двигательного аппарата человека, в рамках которой были разработаны оригинальные тренажерные устройства с осуществлением патентной защиты, а также созданием системы маркетинга, позволяющей конкурировать на рынке Республики Беларусь и в зарубежных странах.

На завершающем этапе исследования была теоретически обоснована и экспериментально оценена эффективность фрикционных тренажеров со многими степенями свободы, разработано методическое обеспечение силовой и оздоровительной тренировки для различных контингентов пользователей.

В ходе построения классификации технических средств физической культуры на основании изучения отечественных и зарубежных источников научно-технической информации по фондам библиотек, сетевых источников информации и анализа рынка было установлено, что при традиционной дифференциации технических устройств в недостаточной мере учитываются биомеханические особенности выполнения упражнений с их использованием и для решения проблем дальнейшего совершенствования тренажерных технологий актуальными задачами представляются:

- построение модифицированной классификации технических средств на основе учета уровней внутренней биомеханической структуры физического упражнения в качестве целевых объектов воздействия тренажерных технологий;
- разработка методики объективной оценки биомеханической конструктивной эффективности упражнения, выполняемого с использованием технического средства, включающей определение, цифровую запись и анализ позы, а также введение числовых показателей неконтролируемых инерционных воздействий и эффективности рассеивания энергии;
- анализ биомеханической конструктивной эффективности существующих тренажерных систем силовой тренировки и определения перспективного направления их дальнейшего развития.

Построение новой биомеханически обоснованной классификации средств педагогического воздействия было осуществлено на основе учета внутренней биомеханической структуры физических упражнений, введенной профессором В.Т. Назаровым [1], и предполагающей три уровня построения двигательного действия – психоинформационный, физиологический и механический, которые связаны воедино целью двигательного действия. Поэтому в основе биомеханически обоснованной классификации технических устройств должна лежать их дифференциация по указанным уровням.

При этом, если учесть, что использование технического устройства всегда имеет целью конечный элемент внутренней структуры двигательной сферы человека, то в качестве первого признака новой классификации должен быть выделен уровень конечного (целевого) воздействия устройства – психоинформационный (И), физиологический (Ф) или механический (М) с присвоением каждому из этих уровней индексов соответственно 1, 2 и 3 (рисунок 1, верхняя часть).

Следующим элементом классификации следует считать область (уровень) непосредственного входного воздействия на двигательную сферу (рисунок 1, средняя часть).

Способ воздействия технического средства на человека является завершающим элементом построенной классификации (рисунок 1, нижняя часть). К числу таких способов относятся: сила механического характера (С), поле (П) или химическое вещество (В). Эти способы воздействия также обозначаются индексами соответственно 1, 2 и 3. Естественно, число индексов для способов воздействия в рамках пред-

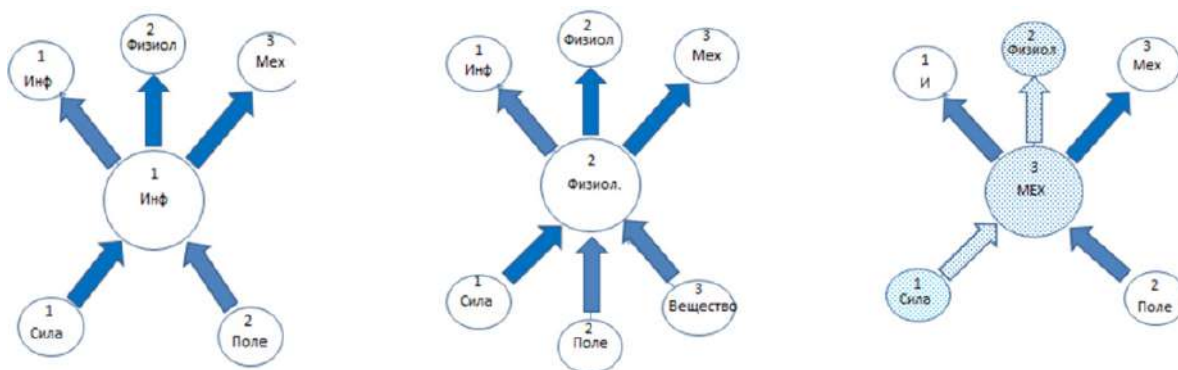


Рисунок 1. – Схема воздействия технических средств на двигательную сферу человека

ставленного подхода при необходимости можно увеличить, разделяя отдельные средства на группы.

Если рассмотреть основные принципы использования технических устройств, предназначенных для развития двигательных качеств, например силы, то главным свойством тренажеров является создание внешних затруднений или сопротивлений изменению позы тренирующимся, выполняющим упражнение. Указанное сопротивление обеспечивается действием сил механической природы. В предложенной классификации группа таких технических устройств будет иметь индексацию (2-3-1, см заштрихованные объекты на рисунке 1), что соответствует последовательности уровней Ф-М-М (физиологический-механический-механические силы). Аналогичным образом можно индексировать и другие варианты использования технических средств.

В рамках дифференцирования технических устройств по уровням внутренней биомеханической структуры возникает и проблема их объективной оценки с точки зрения биомеханико-педагогической эффективности. Для этой цели нами были предложены следующие три показателя: первый – коэффициент пространственной размерности K_{dim} , введенный нами как отношение количества одновременно нагружаемых пространственных степеней свободы (N) части технического устройства, непосредственно контактирующей с соответствующим звеном тела человека, к аналогичному показателю для свободно-го тела (шесть степеней).

$$K_{dim} = \frac{N}{6}.$$

В качестве критерия инерционности конструкции K_{in} следует рассматривать величину разности единицы и отношения максимальной достигаемой в ходе упражнения кинетической энергии (E_{kin}) перемещаемых при выполнении упражнения масс к сумме указанной кинетической энергии и работ консервативных (A_k) и диссипативных (A_{dis}) сил, т. е.:

$$K_{in} = 1 - \frac{E_{kin}}{E_{kin} + A_k + A_{dis}}.$$

В качестве коэффициента рассеивания механической энергии предлагается использовать отношение работы диссипативных сил (A_{dis}) к сумме работ,

затраченных на преодоление диссипативных (A_{dis}), консервативных (A_k) и инерционных сил (E_{kin}).

$$K_{dis} = \frac{A_{dis}}{A_{dis} + A_k + E_{kin}}.$$

Максимальное теоретическое значение биомеханической конструктивной эффективности силового тренажера соответствует трем единицам, а минимальное стремится к нулевым значениям для всех трех показателей. Следовательно, оптимизация устройств силовой тренировки должна идти по пути обеспечения одновременно высокого значения коэффициентов пространственной размерности, инерционности и рассеивания энергии, что предполагает перспективу создания тренажеров со многими степенями свободы, имеющих легкие конструкции и использующих диссипативные способы обеспечения тренировочного сопротивления.

Решение следующей задачи предполагало подготовку основы для исследования биомеханико-педагогической эффективности силовых упражнений, выполняемых с использованием современных технических средств. Основным направлением исследования здесь являлось создание способа численного определения позы и построения методов его практического использования.

Предложенный нами способ такой записи представляет собой матрицу, в каждой ячейке которой последовательно записаны суставные углы для определенного сочленения для трех основных типов суставных движений (циркумдукции, сгибательно-разгибательных и ротации).

Суставные углы в матрицах представлены так, что каждая строка соответствует определенной биомеханической цепи, а столбцы – последовательно ее суставам. Для заполнения указанных матриц требуется измерить углы Эйлера, соответствующие анатомическим движениям в суставах. При этом следует иметь в виду, что углы суставных движений типа циркумдукции имеют двойную функцию, указывая не только угол для своего вида движения, но и плоскость для движений сгибательно-разгибательного типа [2]. Пример аналитической записи позы показан на рисунке 2.

Разработанные методы исследования были использованы в ходе решения следующих задач для определения биомеханико-педагогической эффек-



$$\varphi_{ijk} = \begin{pmatrix} 0,0,20 & 180,45,0 & 0,0,0 & 0,0,0 \\ 0,0,-20 & 180,45,0 & 0,0,0 & 0,0,0 \\ 180,45,0 & 0,45,0 & 0,0,0 & 0,90,0 \\ 180,45,0 & 0,45,0 & 0,0,0 & 0,90,0 \\ 0,0,0 & 0,0,0 & 0,0,0 & 0,0,0 \end{pmatrix}$$

Рисунок 2. – Пример матричной записи позы при отжимании на брусьях

тивности типовых силовых тренажерных устройств и оценки перспективы дальнейшего развития данного направления. В результате проведенного анализа были получены значения соответствующих коэффициентов (рисунок 3) в зависимости от характера сил, используемых для создания тренировочного сопротивления.

Анализ приведенных на графике результатов позволил установить, что основной проблемой, приводящей к снижению эффективности силовой тренировки, является искусственная пространственная ограниченность силовой нагрузки. Она не позволяет одновременно координированно нагружать мышцы, обеспечивающие выполнение упражнений, требующих одновременной активизации нескольких пространственных степеней свободы опорно-двигательного аппарата. Это не соответствует реальным условиям тренировки, имеющим место при выполнении сложных двигательных действий. Кроме этого, биомеханико-педагогическая конструктивная эффективность технических устройств, используемых для развития двигательных качеств, в ряде случаев заметно снижается из-за необходимости снижения инерционности и обеспечения рассеивания энергии.

Максимальное значение одновременно всех представленных на графике коэффициентов может быть достигнуто разработкой

конструкций, обладающих низкой инерционностью, одновременно нагружающих несколько пространственных степеней свободы суставных движений и использующих для создания нагрузки диссипативные силы. На этом основании нами предложена концепция силовых тренажеров со многими степенями свободы, использующих диссипативный способ обеспечения тренировочной нагрузки, основанная на формировании замыкания биокинематических цепей тела человека как между собой, так и с опорой через регулируемое средство задания нагрузки, обеспечивающее сопротивление изменению трехмерной пространственной конфигурации созданной таким образом замкнутой цепи. Технически это можно

осуществить путем размещения между ее элементами имитатора кинематической цепи с регулируемым сопротивлением изменению ее формы. Природа и физическая сущность используемого имитатора кинематической цепи могут быть самыми разнообразными. В качестве такого средства в настоящее время часто используется партнер, оказывающий сопротивление, или вязкая среда, окружающая тренирующегося, но более перспективным по сравнению с указанными способами обеспечения тренировочной нагрузки, на наш взгляд, представляется создание механического устройства в виде шарнирно-рычажного механизма с управляемым сопротивлением изменению его пространственной конфигурации. Такая конструкция имитатора биокинематической цепи может быть изготовлена из связанных между собой твердых звеньев, крайние из которых должны иметь, как было уже сказано, не менее шести степеней свободы движения относительно друг друга. Минимальное количество звеньев для обеспечения такой возможности – три, причем они должны быть связаны между собой шарнирами, имеющими по три степени свободы с возможностью регулировки усилия сопротивления изменению своей конфигурации. Принципиальная схема такого устройства приведена на рисунке 4.

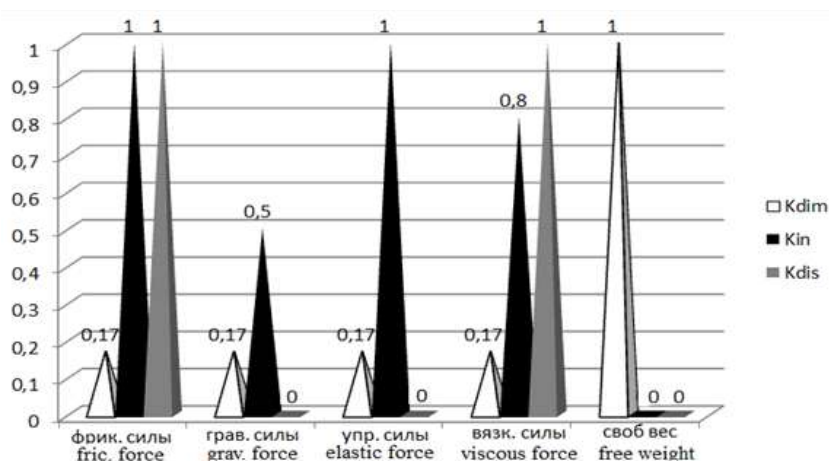


Рисунок 3. – Оценка коэффициентов биомеханической эффективности технических устройств для развития силы

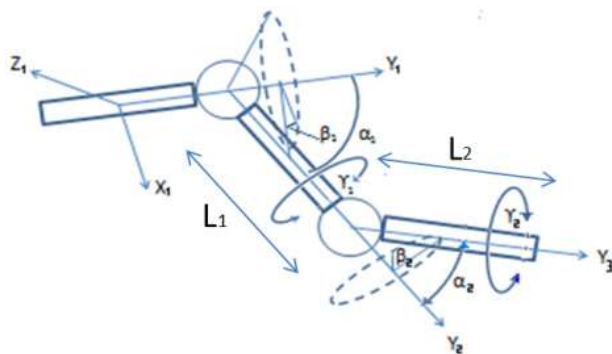


Рисунок 4. – Схема трехзвенного рычажно-шарнирного замыкателя биокинематических цепей (α , β , и γ обозначены степени свободы для относительного движения крайних звеньев)

Таким образом, концептуальное решение, позволяющее достигнуть цели, поставленной перед исследованием, может быть достигнуто созданием тренировочной нагрузки путем замыкания биокинематических цепей тренирующегося между собой или на опору с использованием замыкателя биокинематической цепи в виде рычажно-шарнирного механизма с регулируемым сопротивлением шарниров.

Для эффективного создания тренировочной нагрузки в случае сложных пространственных движений шарниры такой цепи должны обеспечивать несколько степеней свободы для сочлененных в них звеньев и иметь устройство регулировки сопротивления, расположенное в каждом шарнире. При этом устройства регулировки сопротивления должны использовать диссипативные силы, в частности, силы трения, а звенья механизма для удобства использования могут быть снабжены устройствами для взаимодействия со звеньями тела тренирующегося или опорой. Следует отметить и возможность существенного снижения инерционности устройства за счет использования в его механизме легких жестких конструкций, и эффективное рассеивание механической энергии.

Реализация предложенной концепции осуществлена в ходе научно-исследовательских и конструкторских работ, в результате которых были разработаны и выведены на отечественный и зарубежные рынки так называемые «фрикционные тренажеры со многими степенями свободы» [3–7]. Пример типового устройства, в настоящее время выпускаемого серийно, показан на рисунке 5.



Рисунок 5. – Типовой фрикционный тренажер со многими степенями свободы «Бизон-Делюкс»

Высокая педагогическая эффективность разработок была подтверждена в ходе специальных экспериментальных исследований [8–10]. Полученные результаты подтвердили широкие возможности развиваемой тренажерной технологии как в отношении тренировки силы, так и для занятий оздоровительного или реабилитационного характера. На основании проведенных исследований были разработаны методические пособия по использованию фрикционных тренажеров со многими степенями свободы для тренировки борцов, хоккеистов, лиц с ограниченными двигательными возможностями, а также занятий оздоровительной и лечебной физической культурой.

В заключение следует выделить ряд важных практических результатов, полученных в ходе проведенных исследований и имеющих перспективу для дальнейшего развития исследовательских подходов в области педагогической биомеханики. В их числе следует отметить:

- классификацию технических средств физической культуры, созданную на основе учета внутренней биомеханической структуры двигательных действий с введением числовых коэффициентов конструктивной эффективности;
- оригинальную методику определения и цифровой записи позы человека;
- алгоритмы синтеза физических упражнений, включая специальные силовые.

ЛИТЕРАТУРА

1. Назаров, В. Т. Движения спортсмена / В. Т. Назаров. – Минск : Полымя, 1984. – 176 с.
2. Сотский, Н. Б. Поза человека и ее аналитическое представление / Н. Б. Сотский // Вісник Чернігівського національного педагогічного університету ім. Т. Г. Шевченка. Сер. Педагогічні науки. Фізичне виховання та спорт. – Чернігів, 2018. – Вип. 154. – Т. 1. – С. 9–15.
3. Устройство для тренировки мышц : пат. 1556692 РФ : МПК [7] A63B 23/12 / Н. Б. Сотский, Г. П. Вальчук, А. С. Скуратович. – Оpubл. 15.12.1987.
4. Устройство для тренировки мышц : Евразийский пат. 014200 МПК [7] A63B 21/012 / Н. Б. Сотский. – Оpubл. 20.10.2009.
5. Устройство для тренировки мышц : Евразийский пат. 010136 МПК [7] A63B 23/12 / Н. Б. Сотский. – Оpubл. 09.06.2006.
6. Устройство для тренировки мышц : Евразийский пат. 04347 МПК [7] A63B 21/012 / Н. Б. Сотский. – Оpubл. 04.29.2004.
7. Устройство для тренировки мышц туловища : Евразийский пат. 026800 : МПК [7] A63B 21/012 / Н. Б. Сотский. – Оpubл. 05.31.2017.
8. Сотский, Н. Б. Исследование возможностей развития силы рук с использованием фрикционного тренажера «Бизон-1» / Н. Б. Сотский, В. Г. Киселев // Ученые записки : сб. рец. науч. тр. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : М. Е. Кобринский (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУФК, 2001. – Вып. 4. – С. 28–30.
9. Шить, Р. И. Инновационные подходы к развитию силовых способностей у юношей с нейроциркуляторной дистонией с применением тренажеров / Р. И. Шить, В. И. Приходько // Ценности, традиции и новации современного спорта : материалы Междунар. науч. конгр., Минск, 18–20 апр. 2018 г. : в 2 ч. / Белорус. гос. ун-т физ. культуры ; редкол. : С. Б. Репкин (гл. ред.), Т. А. Морозевич-Шилук (гл. ред.) [и др.]. – Минск : БГУФК, 2018. – Ч. 2. – С. 199–200.
10. Хамед Мохамед С. Абдельмажид. Коррекция физического статуса студентов с проявлениями остеохондроза позвоночника средствами физической культуры : автореф. дис. ... канд. пед. наук : 13.00.04 / Хамед Мохамед С. Абдельмажид ; Бел. гос. ун-т физ. культуры. – Минск, 2014. – 27 с.

07.09.2020