

УДК 796.012:796.022+612.76

Сотский Н.Б.

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ СОЗДАНИЯ СИЛОВЫХ ПОЛЕЙ КАК ОСНОВЫ КОНСТРУИРОВАНИЯ СОВРЕМЕННЫХ ТРЕНАЖЕРОВ

Статья посвящена анализу особенностей использования силовых полей, в тренажерных технологиях. На основе качественного биомеханического анализа рассмотрены наиболее часто используемые силовые поля: тяжести, упругости, инерции, трения и вязкого сопротивления. Установлены системные проблемы, возникающие при их использовании в ходе силовой тренировки. Предлагается новая концепция использования силы трения для обеспечения тренировочной нагрузки с применением шарнирно-рычажного имитатора биокинематической цепи человека с регулируемым сопротивлением шарниров

Ключевые слова: силовые поля, тренажерные технологии, фрикционные тренажеры.

Постановка проблемы. Проявление силовых способностей человеком при выполнении им двигательных действий заключается в преодолении или компенсации действия внешних по отношению к его телу сил за счет мышечных усилий [1]. Поскольку при выполнении двигательных действий существуют самые различные ситуации, возможности их силового обеспечения в каждом конкретном случае имеют свои особенности, в зависимости от которых существенно меняется режим работы мышц. В литературе принято рассматривать различные режимы работы мышц, обеспечивающие проявление силы. Это статический и динамический режимы. Первый еще называют изометрическим. Динамический режим в зависимости от величины внешнего усилия может быть преодолевающим или уступающим. В первом случае мышечное усилие превосходит внешнее сопротивление и мышца сокращается. Во втором – наоборот внешняя сила больше проявляемой мышцей и, несмотря на стремление сократиться, она растягивается внешним усилием.

Как видно из приведенных рассуждений, ключевым понятием, характеризующим силовые способности, является сила. Здесь происходит взаимодействие внешних и внутренних сил, обеспечиваемых мышцами человека. В ходе развития силовых способностей важным аспектом является преодоление сопротивления искусственно созданной среды, в результате чего включаются механизмы адаптации [2].

Цель работы. Настоящая работа посвящена исследованию особенностей использования сил различной природы в качестве основы конструирования современных силовых тренажеров. Исследование носит теоретический характер и основной использованный в работе метод относится к качественному биомеханическому анализу [3].

Материал исследования. Основные естественные силы, которые используются или могут быть использованы при конструировании устройств силовой тренировки это – силы тяжести, упругости, сухого и вязкого трения, аэро и гидродинамического сопротивления, инерции. Реже используются силы электромагнитного характера.

Взаимодействие человека с внешними телами происходит через силы, которые могут менять величину и направление действия в зависимости от пространственного расположения точки взаимодействия в пространстве. В связи с этим следует рассматривать понятие силового поля. Особенности образования силовых полей зависят от природы сил, в связи с чем представляется целесообразным рассмотреть основные перечисленные выше силы в плане возможности их использования в качестве основы конструирования спортивных тренажеров.

Сила тяжести. Поле силы тяжести в условиях земного притяжения является консервативным, и работа данной силы определяется только начальным и конечным расположением тела. Эта сила действует вертикально вниз, приложена в центре тяжести (центре масс) тела и ее величина не зависит от расположения данной точки.

При использовании силы тяжести различных грузов в качестве тренировочного сопротивления в ходе развития силы необходимым условием является возможность вертикального перемещения груза, а дозировку усилия можно регулировать, изменяя его массу.

Хотя сила тяжести действует вертикально вниз, в тренажерных технологиях с помощью системы блоков и рычагов можно обеспечить любое направление силы сопротивления в ходе тренировочного занятия.

Поле, образованное силой тяжести вне зависимости от конструктивно обеспечиваемого пространственного направления является линейно ориентированным. В частности, при вертикальном поднятии груза сила, приложенная к нему, направлена вертикально вниз, а при использовании системы блоков – вдоль натягиваемого троса. Если учесть, что в соответствии с понятиями биомеханики физических упражнений [4], любое двигательное действие складывается из ограничений подвижности в одних суставах (элементы осанки) и целенаправленных изменений углов в других (управляющие движения), то данное тренировочное сопротивление линейного пространственного характера является переменным в отношении суставных моментов. Это связано с изменением величины плеча силы сопротивления по мере изменения суставных углов во время выполнения упражнения. Это обстоятельство в значительной мере ограничивает возможности использования рассматриваемой гравитационной нагрузки в ходе выполнения специальных силовых упражнений при соответствующей соревновательному движению полной амплитуде суставных движений. В данном случае силовая нагрузка специального характера может быть достигнута только на ограниченном участке амплитуды суставных движений.

В тренажерных технологиях обеспечение приблизительно постоянного момента силы сопротивления относительно определенных суставов тела человека, достигается использованием специальных конструктивных элементов, например, рычагов определенной формы, что ограничивает возможности учета специфичности нагрузки.

Другой важной проблемой, связанной с пространственной линейностью действия силы тяжести является невозможность обеспечения тренировочной нагрузкой движения, требующего использования одновременно нескольких пространственных степеней свободы опорно-двигательного аппарата. Это обстоятельство позволяет развивать силу только в случае выделения фрагментов двигательного действия, что приводит к нарушению координации работы мышц при переходе к реальному исполнению.

Важной проблемой является и практическое отсутствие возможности учета инерционных сил, возникающих при ускоренном перемещении массы нагрузочного элемента. Здесь к силе преодолеваемой силе тяжести добавляется сила инерционного взаимодействия. Реальная нагрузка поднимаемой массы может быть выражена формулой (1):

$$F = mg - ma \quad (1)$$

где F – сила, обеспечиваемая тренирующимся, m – масса нагрузочного элемент ag – ускорение свободного падения, a – вертикальное ускорение нагрузочного элемента.

В зависимости от ускорения груза преодолеваемая сила может составлять 100 и более процентов от гравитационной нагрузки [5]. Инерционная часть силовой нагрузки на данном этапе развития технологий объективно не контролируется и поэтому в значительной мере затрудняет ее дозировку.

При использовании гравитационной нагрузки также возникает очевидная сложность рассеивания энергии, циркулирующей в ходе выполнения силовых упражнений. Это связано с необходимостью возврата нагрузочного элемента в исходное положение при выполнении серии упражнений.

Следует также отметить, что при использовании стационарных конструкций тренажеров, использующих гравитационные силы, возникает проблема исключения из упражнения элементов осанки. Так, жесткая механическая система современных силовых тренажеров, как правило, выделяет для обеспечения одну степень свободы, например, для плоского движения. В то же время мышцы, работающие статически и обеспечивающие плоскость движения, исключаются из тренировки. За них работает конструкция, жестко выделяющая необходимое движение. Это обстоятельство в значительной мере нарушает естественную координацию работы мышц и существенно снижает эффективность упражнения, если рассматривать его как специальное относительно соревновательного упражнения.

Плюсами использования силы тяжести в качестве тренировочного сопротивления в ходе развития силы являются простая регулировка усилия, отсутствие зависимости усилия от амплитуды движения и относительную простоту конструкций тренажерных устройств.

Инерционные силы. Инерционные силы действуют на тела при ускоренном перемещении системы отсчета. Наиболее наглядная ситуация возникает при горизонтальном перемещении массивного тела, например, спортивного ядра при метании. Кисть спортсмена вместе со снарядом имеет поступательное ускорение, считается, что на ядро в системе отсчета связанной с кистью действует сила инерции, определяемая произведением массы снаряда на ускорение системы. Эта сила компенсируется взаимодействием с кистью и преодолевается телом спортсмена, что используется в качестве тренировочной нагрузки.

Если же рассматривать суставное движение, которое является вращательным относительно оси сустава, четыре силы инерции, в соответствии с формулой (2) образуют три момента (кроме центробежной силы, линия действия которой проходит через ось сустава). Это моменты, связанные с поступательным и вращательным ускорением одного из звеньев, из сочлененных в суставе и условно принятого в качестве системы отсчета[6]. Кроме этого момент образует и инерционная сила Кориолиса, связанная с перемещением других звеньев относительно рассматриваемой системы.

$$\vec{F}_{ин} = -m\vec{W} + m(\vec{\Omega} \times \vec{R}) + 2m(\vec{V} \times \vec{\Omega}) + m(\vec{\Omega} \times (\vec{R} \times \vec{\Omega})), \quad (2)$$

где \vec{R} – радиус-вектор центра масс биокинематической цепи сочлененной в суставе со звеном, с которым связана система отсчета, $\vec{\Omega}$ – угловая скорость указанной системы отсчета, \vec{W} – линейное ускорение этой системы отсчета, \vec{V} – линейная скорость центра масс рассматриваемой биокинематической цепи относительно данной системы отсчета, $m\vec{W}$ – сила инерции, связанная с линейным ускорением системы отсчета, $m(\vec{\Omega} \times \vec{R})$ – сила инерции, обусловленная неравномерностью вращения системы отсчета, $2m(\vec{V} \times \vec{\Omega})$ – сила Кориолиса, $m(\vec{\Omega} \times (\vec{R} \times \vec{\Omega}))$ – центробежная сила.

Как видно из приведенной формулы, определение инерционных сил и, соответственно, их контроль и дозировку представляет значительную сложность. По-видимому, в связи с этим основные тренажеры специальной силовой тренировки, использующие в качестве сопротивления инерционные силы, по пространственному построению приспособляются к соревновательным упражнениям и, как правило, представляют собой имитацию их элементов. В отношении использования в качестве нагрузки свободных весов можно еще раз обратиться к описанным выше особенностям проявления инерционных сил при использовании массивных грузов в ходе гравитационной тренировки.

Сила упругости. При использовании для обеспечения тренировочного сопротивления сил упругости имеются свои особенности. В первую очередь это зависимость данной силы от величины деформации упругого элемента. Здесь действует закон Гука (3):

$$F = -k\Delta l \quad (3)$$

где F – сила, k – коэффициент упругости, Δl – величина деформации.

При использовании силы упругости для обеспечения сопротивления, преодолеваемого в ходе силовой тренировки следует учесть, что максимальное значение данной силы приходится на конечное положение выполняемого движения и чтобы уменьшить этот часто нежелательный эффект приходится использовать упругий элемент значительной длины, что часто неудобно особенно при использовании такого приема при конструировании тренажеров. Кроме этого, рассматривая возможность использования поля силы упругости для организации специальной силовой тренировки, следует заметить, что в физических упражнениях максимум развиваемого спортсменом усилия приходится на начало движения, а не на его конечную часть, что связано с физиологическими особенностями работы мышц.

Другой особенностью использования линейных упругих элементов представляется аналогичная рассмотренной в отношении силы тяжести пространственная одномерность (линейность) силы упругости, которая направлена вдоль линейного деформируемого элемента. Если же рассматривать упругие элементы, работающие на сгиб или кручение, ситуация оказывается аналогичной, только здесь в виду имеется в виду одномерность момента силы сопротивления.

При использовании объемных упругих элементов возможно создание пространственного поля силы упругости, например, выполняя упражнение по растягиванию толстого упругого цилиндра при одновременном скручивании его относительно его продольной оси. Однако, такое силовое поле очень сложно контролировать из за различной относительной деформации упругого элемента в различных направлениях.

Как и в случае использования силы тяжести, сила упругости требует рассеивания энергии, накапливаемой упругим элементом, что также снижает возможности использования тренажеров такого типа в качестве средств специальной силовой тренировки. Тем не менее, если рассматривать поле сил упругости в качестве средства силовой тренировки общего характера, следует отметить и несомненные его достоинства. Это относительная простота и малая материальная емкость тренажеров использующих для создания тренировочного сопротивления силы упругости.

Диссипативные силы. К таким силам относятся силы вязкого сопротивления и трения. При использовании в качестве тренировочного сопротивления сил вязкости тренировочное устройство или тренажер включает в себя силовой узел, в котором происходит либо перекачка жидкости из одной части гидроцилиндра в другую через регулируемое по величине отверстие в поршне, либо вращение лопастей, находящихся в жидкой либо газообразной вязкой среде. Усилие сопротивления зависит от вязких свойств среды и ее плотности, площади отверстия или лопасти, формы последней, но сильнее всего от скорости поршня или лопасти относительно потока среды. При этом последняя зависимость имеет квадратичный характер [7] (4).

$$F_{comp} = CS\rho V^2 \quad (4)$$

где C – коэффициент, зависящий от формы лопасти, S – площадь ее сечения перпендикулярного потоку, ρ – плотность среды, V – скорость.

Важным свойством диссипативных сил является эффективное поглощение энергии, что позволяет не заботиться о ее рассеивании при выполнении тренировочных упражнений. Однако, использование силового поля сил вязкого сопротивления для создания тренировочной нагрузки не всегда отвечает принципу динамического соответствия [8]. Зависимость сопротивления от скорости и свойств среды имеет хорошее совпадение с усилиями, развиваемыми в соревновательных упражнениях, для водных видов спорта (плавание, гребля). Для других видов спорта, особенно требующих проявления усилий скоростно-силового характера, нагрузка, создаваемая устройствами, использующими вязкое сопротивление, является неспецифической и может использоваться как общее средство силовой тренировки.

Конструкция силовых узлов, использующих силы вязкого сопротивления, как правило, имеет линейный характер, что, как и в рассмотренных выше случаях, приводит к существенным ограничениям в отношении нагрузки пространственных движений человека, для которых характерно использование одновременно нескольких степеней свободы опорно-двигательного аппарата.

Использование сухого трения до настоящего времени имело ограниченный характер, несмотря на весьма интересные свойства этой силы, к числу которых относятся слабая зависимость от скорости относительного перемещения трущихся поверхностей и практическое отсутствие зависимости от его величины. Величина силы трения выражается классической формулой (5).

$$F_{tp} = kN \quad (5)$$

где k – коэффициент трения, зависящий от природы взаимодействующих поверхностей, а N – сила нормального давления, прижимающая трущиеся поверхности.

Для использования силы трения характерно эффективное поглощение энергии, что является полезным при выполнении серии упражнений. Следует отметить и наличие пикового усилия в начале движения в момент перехода от трения покоя к трению скольжения. Это может быть использовано при подборе специального силового режима, в котором, как указывалось выше, максимум сопротивления приходится на начало движения.

Характерным примером использования силы трения являются различного типа велоэргометры и велотренажеры. Здесь сила трения используется для создания нагрузки для одной вращательной степени свободы (вращение педалей), что в значительной мере ограничивает возможности использования устройств такого типа в ходе силовой тренировки.

Перспективным направлением в области тренажеров, использующих силу трения, явилась выдвинутая нами концепция фрикционных тренажеров со многими степенями свободы [9]. Идея таких тренажеров состоит в использовании замыкания биокинематических цепей человека между собой или на опору посредством имитатора такой цепи. Такой имитатор представляет собой шарнирно-рычажную систему, шарниры которой имеют регулировку усилия сопротивления изменению углов в ее сочленениях.

Такая система может иметь значительное количество степеней свободы, что позволяет создать регулируемое поле диссипативных сил, обеспечивающих сопротивление любому сложному пространственному движению человека и тем самым обеспечить его силовую тренировку. Использование фрикционных тренажеров со многими степенями свободы позволяет решить ряд системных проблем, присущих традиционным тренажерным системам. Это снижение неконтролируемых инерционных сил за счет существенного уменьшения массы конструкции тренажера, что может быть достигнуто использованием трубчатых конструкций из композитных материалов. Другим несомненным плюсом данного подхода является свойственное всем тренажерам, использующим диссипативные силы, эффективное рассеивание энергии, циркулирующей в ходе выполнения упражнений. Самым же главным положительным свойством тренажерных систем, сконструированных по предложенной концепции, является возможность обеспечения тренировочной нагрузкой силового характера одновременно нескольких пространственных степеней свободы опорно-двигательного аппарата, что может соответствовать практически любым соревновательным движениям и быть прекрасным средством специальной силовой тренировки.

Выводы и дальнейшая перспектива исследования. Таким образом, новая тренажерная технология, основанная на концепции построения силовых тренажеров с использованием фрикционных сил в шарнирно-рычажной системе со многими степенями свободы, позволяет успешно решать задачи создания пространственного поля сил тренировочного сопротивления практически для любых сложных пространственных движений человека, сводя к минимуму проблемы инерционности и рассеивания механической энергии.

Дальнейшее развитие данной темы в рамках концепции фрикционных тренажеров со многими степенями свободы имеет хорошие перспективы, как в отношении спорта, так и для оздоровления, поскольку такие фрикционные устройства могут обеспечивать пространственное поле сил, позволяющее проводить тренировку мышц с учетом координации их работы для самых различных спортивных и жизненных ситуаций.

Использованные источники

1. Заціорскі В.М. Фізическія якасці спартсмена: асновы тэорыі і метадзікі выхавання / В.М. Заціорскі. 3-е изд. – М.: Советскі спорт, 2009. – 200 с.
2. Ратов, І.П. Двільгательныя магчымасці чалавека (нетрадыцыйныя метады іх развіцця і востановлення) / І.П. Ратов. – Мінск, 1994. – 190 с.
3. Коренберг, В.Б. Асновы якасценнага біомеханічнага аналізу / В.Б. Коренберг. – М.: ФіС, 1979. – 208 с.
4. Сотскі, Н. Б. Біомеханіка : учеб. для студэнтаў спецыяльнасці спорт.-пед. дзейнасць / Н.Б. Сотскі ; Беларус. гос. ун-т фіз. культуры. – Мінск : БГУФК, 2005. – 192 с.
5. Якубовіч, С. К. Інерцыйныя сілы як важнейшы аспект дозіравання сілавой трэніроўкі / С.К. Якубовіч, Н. Б. Сотскі // Б'юлетэнь прашыраўся ад святла на навуку – 2012 : матэрыялы за VIII Міжнародна навучна практычна канферэнцыя, Софія, 17–25 снежня, 2012. – Том 38. Фізіка. Фізікакультура і спорт / "Б'ял ГРАД-БГ" ООД ; ред. М. Т. Петков. – Софія : "Б'ял ГРАД-БГ" ООД, 2012. – Т. 38. – С. 61–65. (Перспектыўныя пытанні сусветнай навукі).
6. Ландау Л.Д., Лифшиц Е.М. Тэарэтычная фізіка: Учеб.посабіе: – В 10 т. – 4-е изд., исп. – М.: Наука. – Т.1.: Механіка. – 1988. – 216 с.
7. Хайкін, С.Э. Фізическія асновы механікі / С.Э.Хайкін. – М.: Наука, 1971. – 751 с.
8. Верхошанскі, Ю.В. Асновы спецыяльнай фізічнай падрыхтоўкі спартсменаў / Ю.В. Верхошанскі. – М.: Фізкультура і спорт, 1988. – 330 с.
9. Сотскі Н.Б. О канцэпцыі фрыкцыйных трэнажэраў са многімі ступенямі свабоды // Матэрыялы. Тэхналогіі. Інструменты. – 2014, Т. 19, № 4. – С. 18-23

Sotsky N.

**PECULIARITIES OF CREATING FORCE FIELDS AS THE BASIS
FOR DESIGNING MODERN EXERCISERS**

This article analyzes the features of using force fields, in exerciser-based training technologies. Such most commonly used force fields as gravity, elasticity, inertia, viscous drag and friction were considered on the basis of qualitative biomechanical analysis. System problems occurring when using them during strength training were determined. The main system problem is the spatial linearity of the major forces, not allowing to load the muscles which provide movements, and requiring the simultaneous use of multiple degrees of freedom of the musculoskeletal system. Other important issues outlined in the article are uncontrollable inertia of the weights to be propelled during the training practice and the need for energy dispersion. The paper proposes a new concept of using the frictional force to ensure the training load using the toggle simulator of human biokinematic chain with adjustable resistance of hinges, each of them having several degrees of freedom. The use of such approach made it possible for the first time to create spatial friction based force field that allows providing a training load for the muscles that are responsible for motor actions that include sophisticated simultaneous movements corresponding to several degrees of freedom of the musculoskeletal system. Proposed within this concept approach allows to create a new generation of devices for power, rehabilitation and recreational exercise that represent friction simulators with many degrees of freedom.

Key words: force fields, training technologies, friction simulators.

Стаття надійшла до редакції 16.09.2016