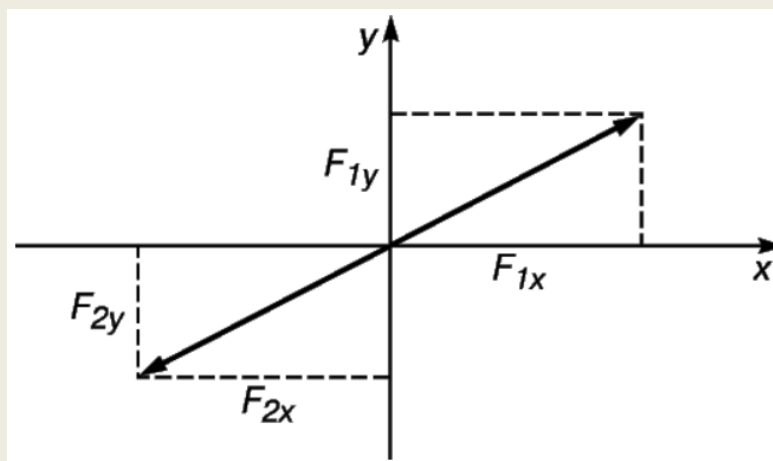




## **Понятие управляющих сил и моментов сил**

Лектор – Крисевич Татьяна Олеговна,  
старший преподаватель кафедры общей  
биологии и ботаники БГПУ им. М. Танка

**Стáтика** (от греч.στατός, «неподвижный») — раздел механики, в котором изучаются условия равновесия механических систем под действием приложенных к ним сил и моментов.



**Силой называется мера воздействия  
одного физического тела на другое  
(мера взаимодействия).**





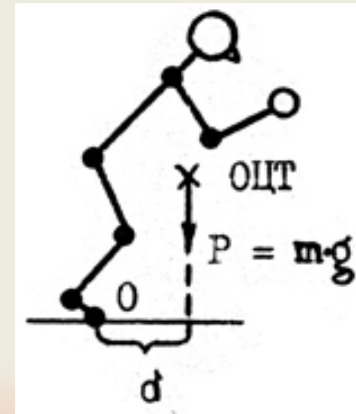
**Меру вращающего действия силы на физическое тело называют моментом силы.**

Этимология термина «**момент**» в выражении момент силы и в ряде других вращательных характеристик происходит от лат. **momentum – движущая сила, толчок.**

Для твердого тела численное значение момента силы « $M$ » определяется произведением величины силы (модуля) « $F$ » на плечо « $d$ ».

$$M = Fd.$$

**Плечом силы** является кратчайшее расстояние от оси вращения до линии действия силы.



# Динамические характеристики

силовые

сила

момент силы

импульс силы

импульс момента  
силы

количество движения

момент количества  
движения

инерционные

масса

момент  
инерции

энергетические

работа силы

работа момента  
силы

мощность

энергия

кинетическая

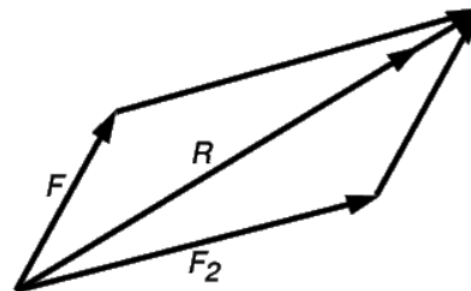
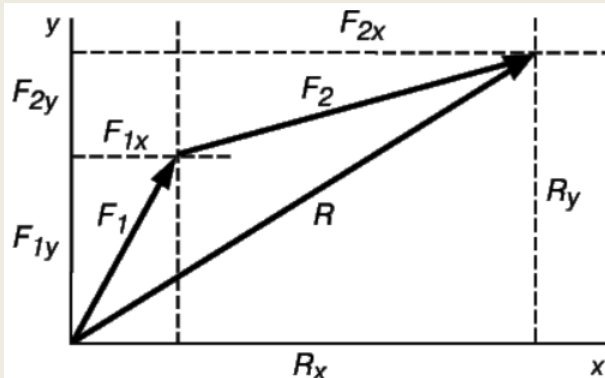
потенциальная



# Основные законы статики

## 1. Параллелограмм сил.

Симон Стéвин



Gilles Personne <sup>a</sup> de Roberval



Сила  $R$  воспроизводит суммарное действие сил  $F_1$  и  $F_2$  в том смысле, что если удалить силы  $F_1$  и  $F_2$ , заменив их силой  $R$ , то материальная точка по-прежнему останется в равновесии.



# Основные законы статики

## 2. Теорема о перенесении сил, приложенных к твёрдому телу.

Всякое материальное тело можно представить состоящим из материальных точек. Материальное тело, в котором расстояния между любыми двумя точками остаются постоянными во всё время движения, называется абсолютно твёрдым телом.

Силы, приложенные к твёрдому телу, можно перемещать вдоль линий их действия.



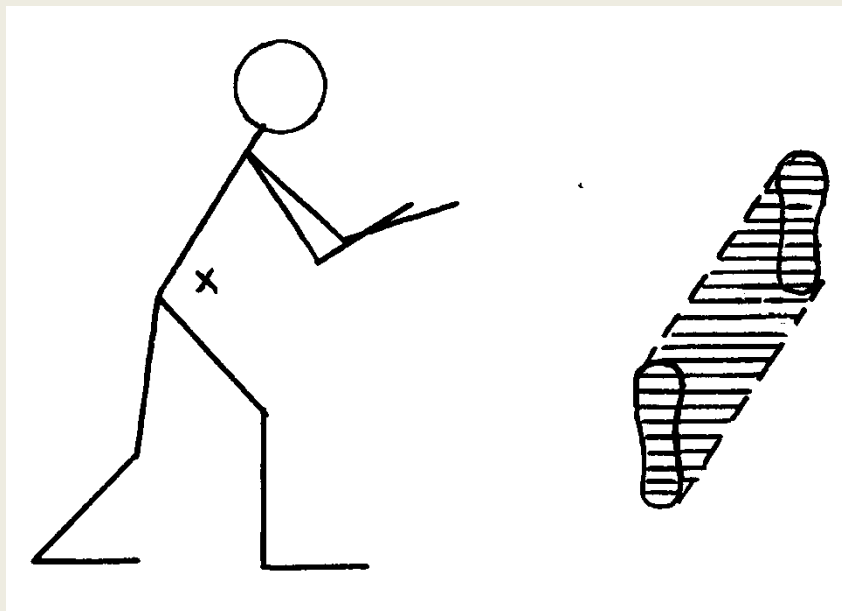


# Для абсолютно твёрдого тела характерны следующие виды движения:



- поступательное, когда все точки имеют одинаковые траектории перемещения;
- вращательное, когда движение происходит вокруг оси вращения;
- сложное, когда движение состоит из двух и более простых движений; например, тело может совершать вращательное движение, а ось вращения может двигаться тем временем поступательно.

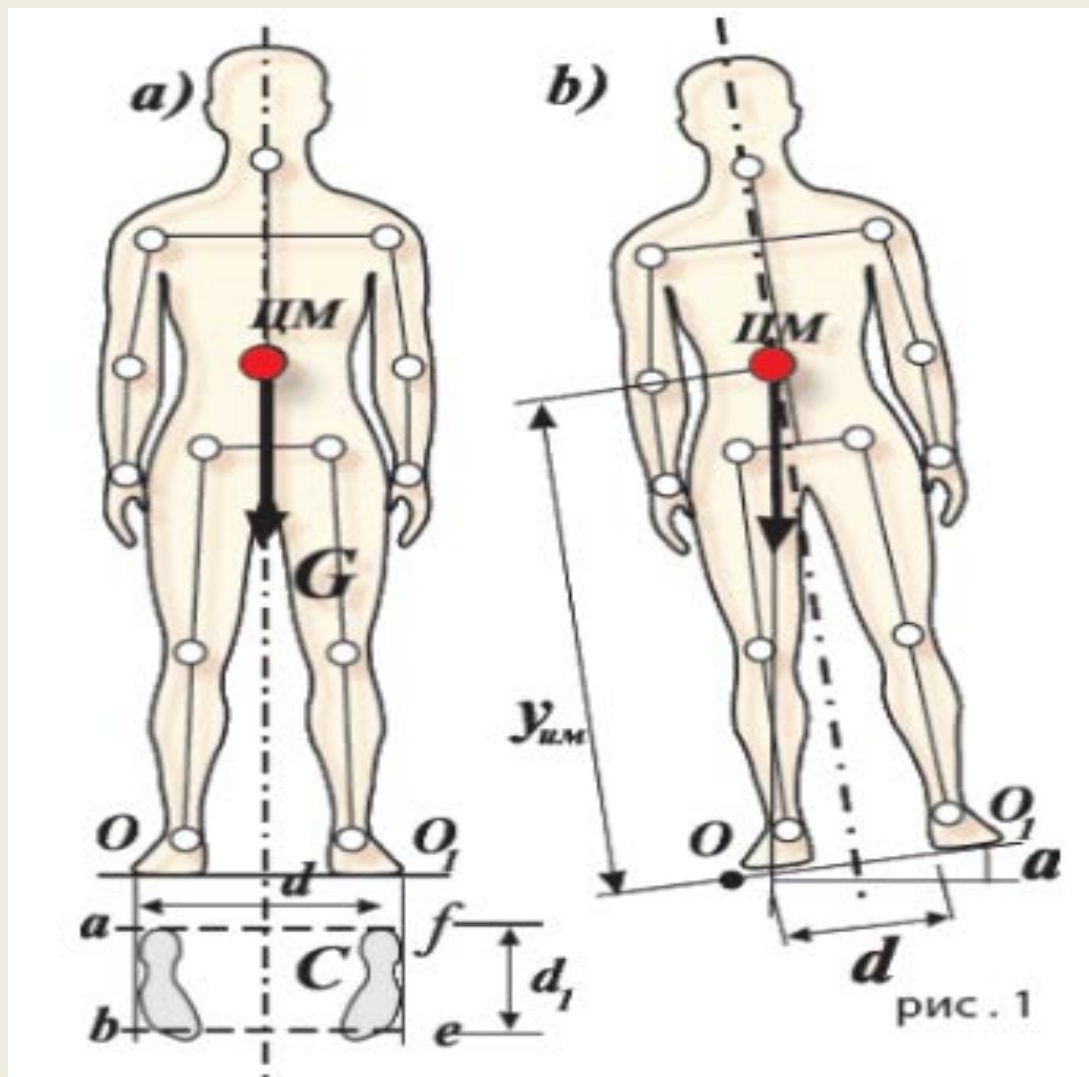
Для оценки устойчивости тела, находящегося в контакте с опорой, вводится понятие площади опоры. Это площадь, ограниченная крайними точками тела, соприкасающимися с поверхностью опоры.



# Центром масс



**называется точка, где пересекаются линии действия всех сил, не вызывающих вращение тела. В поле тяготения центр масс совпадает с центром тяжести. Положение общего центра масс тела определяется там, где находятся центры масс отдельных звеньев. Для человека это зависит от его позы, т.е. пространственного положения элементов тела.**





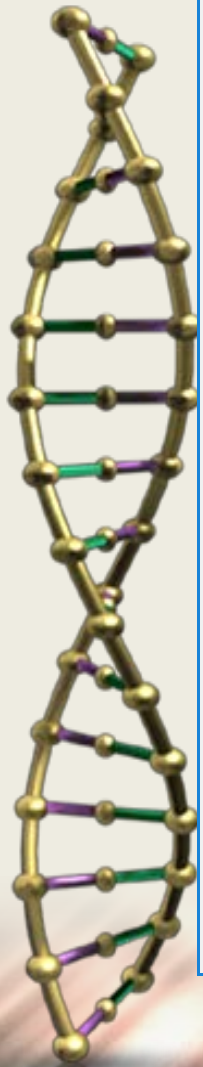
**В человеческом теле около 70 звеньев,  
но для биомеханического  
моделирования чаще всего достаточно  
15-звенной модели человеческого тела  
(например, голова, бедро, стопа, кисть  
и т.д.).**

Настройки

Пропорции и вес

Названия и Цвет

оверх остальных

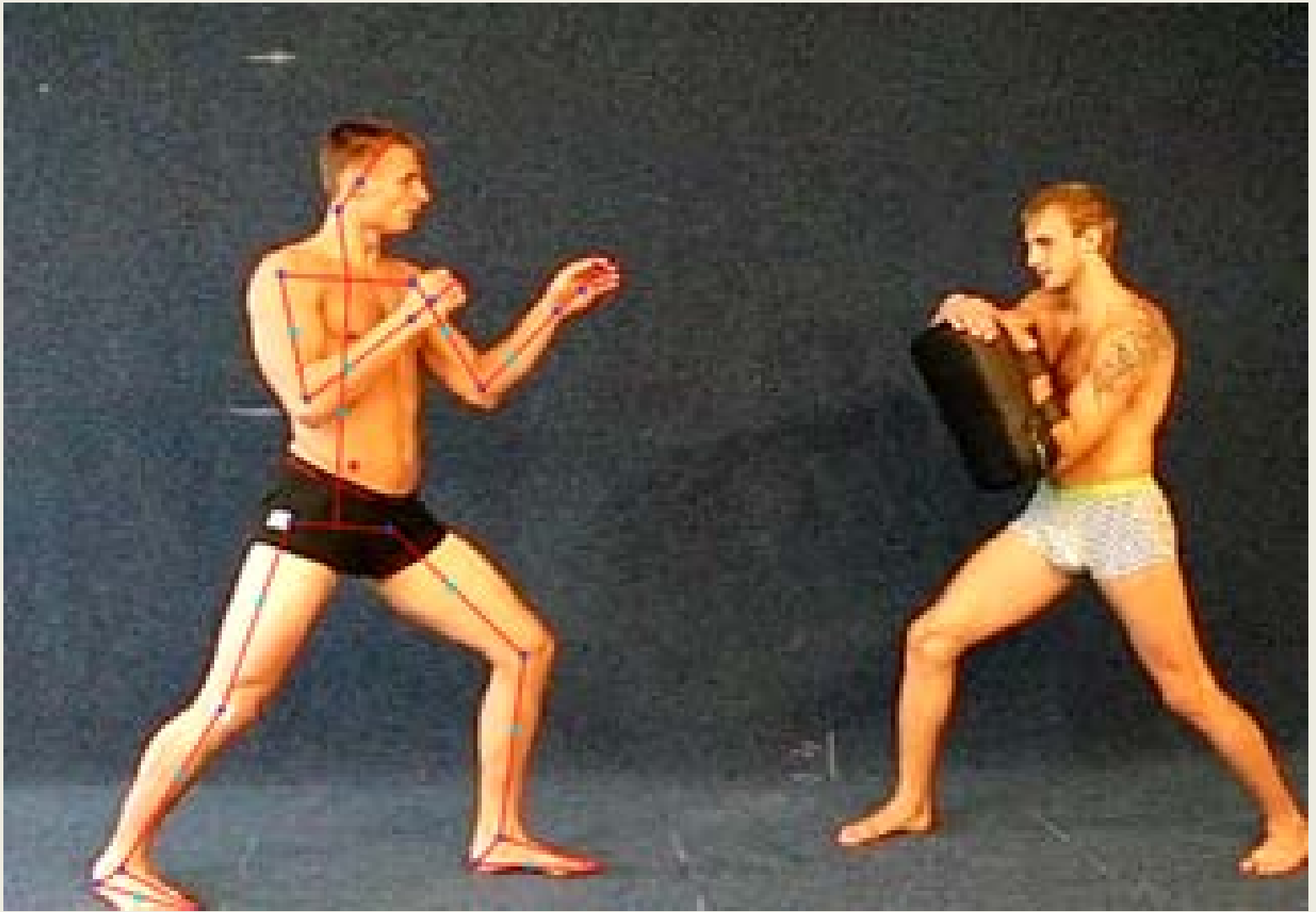


	Относительный вес %
Голова	7
Туловище	43
Плечо правое	3
Плечо левое	3
Предплечье пр	2
Предплечье лев	2
Кисть правая	1
Кисть левая	1
Бедро правое	12
Бедро левое	12
Голень правая	5
Голень левая	5
Стопа правая	2
Стопа левая	2

Вес в Н

- ЦТ головы
- Атл-зат сус
- Правый пл сус
- Левый пл сус
- Прав лок сус
- Лев лок сус
- Пр луч-зап сус
- Лев луч-зав сус
- ЦТ пр кисти
- ЦТ лев кисти
- Пр тзбс
- Лев тзбс
- Прав КС
- Лев КС
- Пр ГС
- Лев ГС
- Пр пятка
- Лев пятка
- Пр носок
- Лев носок

 Закрыть



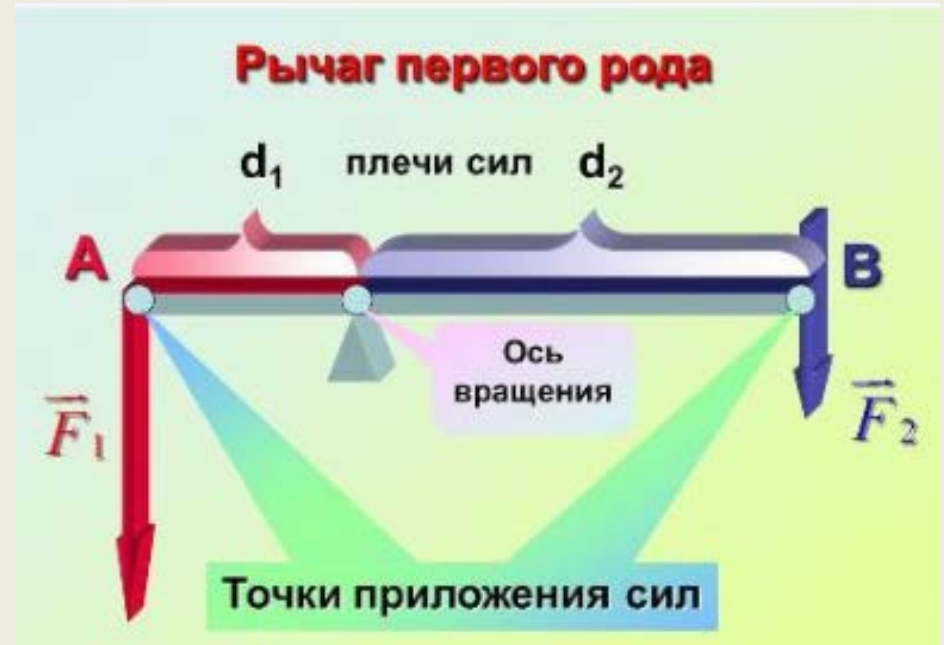
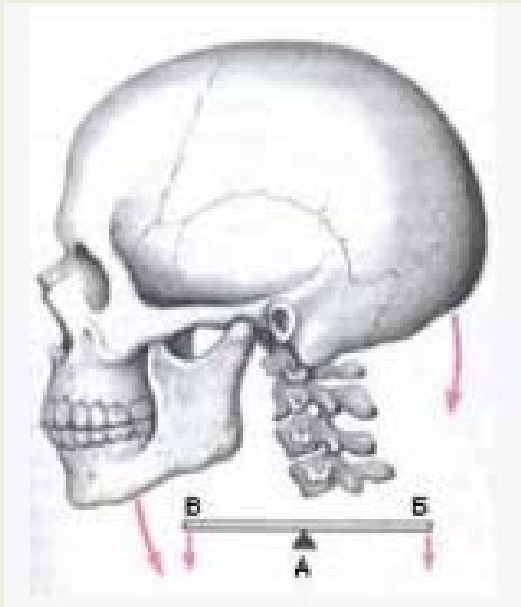
**Разбиение тела человека на звенья позволяет представить эти звенья как механические рычаги и маятники, потому что все эти звенья имеют точки соединения, которые можно рассматривать либо как точки опоры (для рычага), либо как точки отвеса (для маятника).**

**Рычаг характеризуется расстоянием между точкой приложения силы и точкой вращения. Рычаги бывают первого и второго рода.**





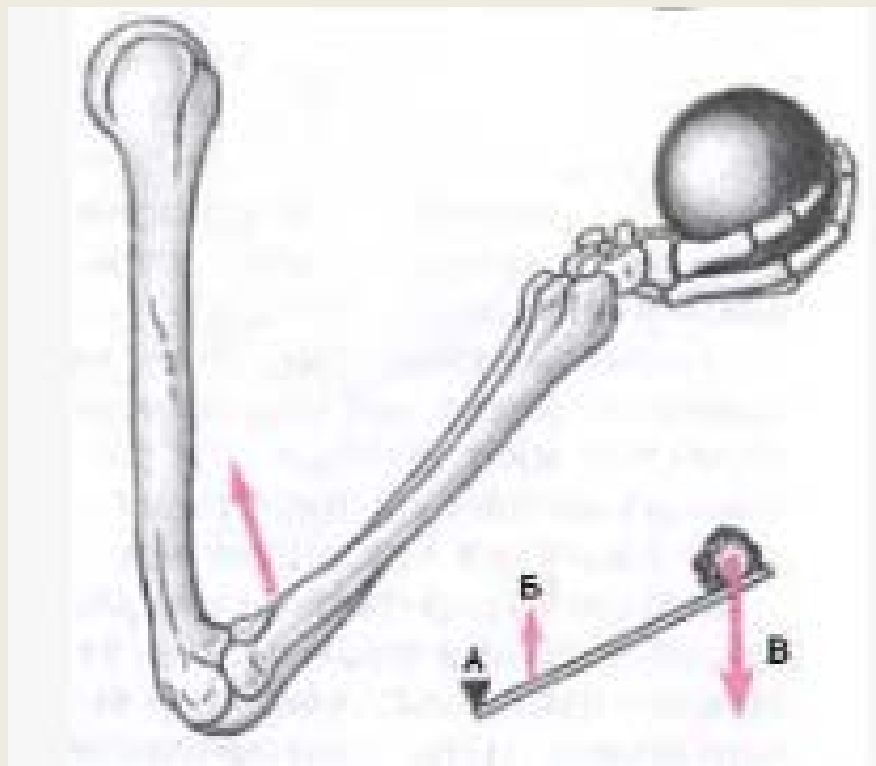
Рычаг первого рода или рычаг равновесия состоит только из одного звена. Пример – крепление черепа к позвоночнику.



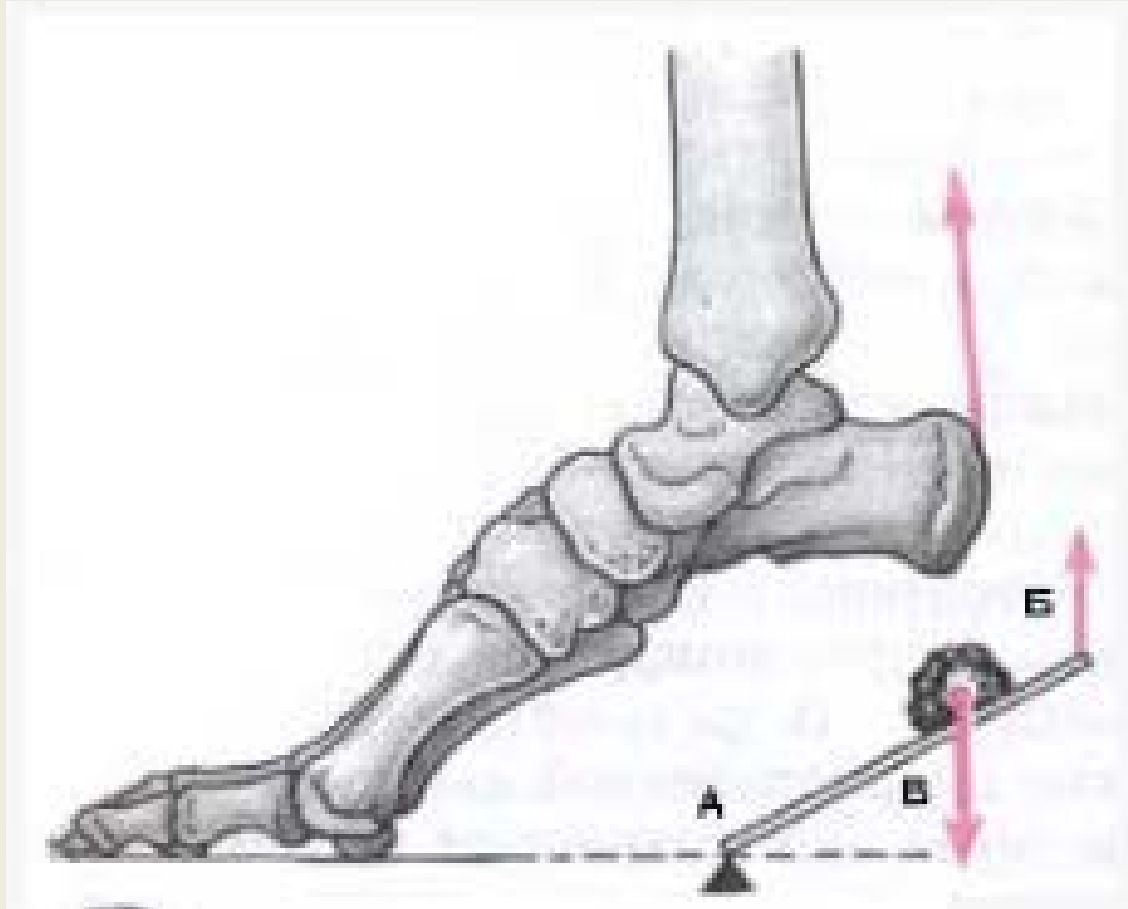
Рычаг второго рода характеризуется наличием двух звеньев. Условно можно выделить рычаг скорости и рычаг силы в зависимости от того, что преобладает в их действиях.



**Рычаг скорости дает выигрыш в скорости при совершенствовании работы. Пример – локтевой сустав с грузом на ладони.**



**Рычаг силы дает выигрыш в силе. Пример – стопа на пальцах.**



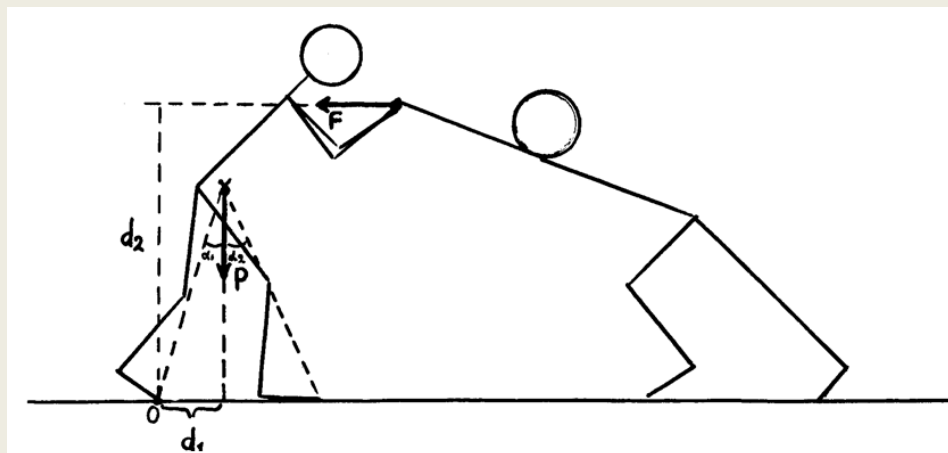


Рассмотрим более подробно некоторые характеристики, которые позволяют оценивать способность тел сохранять равновесие. Такими характеристиками являются коэффициент устойчивости и угол устойчивости.



**Коэффициент устойчивости**  
определяется отношением момента  
силы тяжести, возвращающей  
отклоняемое тело в исходное  
положение, к моменту силы,  
выводящей тело из состояния  
равновесия.

В условиях ограниченно-устойчивого положения тела спортсмена **возвращающей силой** будет сила тяжести ( $mg$ ), а **отклоняющей** – сила действия со стороны соперника ( $F$ ).



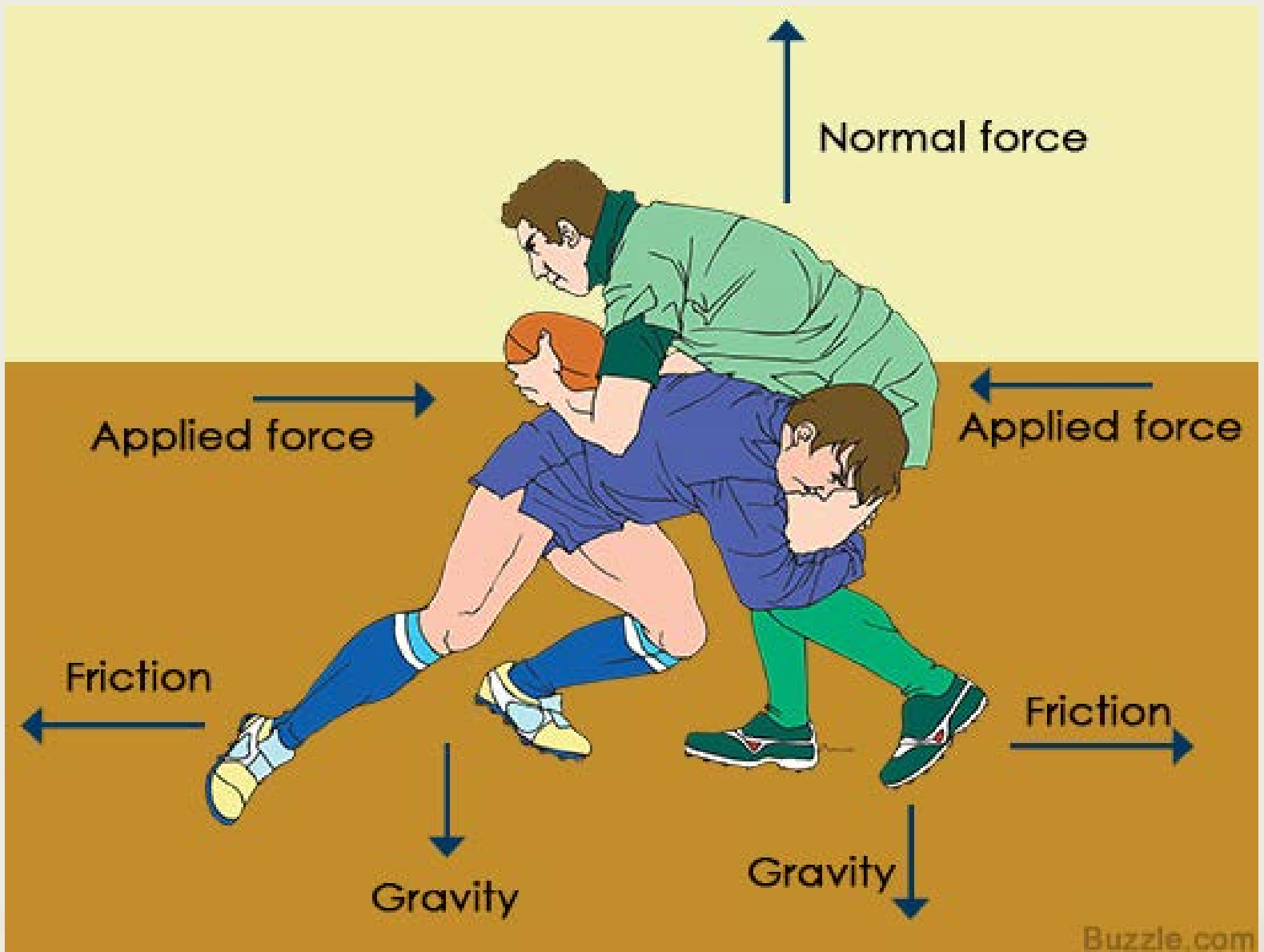
Если учесть, что опрокидывание тела будет происходить относительно оси, проходящей через крайнюю точку контакта с опорой (O), для представленного примера коэффициент устойчивости определяется по формуле:

$$K_{уст} = M_{уст} / M_{откл} = mgd_1 / Fd_2$$

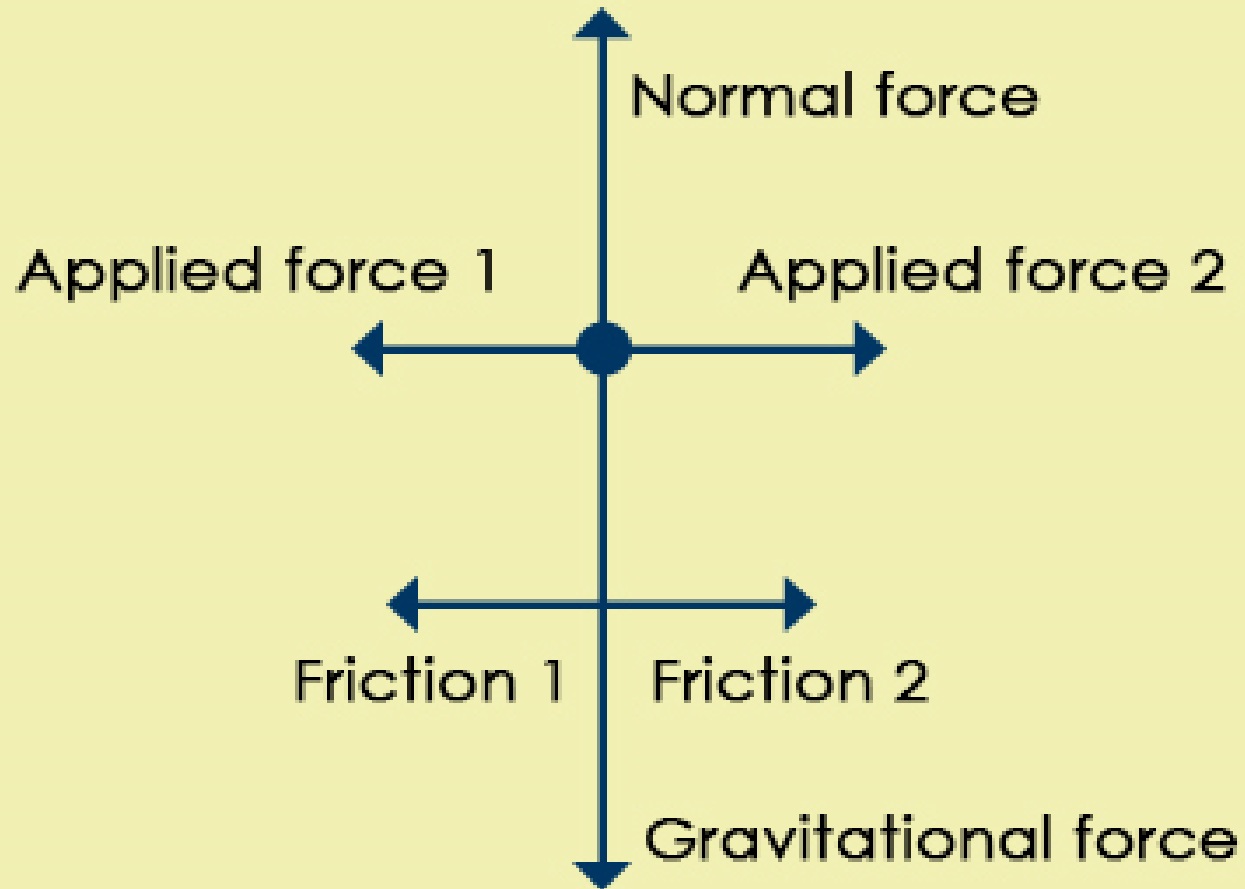
где  $d_1$  и  $d_2$  – соответственно плечи силы тяжести и опрокидывающей силы (F) относительно оси, проходящей через точку опрокидывания (O).







# FREE BODY DIAGRAM





**Тело сохраняет устойчивое положение, если величина коэффициента устойчивости больше или равна единице. При снижении данного показателя до значения меньше единицы тело будет опрокидываться.**



**Угол устойчивости – это угол, образованный вертикалью и линией, соединяющей ОЦТ с граничной точкой опоры, относительно которой возможно опрокидывание тела. Этот угол обозначен на рисунке как  $\alpha_1$  – в направлении "назад" и  $\alpha_2$  – в направлении "вперед".**

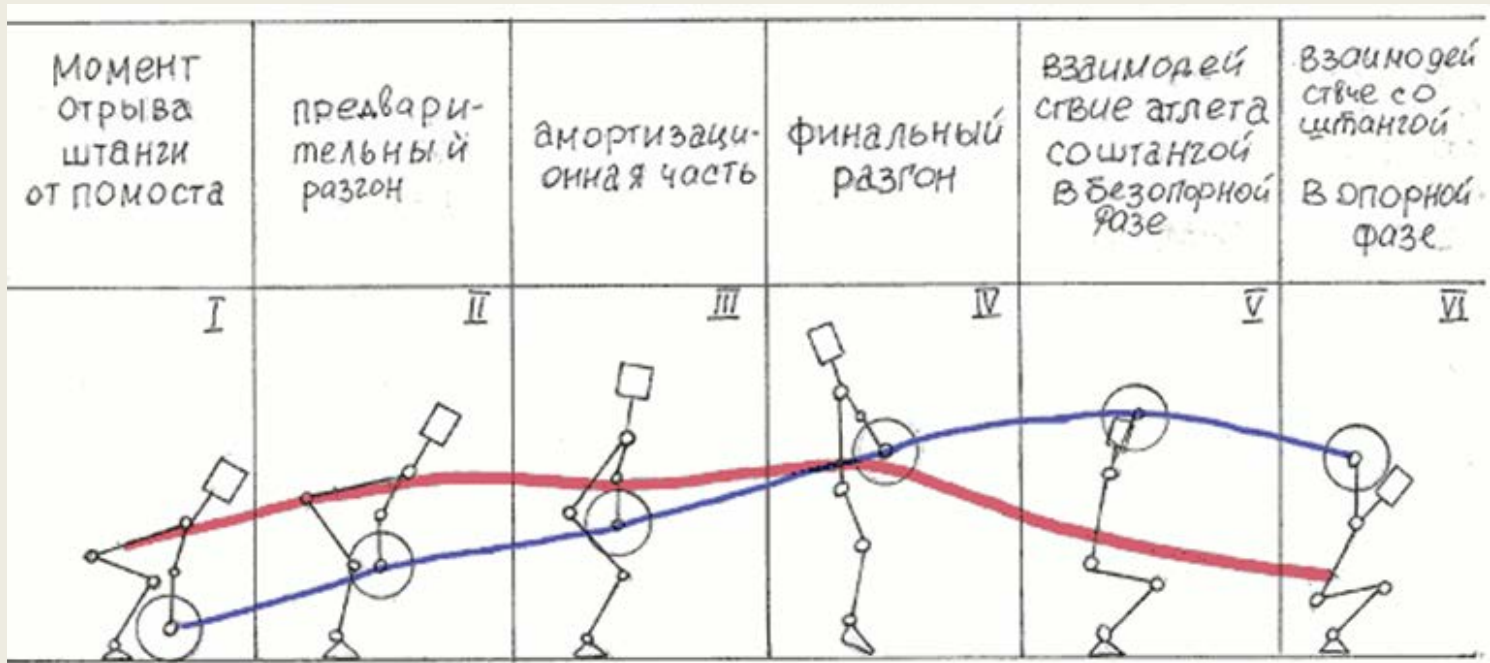


**Последняя характеристика позволяет оценить способность тела сопротивляться опрокидыванию вне зависимости от величины силы, стремящейся к этому. Так, чем большее значение имеет данный угол, тем более устойчивым является тело.**



**Исходя из оценки угла устойчивости, можно сделать заключение о влиянии высоты расположения ОЦТ тела на его устойчивость по отношению к опрокидыванию. Так, тело будет тем устойчивее, чем ниже расположен его ОЦТ.**

# Тело будет тем устойчивее, чем ниже расположен его ОЦТ.



# Виды равновесия

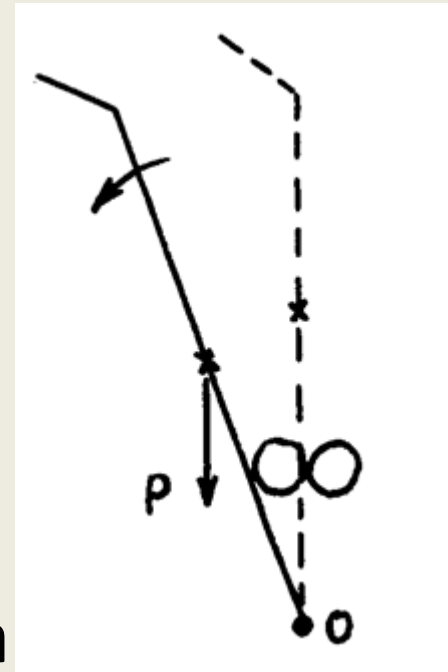
Положение, в котором тело может находиться без движения, называется положением равновесия. Последнее может иметь более или менее стабильный характер. Обычно в механике рассматривают три вида равновесия – устойчивое, неустойчивое и безразличное.







**В случае неустойчивого равновесия при отклонении тела от положения равновесия возникают силы, стремящиеся отклонить тело еще больше. Такая ситуация наблюдается, если спортсмен находится в равновесии, выполняя стойку на руках на перекладине .**

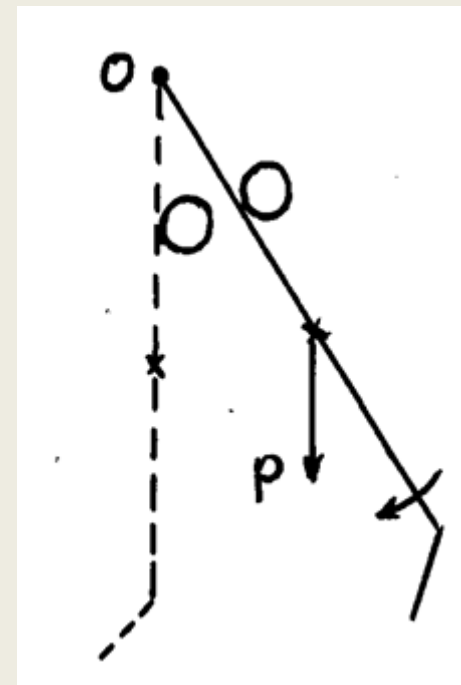




**Незначительное отклонение тела в любом направлении в данном случае приводит к образованию момента силы тяжести, отклоняющего тело еще дальше от положения равновесия.**

Если при отклонении от положения равновесия возникают силы, стремящиеся вернуть тело в исходное состояние, такое равновесие называется устойчивым.

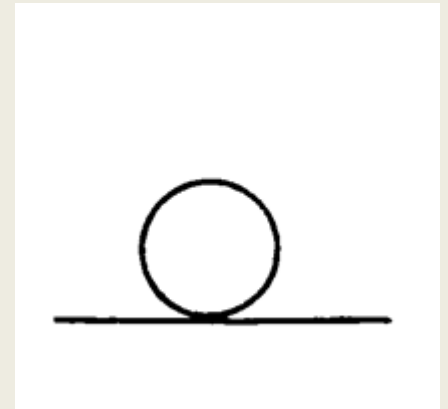
Примером такого равновесия является положение спортсмена, висящего на перекладине



Здесь при отклонении тела от положения равновесия в любом направлении возникает момент силы тяжести, возвращающий тело в исходное положение.



Третий вид равновесия называется безразличным. Такое равновесие чаще всего наблюдается для тел сферической формы, например, для ядра или мяча. Его особенность проявляется в отсутствии каких-либо сил, отклоняющих или возвращающих тело в положение равновесия.



# Силы, действующие на тело

естественные

Управляющие силы

гравитационные силы

сила упругости

сила сопротивления

сила трения

покоя

скольжения

качения

Составляют основу  
двигательной активности  
человека.



Управляющие силы возникают в результате выполняемых спортсменом суставных движений, проявления двигательной активности.

Анализируя физическое упражнение, следует учитывать, что движение спортсмена является **результатом одновременного действия естественных и управляющих сил**. Поэтому информация об указанных силах очень важна при оценке эффективности выполняемых двигательных действий.



**Для определения управляющих сил необходима информация:**

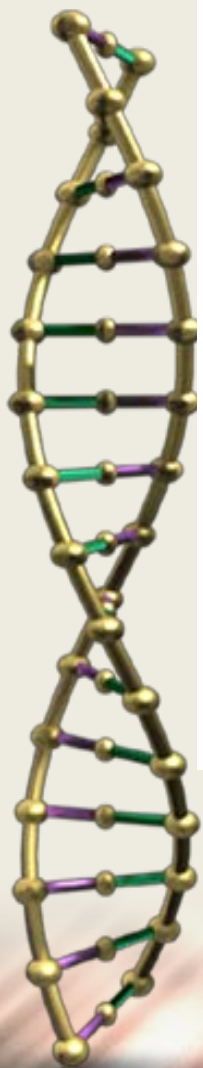
- об ускорении ОЦТ тела спортсмена;
- о массе тела;
- о естественных силах, действующих на тело (в частности, о силе тяжести и силе реакции опоры) при движении в отсутствие суставных движений (неизменная поза).







# Программа положения тела



**Управляющие силы** определяются путем вычитания естественных сил из результирующей внешней силы, действующей на тело и определяемой по ускорению ОЦТ.

Как правило, при взаимодействии тела изменяют не только **поступательные** характеристики движения, но и **вращательные**. Для количественной оценки вращательного воздействия тел друг на друга в биомеханике используется понятие **момент силы**.



Действующие на тело спортсмена в ходе выполнения двигательных действий **силы и моменты сил** разделяются на две группы. Это **силы естественного характера и управляющие**. Первые действуют независимо от суставных движений человека, вторые же являются прямым следствием последних и составляют основу двигательной активности человека.



Указанные силы действуют одновременно, что создает определенные сложности при их нахождении в процессе биомеханического исследования. При анализе управляющих воздействий вводятся некоторые специальные понятия, касающиеся характера движения тела как целого в пространстве.





**Программное движение** представляет собой перемещение тела спортсмена в пространстве, обеспечивающее достижение цели двигательного действия, т.е. выполнения соответствующей **программы места и ориентации.**

**Естественное движение** представляет собой перемещение тела человека в пространстве с неизменной позой. Иными словами, если представить себе, что в определенный момент времени тело спортсмена как бы "отвердевает", и суставные углы остаются неизменными, то действующие на него в такой ситуации силы называются **естественными**.





Естественные силы не зависят от суставных движений, а определяются **внешними телами (сила тяжести, реакции опоры)** и условиями движения **(силы инерции, сопротивления внешней среды и др.)**

**Пассивным движением** является такое перемещение тела человека в пространстве, при котором его мышцы расслаблены и не принимают участие в изменении позы. Такое движение в спорте возможно лишь теоретически, однако его рассмотрение может быть полезным для определения **суставных моментов сил при нахождении спортсмена в статических положениях.**





Одной из задач биомеханического анализа движения является определение **управляющих сил и моментов сил**, создаваемых благодаря суставным движениям человека и обеспечивающим выполнение программы движения. В процессе решения этой задачи естественное движение сравнивается с программным. В результате определяются те **силовые добавки, которые должны быть обеспечены суставными (управляющими) движениями.**



При выполнении двигательных действий, особенно в спорте, человеку приходится сохранять взаимное расположение звеньев тела в переменных условиях, когда направление и величина действующих на тело человека сил изменяется в достаточно широких пределах. Такая осанка называется **динамической**. Она состоит из элементов.



**Элемент динамической осанки** – это ограничение подвижности в каком-либо суставе в переменных условиях, характерных для выполняемого двигательного действия.

Элементы динамической осанки являются необходимыми составляющими любого двигательного действия. Они как бы образуют из двигательного аппарата человека механизм для достижения цели.



Например, при выполнении большого оборота на перекладине, одним из наиболее важных элементов динамической осанки является **обеспечение надежного захвата грифа перекладины (фиксация углов в суставах кисти)**. При нарушении указанного элемента данное упражнение выполнить невозможно.





Если совокупность элементов динамической осанки позволяет подготовить тело человека к выполнению двигательного действия, то энергетическое обеспечение самого движения осуществляется благодаря **управляющим движениям в суставах.**



**Управляющими движениями**  
называются целенаправленные  
изменения суставных углов,  
позволяющие обеспечить требуемое  
перемещение тела человека в  
пространстве. Принято выделять  
**главные и корректирующие**  
управляющие движения.



**Главные управляющие движения – это такие движения в суставах, без которых эффективное достижение цели двигательного действия невозможно.**

**Корректирующие управляющие движения** – это суставные движения, применяемые для улучшения характеристик двигательного действия, при исправлении двигательных ошибок, а также в процессе силовой недостаточности главных управляющих движений.





**Главные управляющие движения**  
составляют основу двигательного  
действия, они никогда не могут быть  
заменены **корректирующими**  
**управляющими движениями.**

Каждому двигательному действию  
соответствует свой набор **элементов**  
**динамической осанки и управляющих**  
**движений.**



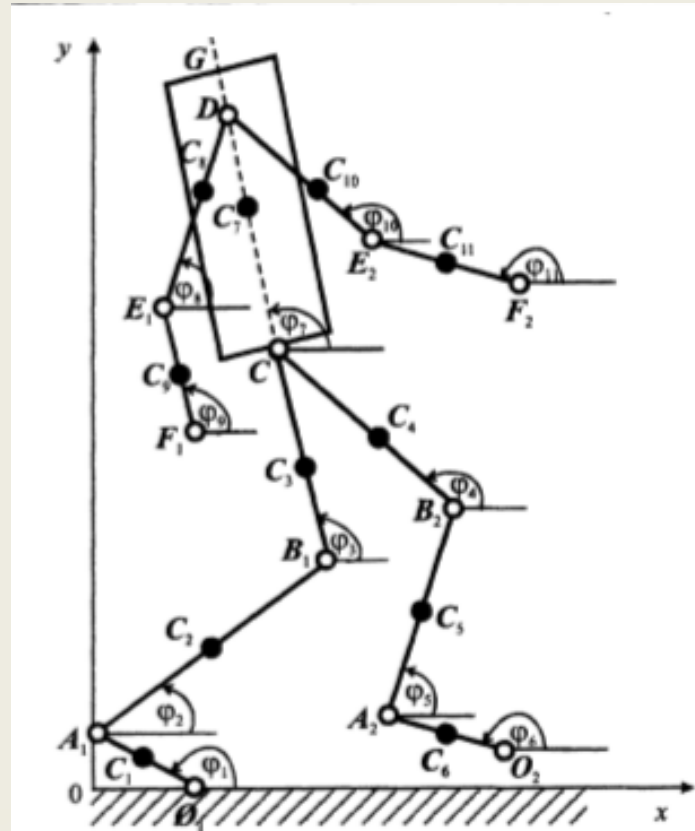
Указанные составляющие являются основой **внутренней структуры двигательного действия**, знание которой позволяет эффективно организовывать процесс обучения технике спортивных движений, а также оптимизировать тренировочный процесс для спортсменов любого уровня мастерства.



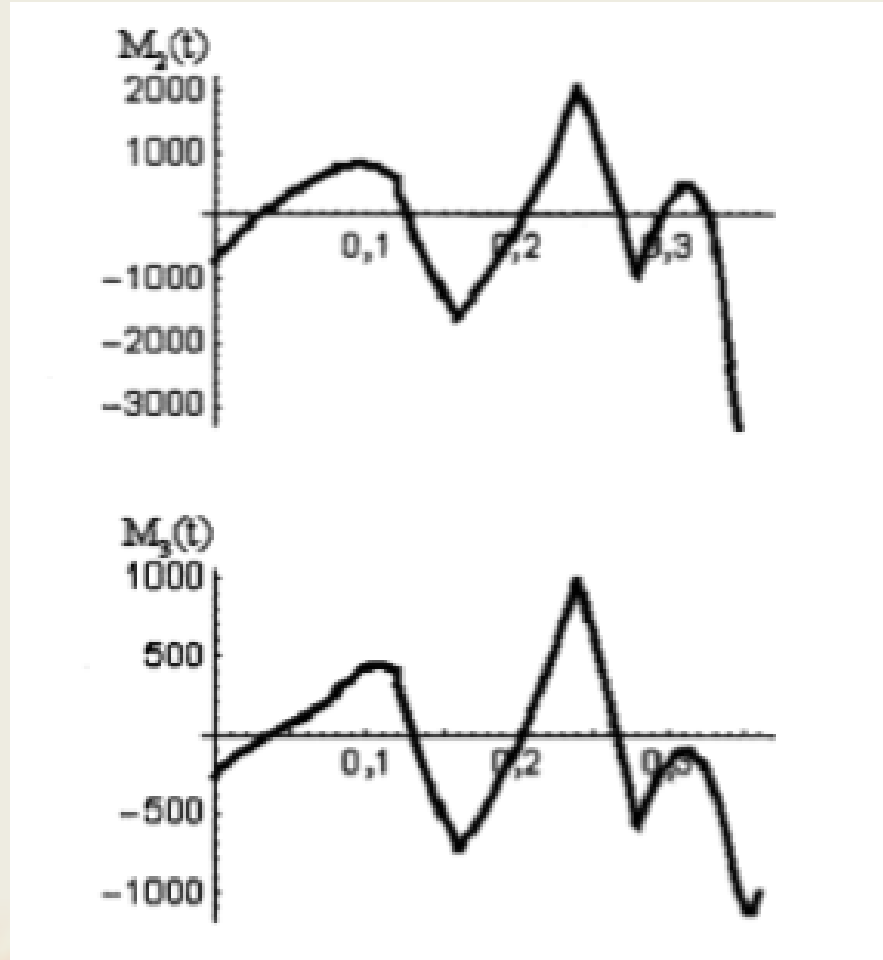



Нахождение элементов динамической осанки и управляющих движений осуществляется методами моделирования. Здесь может использоваться как **математическое**, так и **физическое моделирование**.

# Модель плоского движения шагающего антропоморфного аппарата, моделирующего человека, в одноопорной фазе



# Зависимости моментов от времени за один период шага






Успешное выступление спортсмена на соревнованиях по большинству видов спорта в значительной степени определяется рядом факторов. **Первая группа факторов связана с состоянием и функционированием нервной системы спортсмена:**

1. Эмоциональное состояние;
2. Качество управления ресурсами организма;
3. Уровень тактического и стратегического мышления.

**Вторая группа факторов** связана с физическим состоянием организма спортсмена:

1. Общее физическое развитие (в первую очередь – мышечно-скелетной системы), определяющее базовый потенциал спортсмена;
2. Физическое развитие групп мышц, специально ориентированных на заданный вид спорта.





**Третья группа факторов** связана с наиболее эффективной организацией движений спортсмена на всех этапах состязания:

1. Выделение этапов состязания, требующих различной техники движения спортсмена;
2. Определение наиболее эффективной техники движения для каждого этапа;
3. Освоение спортсменом наиболее эффективной техники движения для каждого этапа состязания.



**Разработка математических моделей для нервной системы спортсмена сопряжено с большими проблемами, так как она, с одной стороны, исследована недостаточно глубоко для построения достоверной модели спортсмена, а с другой она является чрезвычайно сложным объектом, что не позволяет построить требуемую модель при современном уровне знаний и развития компьютерных технологий.**



Все люди отличаются друг от друга по своим физическим и физиологическим качествам. Поэтому тренировать их надо по-разному. Особенно это касается выдающихся атлетов. Если средний человек может прогрессировать на каких-то усредненных и общих методиках, то чемпиону нужны свои методики.





- При разработке тренировочных методик для спортсменов экстра-класса необходимо решение задачи оптимизации тренировочного процесса с учетом персональных особенностей организма спортсмена. Для решения подобных задач необходимо наличие **математических моделей, связывающих**
  - параметры тела,
  - параметры движений,
  - особенности индивидуального тренировочного процесса
  - спортивные достижения спортсмена.

# Для моделирования движений тела человека используются:

1. **Антропометрические модели,** которые используются для получения параметров анатомических сегментов тела человека с помощью различных методик измерения и различных баз данных параметров человеческого тела.





**2. Антропометрические модели**, в которых процесс исследования физических упражнений осуществляется на основе фиксации техники движения спортсмена с использованием фотографии, киносъемки или видеозаписи (имитационное моделирование), с последующим выявлением различных биомеханических характеристик.

**3. Эмпирические модели,**  
использующие подход «**черного ящика**», в которых на основе результатов проведенных исследований формируется система уравнений или таблица коэффициентов, позволяющие определять некоторые параметры движения для конкретного вида спорта по физическим параметрам спортсмена.

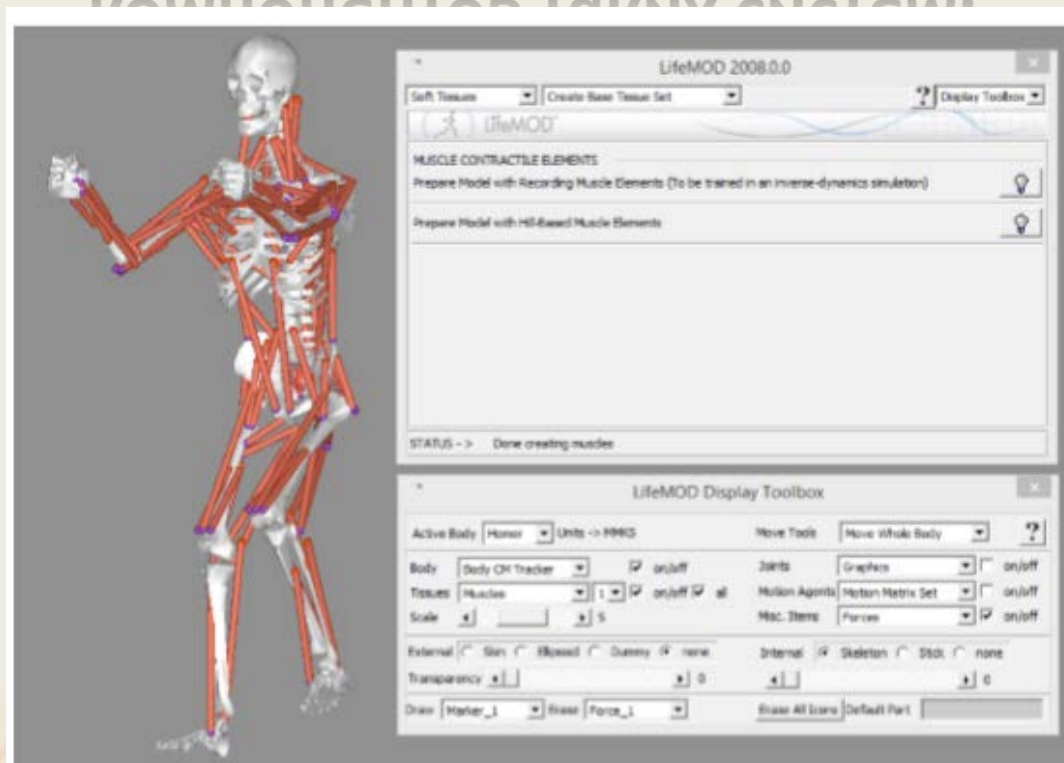


# Системы моделирования:

1. MSC.visualNastran 4D
2. OpenSim
3. SIMM
4. SIMI
5. LifeModeler/MSK ADAMS



**Возможность LifeModeler моделировать человеко-механические системы позволяет исследовать различные проблемы, связанные с взаимодействием биологических и механических компонентов таких систем.**



**Рис. 1.** Общий вид модели человека и элементов интерфейса программы.



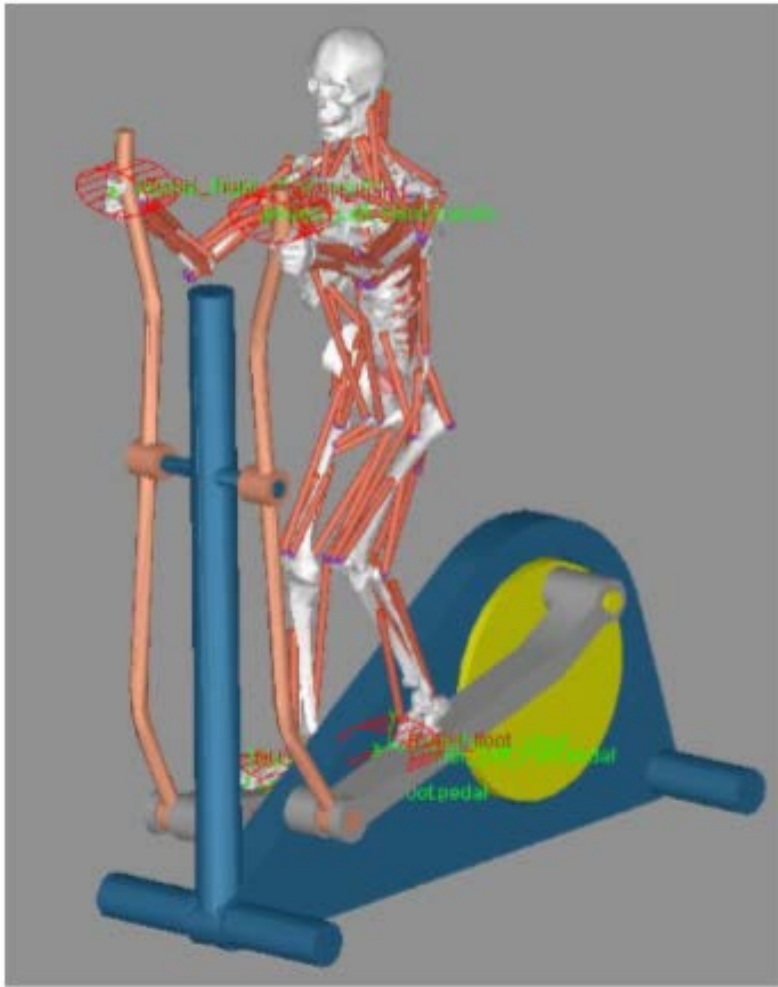
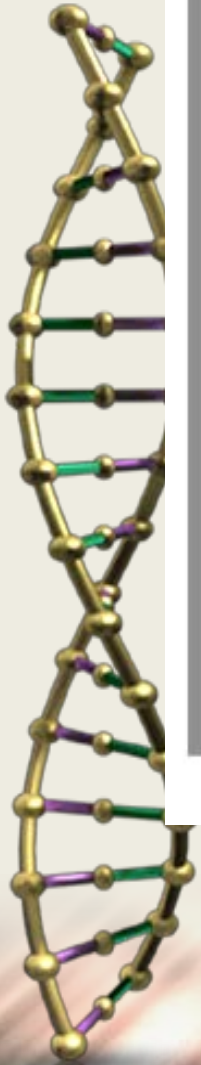


Рис. 2. Полная человеко-механическая система.

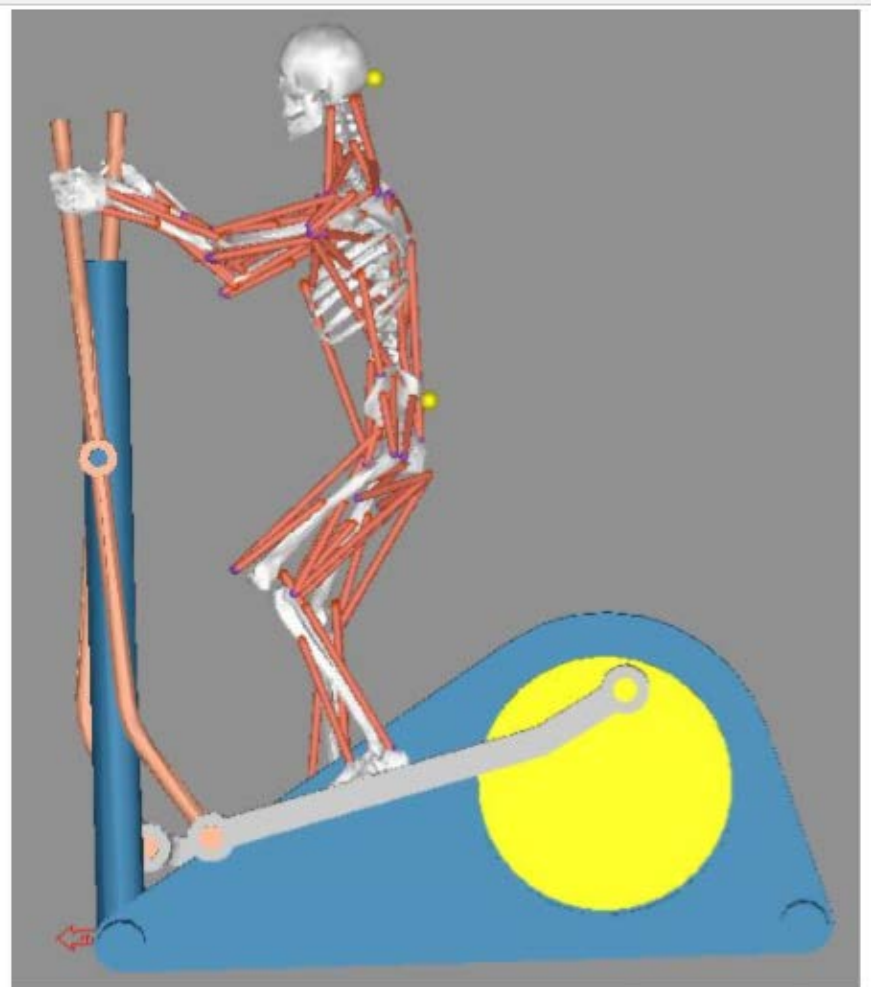
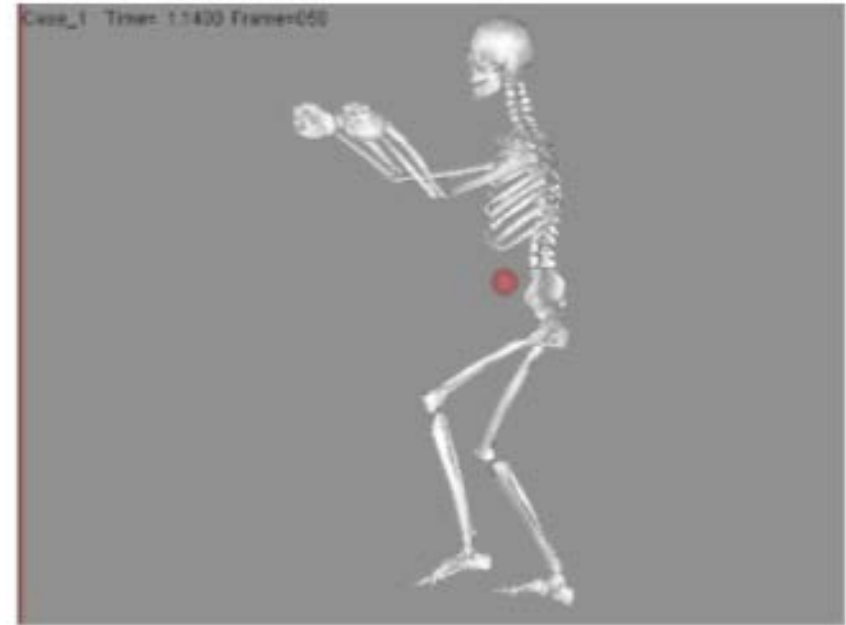
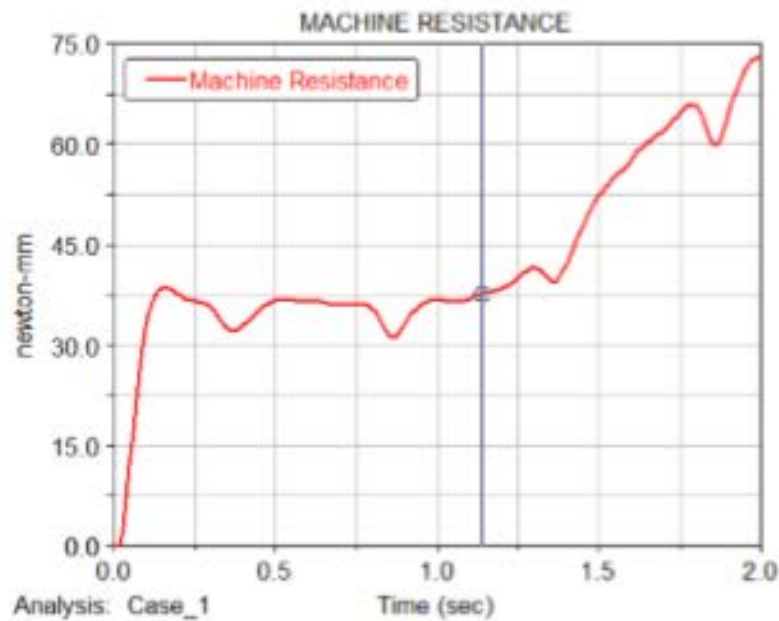
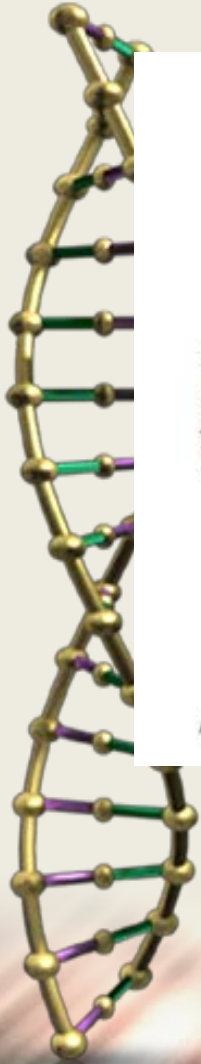
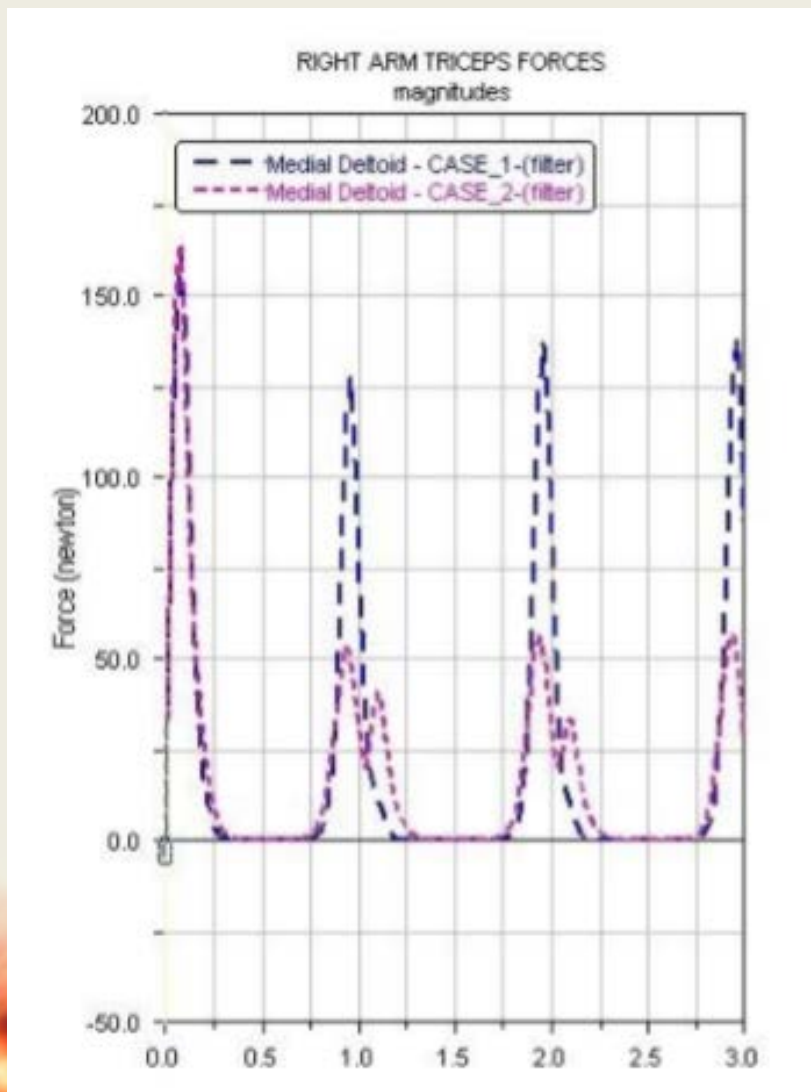


Рис. 3. Создание агентов движения.

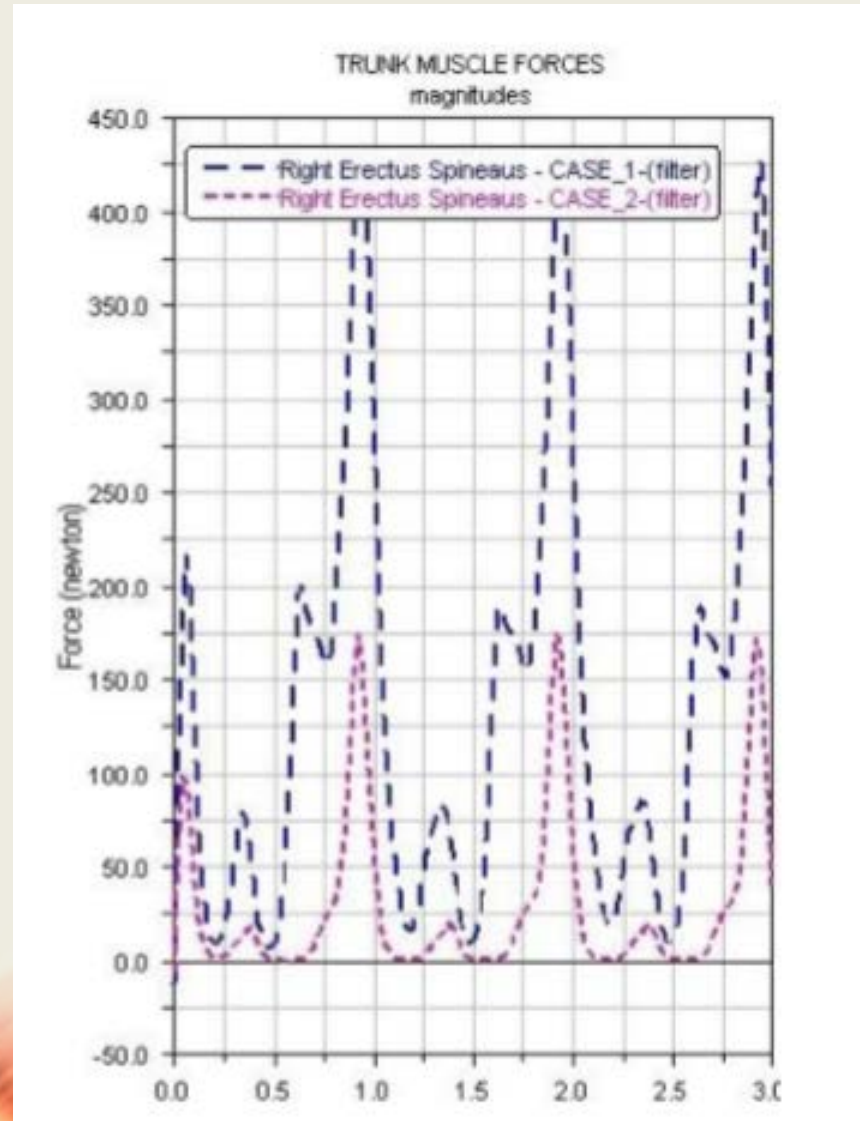
# Параллельное представление анимации и графика сопротивления механизма.



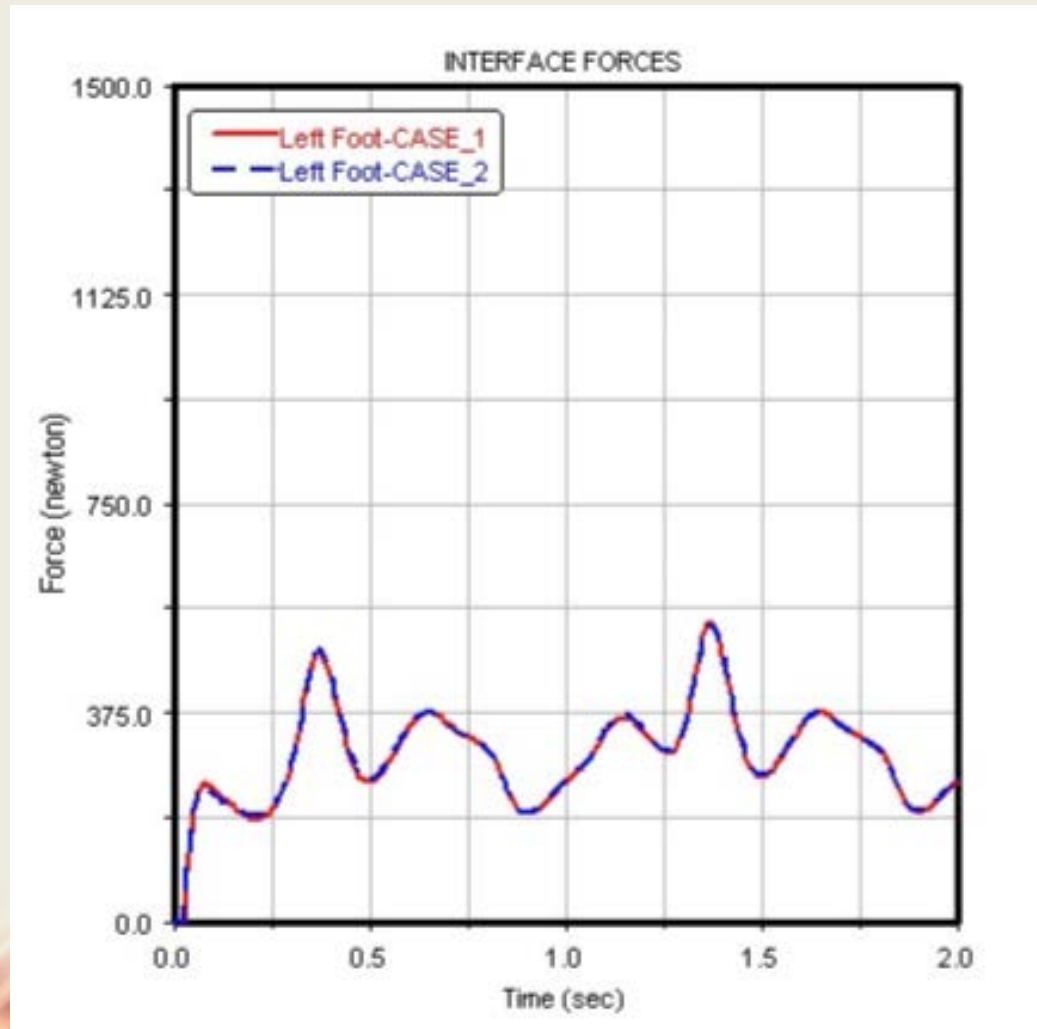
# Силы трицепса правой руки до изменения параметров мышц (крупный пунктир) и после. (мелкий пунктир).



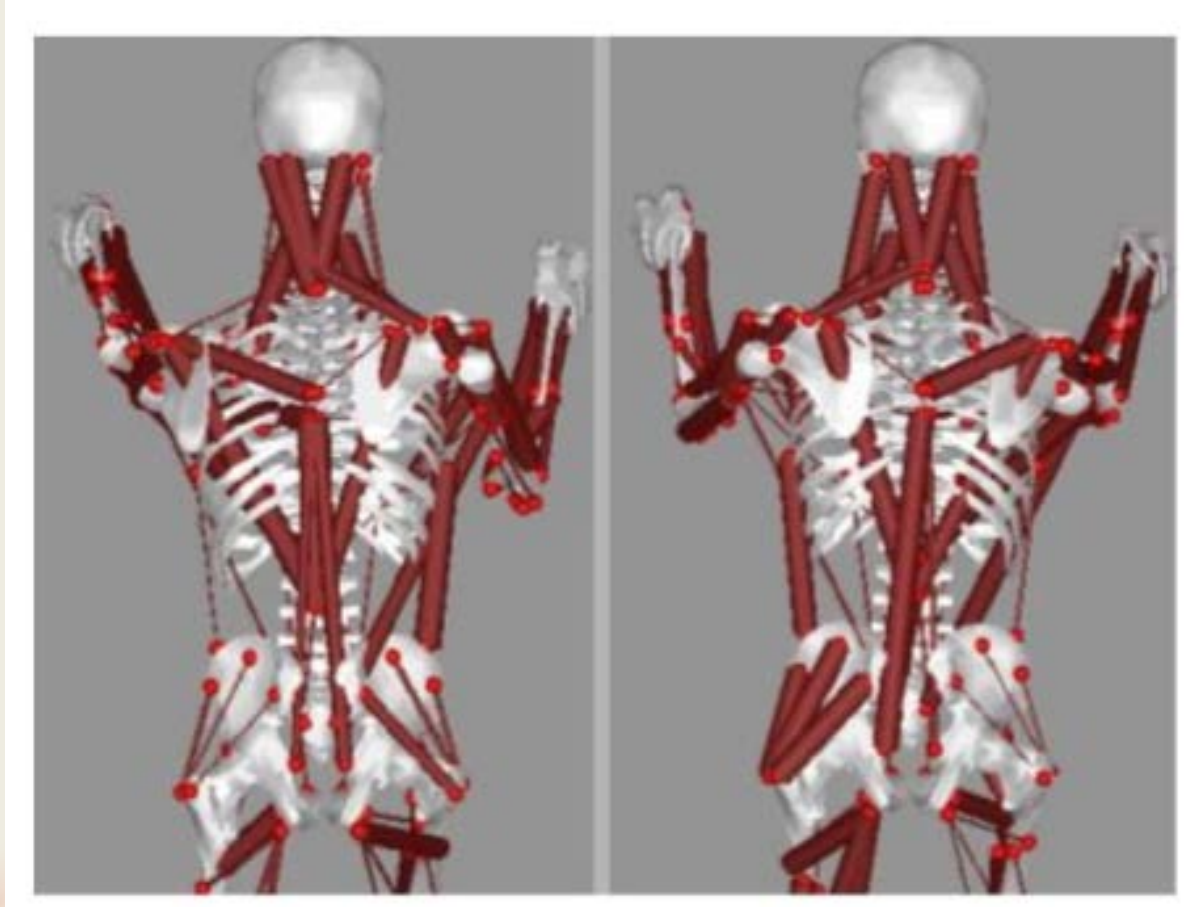
# Силы разгибающей мышцы спины до изменения (крупный пунктир) и после (мелкий пунктир).



# Сила взаимодействия левой ноги и тренажера для обоих случаев.



**Кадры анимации, отображающие масштабирование графического представления мышц в зависимости от развиваемой силы.**



**СПАСИБО ЗА ВНИМАНИЕ!**

