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

Лекция №11

БИОМЕХАНИКА

Методи за биомеханичен анализ. Алгоритъм за анализ на „свободно тяло".

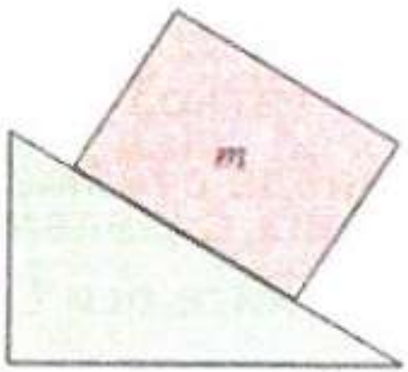
Проф. Константин Балашев, дхн

БИОМЕХАНИЧЕН АНАЛИЗ НА „СВОБОДНО ТЯЛО"

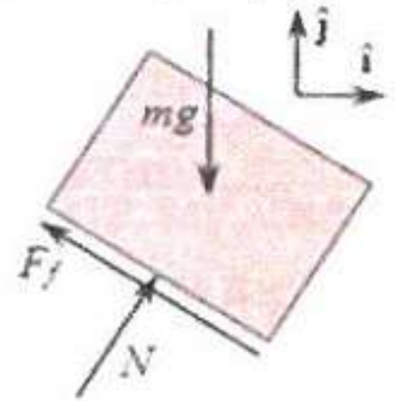
Методът, известен като механичен анализ на „свободно тяло", е метод за механично изследване на част от дадена система, която се намира в статично равновесие. Разглежданата част от системата може да се смята за "свободно тяло", ако въздействащите върху нея външни сили са приложени на границите й с останалите 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.

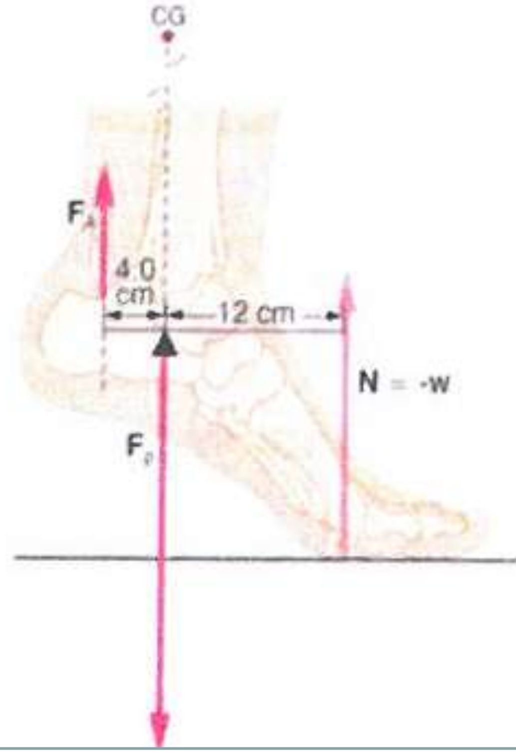
Тяло върху наклонена плоскост



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 минават през стави.

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.

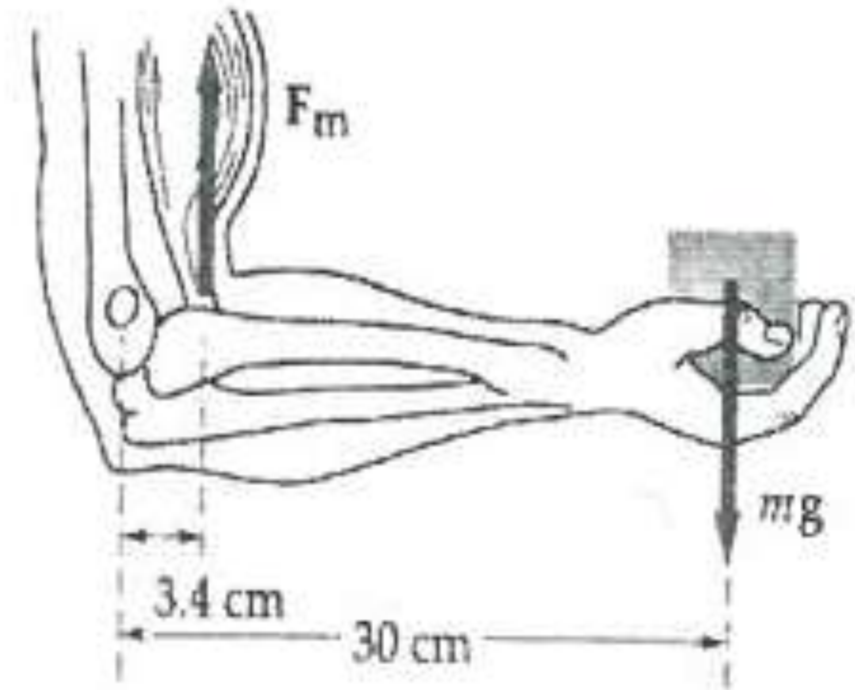
2. Избира се подходяща координатна система и спрямо нея се определят компонентите на всяка сила по осите Ох и Оу.

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.

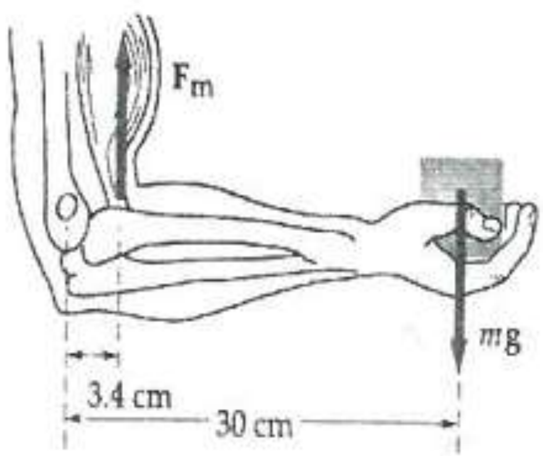
6. Математическото решение на съставената пълна система от уравнения дава отговор на физическата задача за анализ на силите.

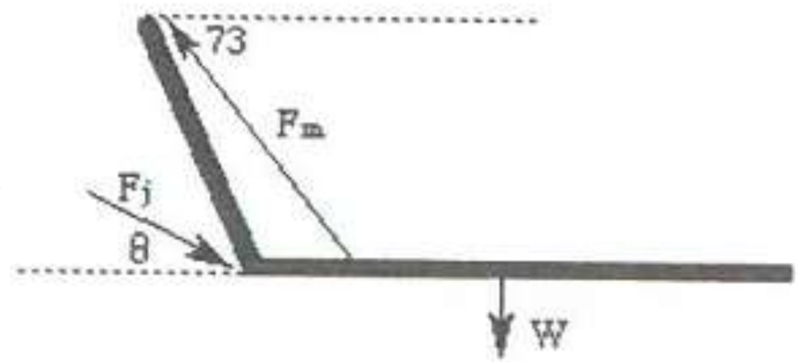


Като пример, нека анализираме като свободно тяло ръката от китката до лакътя, когато в ръката има някакъв товар. Нека теглото на предната част на ръката и дланта $\mathbf{W_p}$ е 20 N, а на товара - $\mathbf{W_{тр}}$ = 117 N, т.е. общата гравитационна сила $\mathbf{W} = \mathbf{W_p} + \mathbf{W_{тр}}$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

За да се реши тази задача се прилага описания по-горе алгоритъм.

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 й 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 $\mathbf{F_m}$. Приложната точка на мускулната сила на бицепса е в ръката на 4 см от лакътя. Горната част на ръката (раменната кост) упражнява сила $\mathbf{F_j}$ при лакътната става върху долната част за да я поддържа в определена позиция. Теглото на предната част на ръката и дланта $\mathbf{W_p}$ е 20 N, а на товара - $\mathbf{W_{тр}}$ = 117 N. Общата гравитационна сила $\mathbf{W}$ = 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.

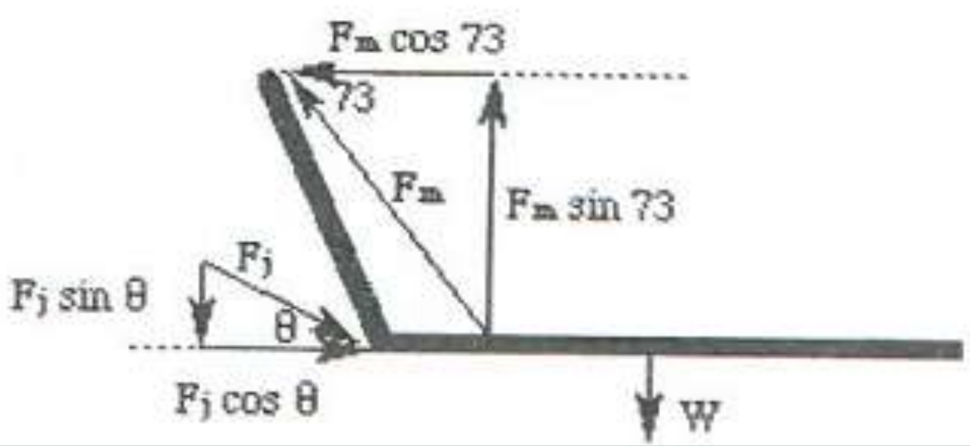
4. Намират се x и y компонентите на всяка сила по координатните оси Ox и Oy. Използват се различни връзки между ъглите на схемата - допълнителни, кръстни, съседни и др., за да се идентифицир необходимите ъгли; може да се начертаят правоъгълни триъгълници за всяка сила, чийто хипотенузи са сили и чийто страни са паралелни на координатните оси Ox и Oy (т.е. страните му са хоризонталните и вертикал проекции на силата). Ако векторът на силата сочи наляво и надолу, компонентата по оста Ox ще бъ 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: $\mathbf{F_j}\cos\theta$ и $-\mathbf{F_m}\cos 73^0$

по y: $\mathbf{F_m}\sin 73^0$, $-\mathbf{F_j}\sin\theta$ и $-\mathbf{W}$

Силата **W** е вертикална и няма хоризонтална компонента.



5. Преобразува се първото условие за механично равновесие в две уравнения за компонентите. (сумата на x компонентите, насочени наляво = сумата на x компонентите, насочени надясно; сумата на y компонентите, насочени нагоре = сумата на y компонентите, насочени надолу). Уравненията са:

по x: $\mathbf{F_m} \cos 73^0 = \mathbf{F_j} \cos\theta$

по y: $\mathbf{F_m} \sin 73^0 = \mathbf{W} + \mathbf{F_j} \sin\theta$

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 $\mathbf{F_j}$ действа в опорната точка, нейното рамо е 0 и следователно нейният въртящ момент е 0. Приложната точка на мускулната сила $\mathbf{F_m}$ е на 4 см от лакътя, а на гравитационната сила **W** - в средата на лакътната кост, дълга 40 см, т.е. на 20 см от лакътя. Компоненти на силите, които са перпендикулярни на лоста на ръката, са $\mathbf{F_m}\sin73^0$ и **W**. Въртящите моменти по и срещу посоката на часовниковата стрелка са $20.\mathbf{W}$ и $4.\mathbf{F_m}\sin73^0$.

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 $\mathbf{F_m} \sin 73^0 = 20\ \mathbf{W}$. 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 ($\mathbf{F_m}$, $\mathbf{F_j}$ и θ) е решима и се намира, че $\mathbf{F_m} = 717$ N, $\mathbf{F_j} = 587$ N, $\theta = 69^{\mathbf{0}}$.

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 обезпечава придвижване на ръката на значително разстояние с голяма скорост.