



МЕДИЦИНСКИ УНИВЕРСИТЕТ – ПЛЕВЕН
ФАКУЛТЕТ „ОБЩЕСТВЕНО ЗДРАВЕ“
ЦЕНТЪР ЗА ДИСТАНЦИОННО ОБУЧЕНИЕ

Лекция №9

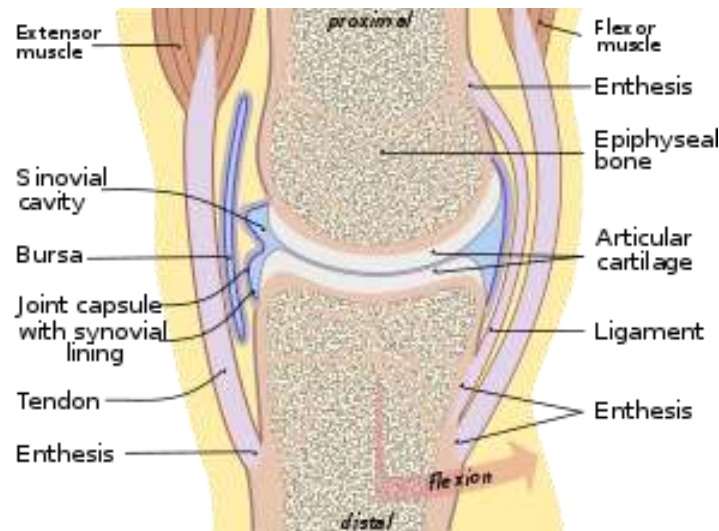
БИОМЕХАНИКА

Стави. Видове стави в зависимост от степента на подвижност - неподвижни (фиброзни), частично подвижни (хрущялни), свободно подвижни (синовиални); в зависимост от формата на контактните повърхности на костите - плоски, цилинд-рични, седловидни, осеви, елипсоидални и сферични; според броя на ставните по-върхности - прости и комплексни. Степени на свобода на движение. Триене и смазване в ставите. Кинематични съединения и вериги.

Проф. Константин Балашев, дхн

СТАВИ

Ставата е съединение между две или повече кости. Ставите са важни функционални структури на човешкия опорно-двигателен апарат. Те позволяват относителни движения между костите.



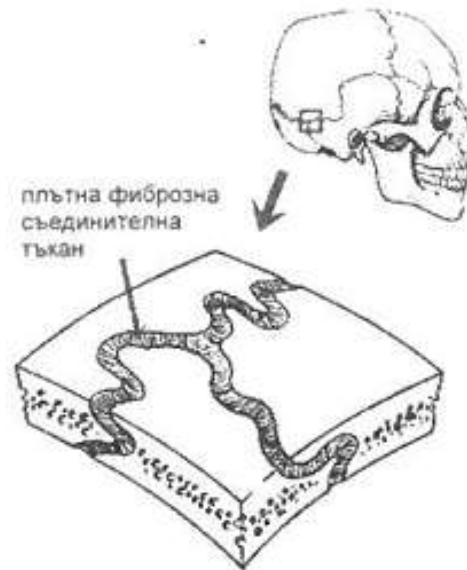
Ставите имат различни степени на свобода, при изпълнение на определени видове движения. Някои стави, като колянната, лакътната и рамната стави, са самосмазващи се и могат да издържат на тежки натования, изпълнявайки плавни и прецизни движения.

Видове стави

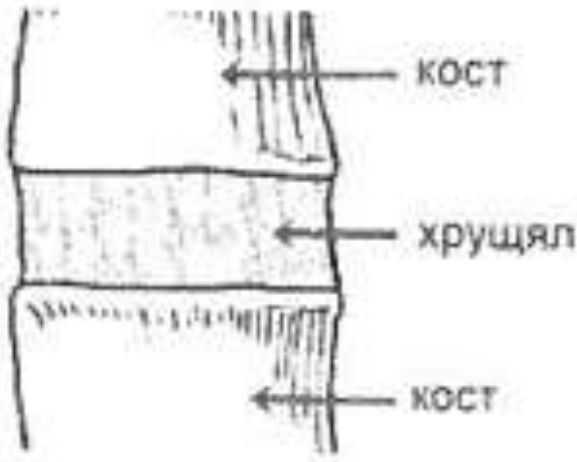
Човешкото тяло съдържа 187 стави. Те могат да бъдат класифицирани на базата на различни критерии, например: според степента на тяхната подвижност, формата и броя на ставните повърхности, степените на свобода и амплитудата на движение.

В зависимост от степента на подвижност на костите се различават неподвижни, частично подвижни и свободно подвижни стави.

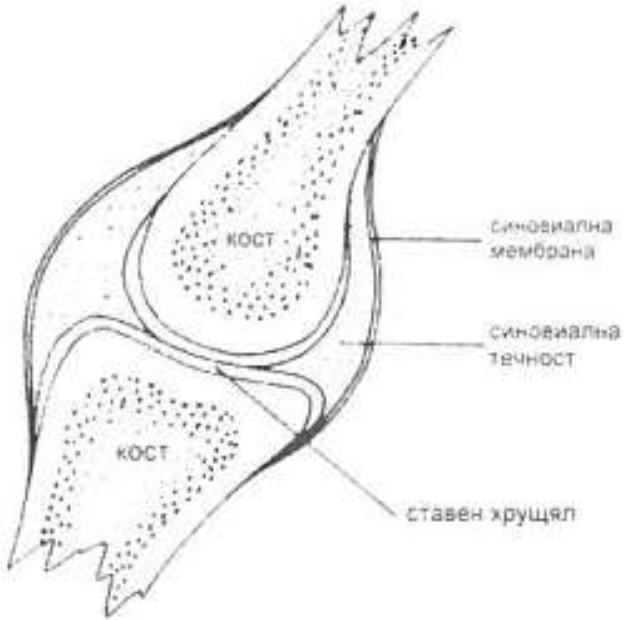
Неподвижните стави (наричани още **фиброзни**) не позволяват движение. Черепният свод например е изграден от костни пластинки, които трябва да са неподвижни за да предпазват мозъка от механични увреждания. Те са свързани помежду си с неподвижни стави от влакнеста съединителна тъкан. Фиброзни стави държат и зъбите в челюстната кост.



Частично подвижните (хрущялни) стави имат ограничена подвижност. При тях костите са свързани с хрущял, както е при гръбначния стълб. Всеки от прешлените има известна подвижност спрямо своите съседи, което като цяло дава някаква гъвкавост на гръбнака.



Свободно подвижните (или **синовиални**) стави осигуряват движение в много посоки. Всички основни стави в човешкото тяло са от този тип – раменна, лакътна, киткена, бедрена, колянна, глезенна. Те са изпълнени със синовиална течност, която улеснява движението, действайки като смазка, намаляваща триенето, и като буфер, поглъщащ енергията на удари.

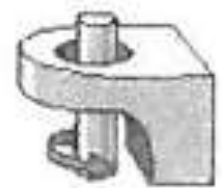


В зависимост от формата на контактните повърхности на костите вътре в ставата се различават плоски, цилиндрични, седловидни, осеви, елипсоидални и сферични стави.

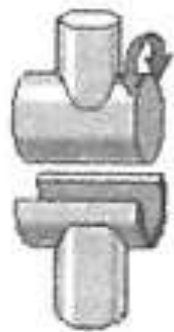
плоски



осеви



цилиндрични



елипсоидални



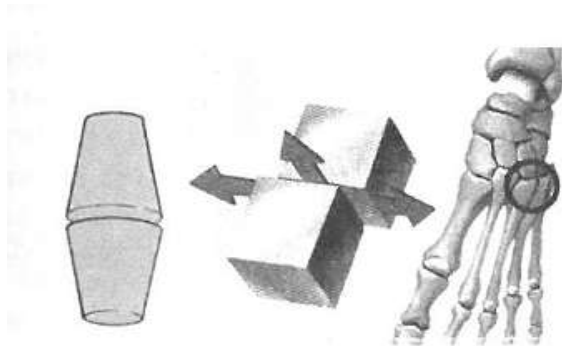
седловидни



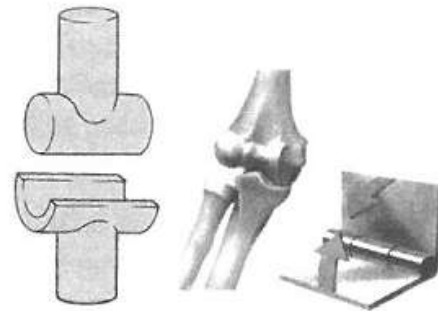
сферични



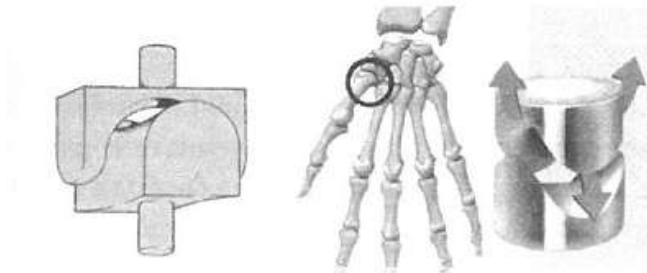
От тях три вида свободно подвижни стави играят важна роля при волевите движения – шарнирните, осевите и сферичните. **Шарнирните** стави имат цилиндрична форма и позволяват движение в една плоскост. Такива са лакътната и колянната. **Осевите** стави позволяват въртеливи или усукващи движения каквито са например движенията на главата. **Сферичните** стави осигуряват най-висока свобода на движение; бедрената и раменна стави са от такъв тип.



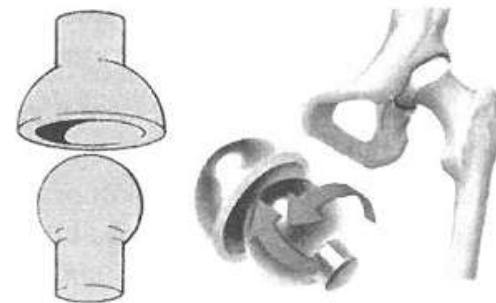
Плоска плъзгаща се става



Цилиндрична шарнирна става

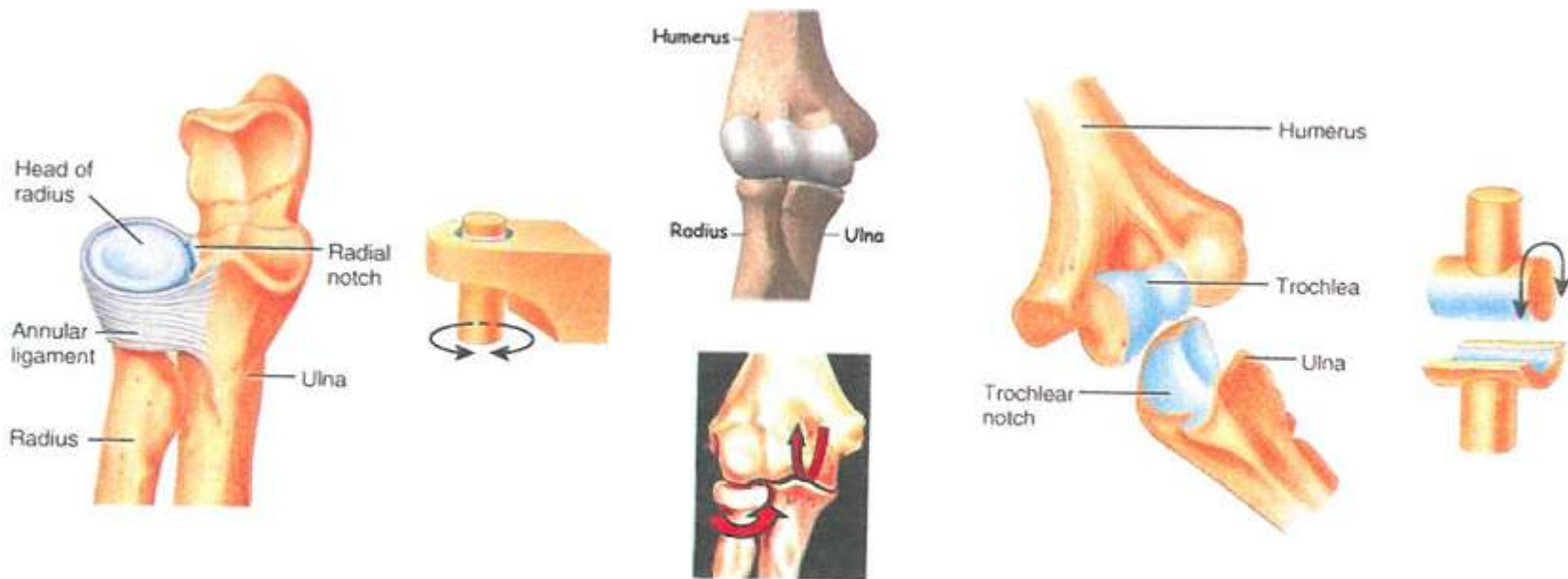


Седловидна става



Кълбовидна (ябълковидна) става

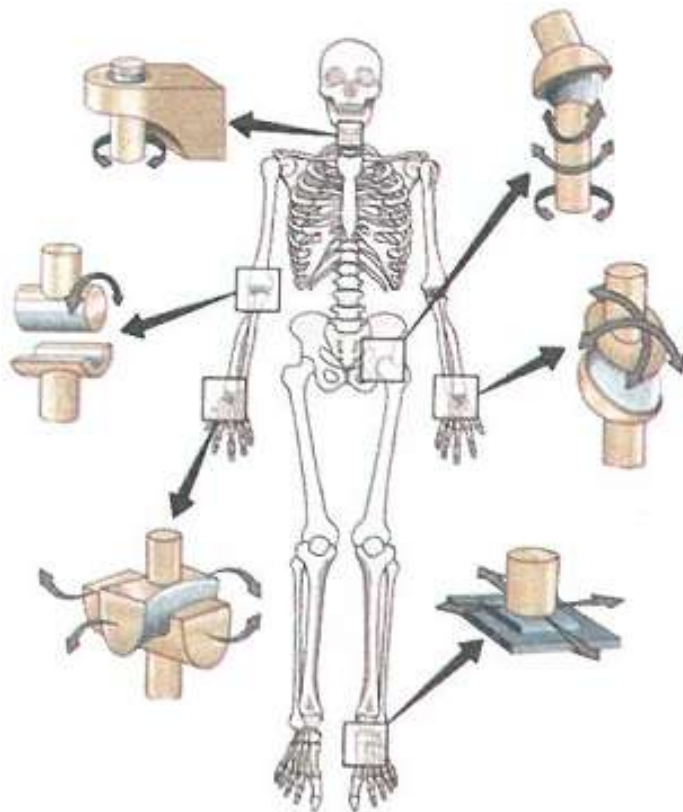
Според броя на ставните повърхности ставите могат да бъдат разделени на *прости* (например раменната) и *комплексни* (например лакътната). Лакътната става е комплексна става, съставена от две едноосни стави с различна амплитуда на движение: проксимална осева става между *radius* и *ulna* и проксимална цилиндрична става между *humerus* и *ulna*.



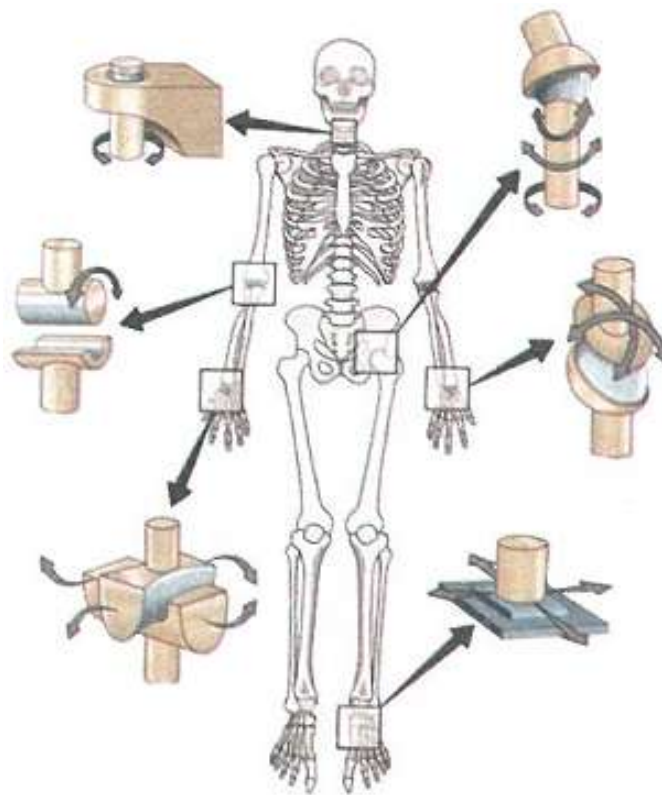
Амплитудата на движението зависи от съответствието на ставните повърхнини, от разпределението на мускулната маса около ставата, от еластичността на намиращите се около ставата меки тъкани – ставните връзки и ставната капсула. В резултат на тяхното опъване движението по дадено направление не може да достигне максимално възможното и почти винаги е по-малко.

Както вече беше споменато, едно свободно тяло притежава 6 степени свобода на движение в пространството – три постъпателни и три въртеливи по всяка от координатните оси. Една степен включва движение и по двете посоки на даденото направление. Ако тялото е фиксирано в една точка, то загубва възможността да се движи постъпателно, но запазва въртеливите движения. Следователно такова тяло ще притежава три степени на свобода. Ако тялото е фиксирано в две точки, то запазва само една степен на свобода – въртенето около ос, която преминава през двете точки. При фиксиране на тялото в три точки, които не лежат на една права, то загубва всички степени на свобода на движение.

Костните звена на двигателния апарат са свързани помежду си, затова степените на свобода на всяка кост могат да бъдат максимум три. Колко ще бъдат степените на свобода за конкретна става, се определя и от конфигурацията на ставните повърхнини. Тяхната форма е неточна от геометрична гледна точка и те не си пасват напълно. Винаги има известен луфт, вследствие на което контактната повърхност е малка част от общата за ставата. Освен това са възможни и малки деформации в околоставните тъкани (ставен хрущял, връзки, капсули). Това модулира степените на свобода при някои стави.



В най-благоприятно положение са кълбовидните стави. При тях движението е като на тяло, фиксирано в една точка, т.е. с три степени на свобода. Кълбовидните стави притежават възможността да извършват конусовидни движения. Стави с три степени свобода се намират във възлови места на двигателния апарат – при свързване на туловището с крайниците. Такива са гръдно-ключичната, лопатко-ключичната и раменната става на раменния пояс и тазобедрената става на тазовия пояс. Към ставите с три степени на свобода се отнасят и свързванията между гръбначните прешлени, макар че амплитудата на движение при тях е твърде малка.



Две степени на свобода позволяват движения спрямо две взаимно перпендикулярни оси. При двусните стави могат да се извършват и кръгови движения (описване на затворени криви). Двусни стави са лакътната, киткената, колянната и глезенната.

Ставите с една степен свобода притежават повърхнини с цилиндрична форма. По-важни стави с една степен на свобода на движение са: ставата между тилната кост на черепа и атласа, между атласа и епистрофен. горната скочна става, междуфалангеалните стави на пръстите на ръцете и краката.

Най-многобройни и заемащи най-важни места в двигателния апарат са ставите с три степени свобода на движение. На второ място по значимост са ставите с две степени свобода и на последно – тези с една степен.

Кинематични вериги

Елементарна опорна единица в двигателния апарат на човека е **механичната ос**, а елементарна кинематична единица - т.нар. **кинематична двойка**, която се състои от две съседни костни звена, съединени със става. При последователното съединяване на няколко съседни кинематични двойки се образува **кинематична верига**. Кинематичната верига е сложна моторна единица. В нея всяко отделно движение оказва влияние на следващото. Последователността на включването на отделните звена от веригата се определя от целта на движението.

В зависимост от състоянието на дисталното звено кинематичните вериги могат да бъдат **отворени** и **затворени**.

Отворена кинематична верига е тази, която притежава свободно дистално звено. Пример за подобна верига е протегнатият горен крайник. Отворената верига може да се раздвижи в което и да е нейно подвижно съединение без това да предизвика задължително раздвижване в останалите съединения.

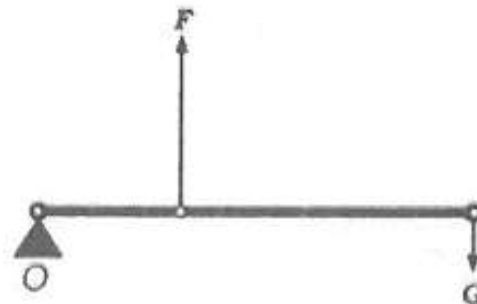
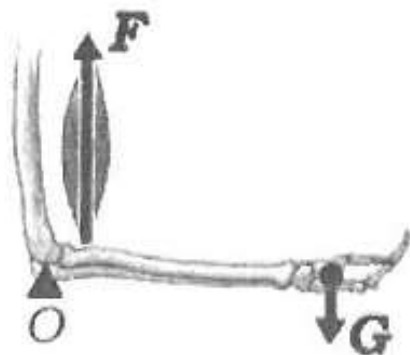
Степените свобода на дистално разположените в кинематична верига звена се определят в зависимост от степените на свобода на движение в проксимално разположените подвижни съединения (от латински *proximus* - близък и *distare* - далечен).

Спрямо раменния пояс горният крайник притежава три степени на свобода (раменната става е кълбовидна). Предмишницата ще притежава пет степени - три в раменната плюс две в лакътната става. Ръката ще притежава седем степени на свобода - три в раменната, две в лакътната и две в киткената става. Това обяснява защо дадено дистално звено може да притежава повече степени свобода на движение, отколкото напълно свободно в пространството тяло.

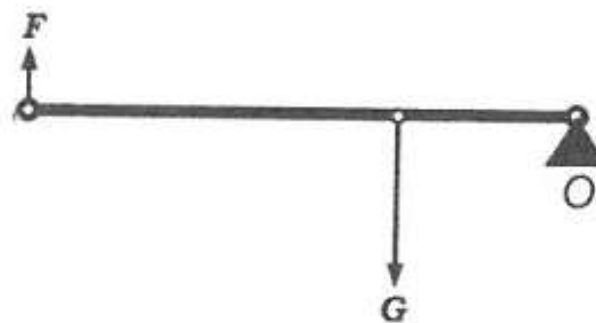
Наличието на седемте степени свобода обяснява възможността на ръката да се движи до коя и да е точка от пространството (в пределите на протегнатия горен крайник), а също така и многото възможни варианти на траектории между определени предварително начално и крайно положение на движението. Отворените кинематични вериги позволяват на човека да увеличава възможните траектории за движение.

За някои от кинематичните вериги на двигателния апарат на човека е характерно, че могат да се превръщат от отворени в затворени и обратно, например хванатите ръце, стоеж на два крака (веригата се затваря чрез опората). Има разбира се и затворени вериги, които не могат да се променят, например ребрените пръстени, съставени от двете ребра, съответните прешлени и гръдната кост.

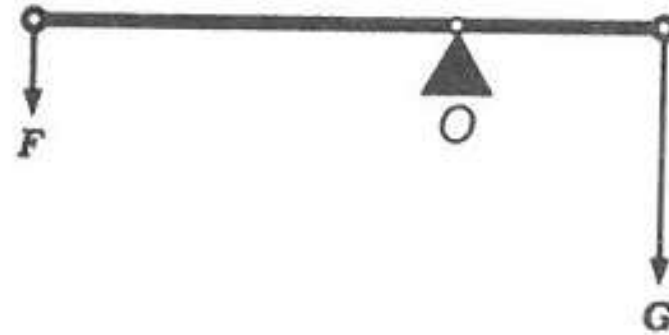
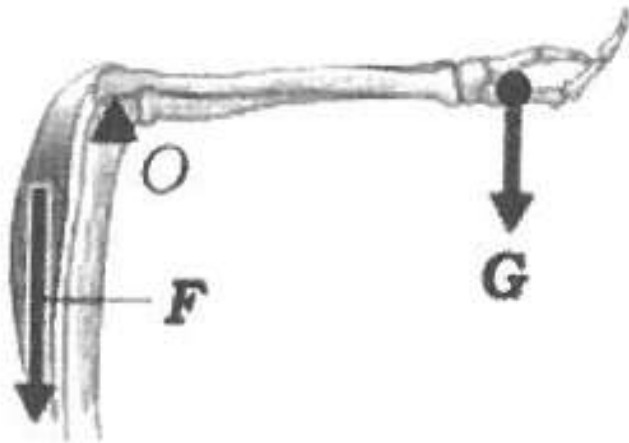
Съставеният от подвижно съединени кости скелет представлява твърдата основа на кинематичните вериги. Кинематичните двойки заедно с приложените към тях сили (мускулни и други) могат да се разглеждат като система от лостове. От механична гледна точка **двигателният апарат на човека е система от лостове**. Костите (в случая третирани като твърда недеформируема система) са рамената на лостовете. Ставите се явяват опорните точки на лостовете (оси на въртене). Най-често движещата сила е мускулната (но при някои случаи такава може да бъде и друга външна сила). Съпротивителната сила (товарът) обикновено е външна сила - тежест, триене, инерчна сила и др.



Най-разпространени в човешкия двигателен апарат са лостове от трети род. Като пример за лост от трети род може да се разгледа лакътната става. Ако приемем, че мишницата е фиксирана, а се движат предмишницата и ръката, движещата сила е на бицепса (мускулът-сгъвач в лакътната става). Съпротивителна сила е собствената тежест на предмишницата и ръката плюс тежестта на намиращо се например в ръката тяло. При малка скорост на движение инерчните сили могат да се пренебрегнат. Тъй като рамото на движещата сила е много по-късо от рамото на съпротивителната, движението се извършва при голяма загуба на сила, но с печалба на скорост (път).



Повдигането на тялото на пръсти е илюстрация за лост от втори род. Движеща сила е мускулната тяга на сгъвачите на ходилото в глезенната става (триглавия подбедрен мускул), а съпротивителна сила – силата на тежестта на тялото.



Като пример за лост от първи род може да се разгледа разположението на главата върху гръбначния стълб. Точката на окачване е между атласа и тилната кост. Движеща сила е тягата на гръбните мускули, а съпротивителна - теглото на лицевата част от черепа. Друг пример е разгъването на ръката в лакътната става.

Триене и смазване в ставите

Ставните повърхности при човека нямат идеално точна геометрична форма. В много случаи тези повърхности даже не се допират по цялата си повърхност. При натоварване обаче, благодарение на деформацията на хрущяла, контактната повърхност се увеличава.

При задвижването на две съседни звена ставните повърхнини се хлъзгат една спрямо друга. Една част от мускулната работа се изразходва за преодоляване на триенето. Ако коефициентът на триене би имал стойности, равни на тези при триене на несмазани повърхности, мускулната работа би се оказала осезаема. Стави без смазка ще наложат излишен разход на мускулна енергия и ще прегряват. Изразходваната за преодоляване на триенето енергия (особено при бързо движение) би повишила температурата в ставите до стойности, увреждащи тъканните белтъци.

Независимо от големите натоварвания синовиалните стави са много ефикасни, защото осигуряват много нисък коефициент на триене. Характерен за строежа на ставата е хрущялът, който покрива ставните повърхнини и ставната капсула, която обвива ставата и ставната кухина. Ставната кухина е запълнена със синовиална течност. Хрущялът има гъбест строеж с много малки пори и е пропит със синовиална течност. Ставните повърхнини се допират само в неголям участък. При натиск синовиалната течност се изцежда от този участък в ставната кухина, което намалява триенето. Останалите ненатоварени участъци от хрущяла свободно попиват синовиалната течност. При намаляване на натоварването хрущялът възстановява първоначалната си форма като попива обратно синовиална течност. Ако допирната повърхност на хрущялите се променя по време на движение, в нито един участък от хрущяла не може да се получи пълно изцеждане на синовиалната течност.

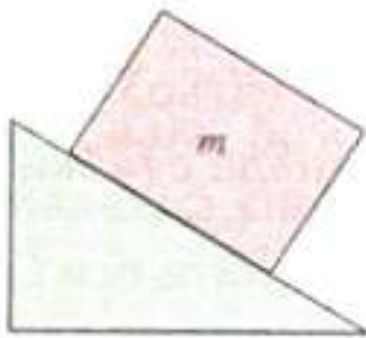
Коефициентът на триене в синовиална става е около 0,02 (за сравнение, при хлъзгане на лед върху лед той е 0,03). Това се дължи преди всичко на наличието на хиалуронова киселина в синовиалната течност. Тя притежава и друго важно свойство – еластичност. Еластичните свойства на синовиалната течност не са нещо особено, макар че са несъвместими на пръв поглед с течното състояние. Именно еластичните свойства на синовиалната течност не позволяват пълното ѝ изцеждане в пространството между допиращите се хрущяли. Тези две свойства са особено ценни за смазването на ставите.

БИОМЕХАНИЧЕН АНАЛИЗ НА „СВОБОДНО ТЯЛО”

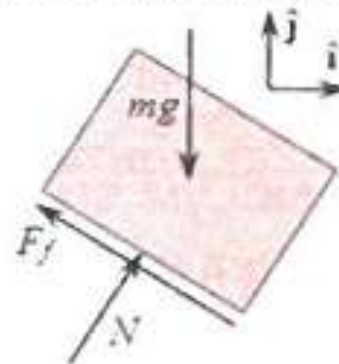
Методът, известен като механичен анализ на „свободно тяло”, е метод за механично изследване на част от дадена система, която се намира в статично равновесие. Разглежданата част от системата може да се смята за “свободно тяло”, ако въздействащите върху нея външни сили са приложени на границите ѝ с останалите части от системата. Изследваната подсистема трябва да бъде обособена като самостоятелна, т.е. да се освободи от връзките си с околните части. Тогава тя условно може да се нарича „свободно тяло”. Нейното поведение обаче съвсем не е свободно, тъй като е подложена на действието на външни сили.

По-долу е показан графичен пример за създаване на опростена схема, показваща силите, действащи върху тяло с маса m , разположено върху наклонена плоскост, но не и силите, с които тялото действа върху околните предмети, както и самите тях.

Тяло върху наклонена плоскост

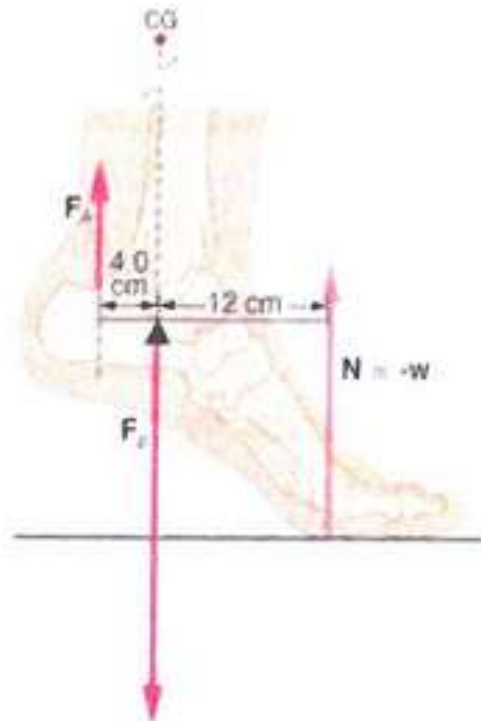


Схема, показваща само силите, действащи върху тялото



Методът има за цел определянето на неизвестни сили или въртящи моменти, от които зависи движението (покоя в равновесие) на тялото.

“Свободното тяло” се представя с опростена схема в подходящо ориентирана координатна система, на която са показани всички сили, действащи върху него. В схемата трябва да са всички сили, които директно или индиректно (т.е. със или без пряк контакт) действат върху тялото. Освен специфичните сили, действащи във всеки конкретен случай (например различни мускулни сили, повлияващи равновесието на “свободното тяло”), не трябва да се забравят и общите (например силата на тежестта, която винаги действа), а в зависимост от това дали тялото има контакт с опора или не, трябва да се отчитат и силите на нормален натиск и реакция на опората. Разглежданото “свободно тяло” може да включва цели кинематични вериги или части от тях. Обикновено границите ми



Алгоритъмът за анализ включва следната последователност от действия:

1. Съставя се максимално опростена схема на разглежданата система, като се идентифицират всички действащи върху системата външни сили и техните приложни точки.

2. Избира се подходяща координатна система и спрямо нея се определят компонентите на всяка сила по осите Ox и Oy .

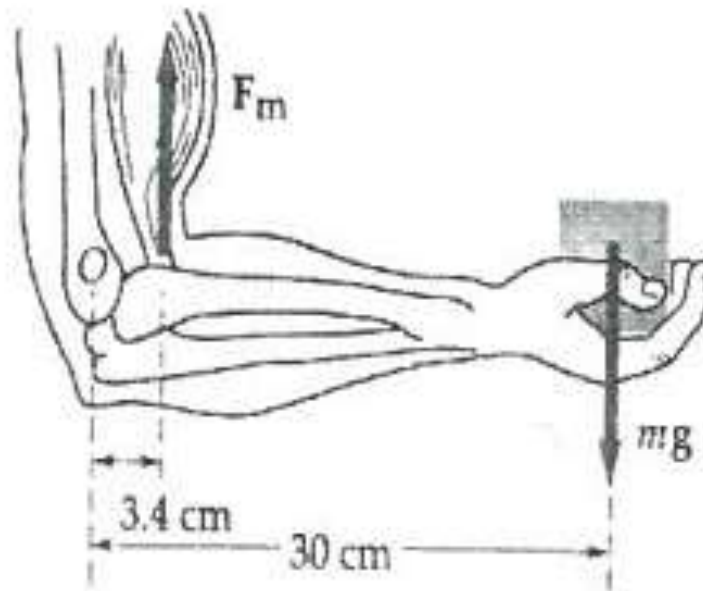
3. Прилага се първото условие за статично равновесие (векторната сума от всички сили, които действат върху тялото, да е равна на нула) и се получават уравнения за компонентите.

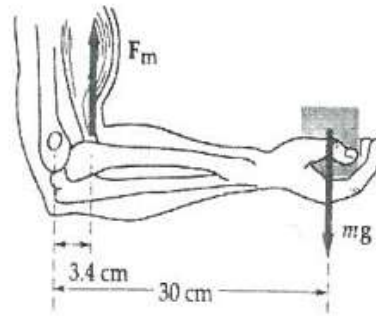
4. Избира се подходяща ос за въртене и спрямо нея се определят въртящите моменти на силите.

5. Прилага се и второто условие за механично равновесие (пълният въртящ момент на всички сили, действащи върху тялото спрямо произволна ос на въртене, да е равен на нула) и се получават още уравнения за компонентите.

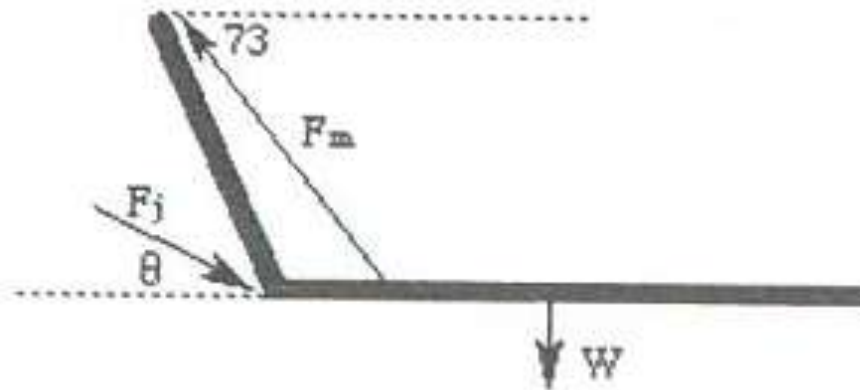
6. Математическото решение на съставената пълна система от уравнения дава отговор на физическата задача за анализ на силите.

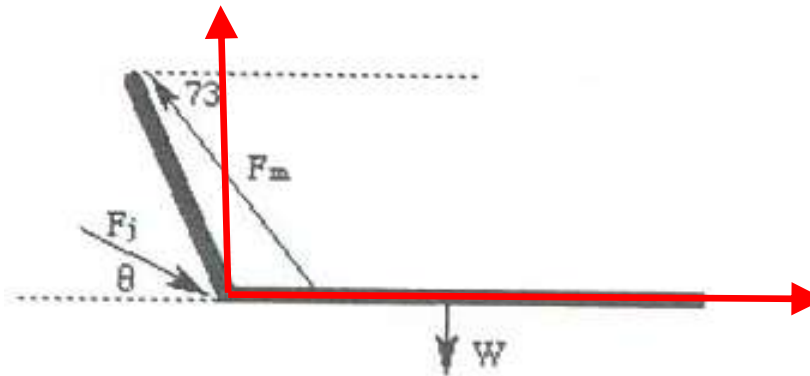
Като пример, нека анализираме като свободно тяло ръката от китката до лакътя, когато в ръката има някакъв товар. Нека теглото на предната част на ръката и дланта W_p е 20 N, а на товара - $W_{тр} = 117$ N, т.е. общата гравитационна сила $W = W_p + W_{тр}$ е 137 N. Другите условия са показани на фигурата. Задачата е да се намерят силите, поддържащи ръката в определена статична позиция.





1. Прави се максимално опростена схема на разглежданата система. Границата на тази система преминава през лакътната става, така че да се включи реакцията F_j на раменната кост върху костите на ръката, докато равната ѝ и противоположна по посока реакция върху раменната кост не се взема под внимание, тъй като тя не действа върху системата (свободното тяло).





2. Построява се координатна система. За да намерим силите и техните компоненти трябва да имаме координатна система. Най-удобно в този случай е да се построи правоъгълна координатна система xOy с хоризонтална и вертикална оси Ox и Oy , насочени съответно надясно и нагоре.

3. Идентифицират се всички действащи върху системата външни сили и техните приложни точки. Бицепсът дърпа нагоре със сила F_m . Приложната точка на мускулната сила на бицепса е в ръката на 4 cm от лакътя. Горната част на ръката (раменната кост) упражнява сила F_j при лакътната става върху долната част за да я поддържа в определена позиция. Теглото на предната част на ръката и дланта W_p е 20 N, а на товара - $W_{тр} = 117$ N. Общата гравитационна сила $W = 137$ N с приложна точка в центъра на масите на ръката. За еднородни обекти (каквато е тази идеализирана ръка), центърът на масите съвпада с геометричния център.

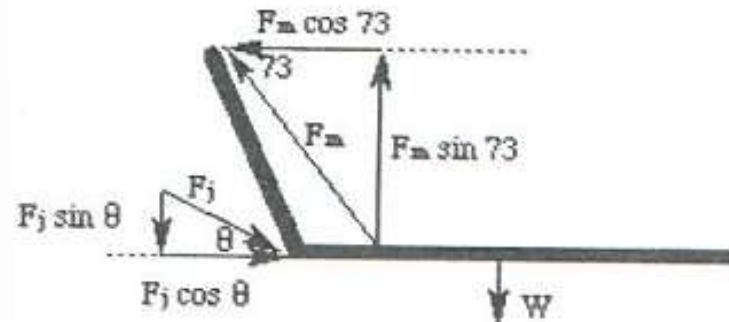
4. Намират се x и y компонентите на всяка сила по координатните оси Ox и Oy . Използват се различните връзки между ъглите на схемата - допълнителни, кръстни, съседни и др., за да се идентифицират необходимите ъгли; може да се начертаят правоъгълни триъгълници за всяка сила, чийто хипотенузи са силите и чийто страни са паралелни на координатните оси Ox и Oy (т.е. страните му са хоризонталните и вертикални проекции на силата). Ако векторът на силата сочи наляво и надолу, компонентата по оста Ox ще бъде отрицателна (ще сочи наляво), а компонентата по Oy ще бъде положителна (с посока нагоре).

В конкретния случай компонентите по x и y са следните:

по x : $F_j \cos \theta$ и $-F_m \cos 73^\circ$

по y : $F_m \sin 73^\circ$, $-F_j \sin \theta$ и $-W$

Силата W е вертикална и няма хоризонтална компонента.



6. Избира се подходяща ос за въртене и се определят въртящите моменти на силите. За тази система лакътната кост е лост и може да се избере лакътя за негова ос на въртене. Следващата стъпка е да се идентифицират компонентите на силата, които са перпендикулярни към лоста на ръката. Тъй като F_j действа в опорната точка, нейното рамо е 0 и следователно нейният въртящ момент е 0. Приложната точка на мускулната сила F_m е на 4 cm от лакътя, а на гравитационната сила W - в средата на лакътната кост, дълга 40 cm, т.е. на 20 cm от лакътя. Компоненти на силите, които са перпендикулярни на лоста на ръката, са $F_m \sin 73^\circ$ и W . Въртящите моменти по и срещу посоката на часовниковата стрелка са $20W$ и $4F_m \sin 73^\circ$.

7. Прилага се и второто условие за механично равновесие. Сумата от въртящите моменти по посока на часовниковата стрелка, е равна на сумата от въртящите моменти по посока, обратна на часовниковата стрелка. Уравнението за въртящите моменти е: $4 F_m \sin 73^\circ = 20 W$. В това уравнение не е необходимо да се преобразуват дължините в метри, а трябва само използваните единици от двете страни да са едни и същи.

8. Окончателно решаване на задачата. Получената система от три уравнения с три неизвестни (F_m , F_j и θ) е решима и се намира, че $F_m = 717 \text{ N}$, $F_j = 587 \text{ N}$, $\theta = 69^\circ$.

Анализът показва, че за да се балансира тежестта на товар, действащ върху ръката със сила 117 N, бицепсът трябва да упражни мускулна сила 717 N (близо 6 пъти по-голяма). Очевидно е, че този мускул работи при значима загуба на механична сила. Това се дължи на факта, че е прикрепен близо до лакътната става (лост от трети род).

Тази механична загуба на сила обаче има своята компенсация. Тя обезпечавя придвижване на ръката на значително разстояние с голяма скорост.