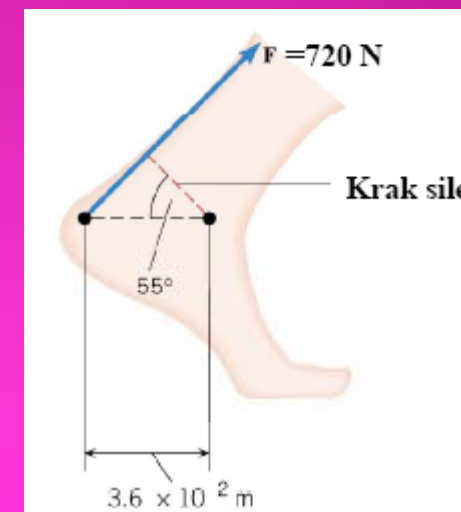
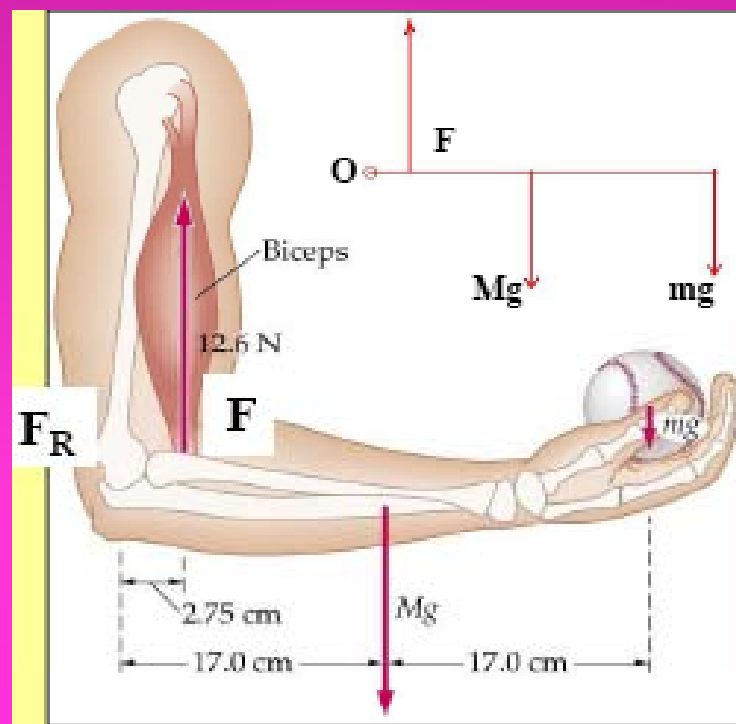




BIOMEHANIKA

SILA, MOMENT SILE, POLUGE



SADRŽAJ

- POJAM SILE
- MOMENT SILE
- POLUGE

SILA

❑ Šta je “sila” ??

Sila je mjera interakcije između dva tijela.

❑ Klasifikacija sila

1. Kontaktne sile (sile koje djeluju u kontaktu dva ili više tijela)

2. Nekontaktne sile (sile koje djeluju na daljinu)

❑ Karakteristike sila

➤ **Sila je vektorska veličina**

➤ **Sile mogu izazvati deformaciju tijela**

➤ **Sile tijelu mogu dati ubrzanje**

➤ **Sile uvijek djeluju u paru**

➤ **Intenzitet sile je mjerljiva veličina !!!! (na osnovu 2 i 3 osobine)**

➤ **Sila se mjeri u njutnima:** $\frac{kg \cdot m}{s^2} = 1N$ (*Newton*)

➤ **Učinak djelovanja sile na tijelo mjerimo promjenom energije tijela.**

NEWTONOVI ZAKONI MEHANIKE

Oblast fizike koja proučava i opisuje interakcije između tijela naziva se dinamika.

Temelje dinamike je uspostavio Isaac Newton (1642.-1727.)
pojam: push-pull (povuci-potegni) !!!

Newtonovi zakoni:

I zakon inercije

II zakon sile

III zakon akcije i reakcije

I Newtonov zakon

Tijelo je u translacijskoj ravnoteži ako je rezultanta sila koja djeluje na njega jednaka nuli:

$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 + \dots = 0$$

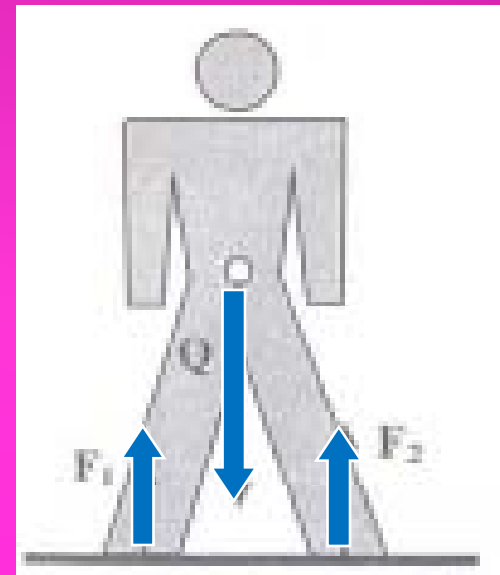
Tijelo tada miruje ili se kreće jednoliko po pravcu.

Pogrešna je interpretacija da tijelo miruje zato što na njega ne djeluje nikakva sila !!!!!!!!!!!

Na svako tijelo djeluje gravitacijska sila-težina tijela!!!!

Matematički zapis prvog Newtonovog zakona

$$F_R=0, v=\text{const}, a=0$$



Inercija i inercijalni sistemi



Penny
(0.003 kg)



Book
(2 kg)



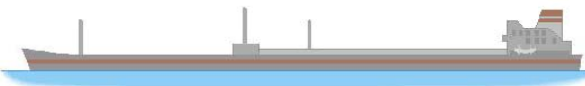
Bicycle
(15 kg)



Car
(2000 kg)



Jetliner
(1.2×10^5 kg)



Supertanker
(1.5×10^8 kg)

Inercija je svojstvo tijela da nastoji zadržati stanje mirovanja ili jednolikog pravolinijskog kretanja.

Da bi se inercija tijela mogla kvantitativno izraziti, uvodi se pojam mase tijela.

SI jedinica mase: 1kg

Sistem referencije u kojem vrijedi prvi Newtonov zakon zove se inercijalni referentni sistem.

Zemlja je dobar inercijalni referentni sistem.

Impuls tijela

Koristeći već poznate pojmove mase i brzine, u dinamici se uvodi još jedan pojam, fizička veličina koju zovemo impuls.

Impuls tijela jednak je proizvodu njegove mase i njegove brzine:

$$\vec{p} = m \cdot \vec{v}$$

SI jedinica: kg m/s

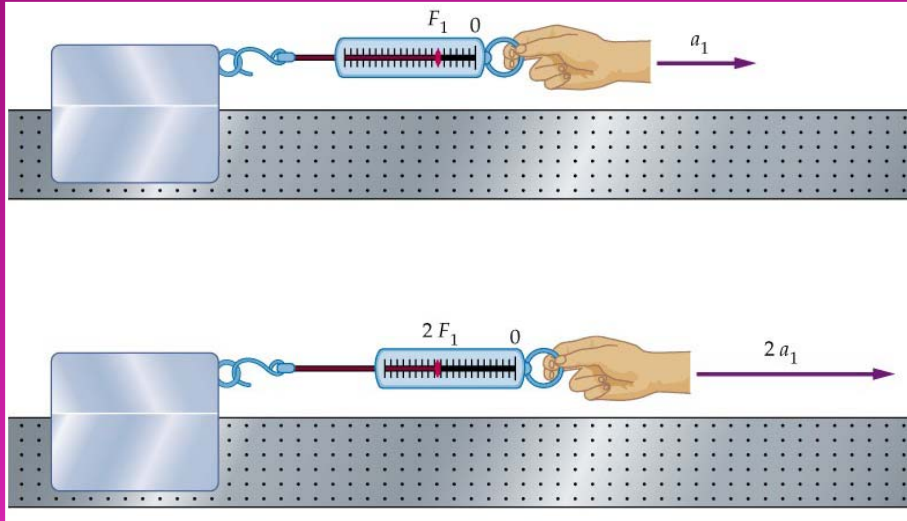
$$\vec{F}_R = 0, \vec{p} = m \cdot \vec{v} = \text{const}$$

- Impuls ima smjer brzine čestice.
- Korištenjem impulsa, prvi Newtonov zakon može se iskazati na sljedeći način:

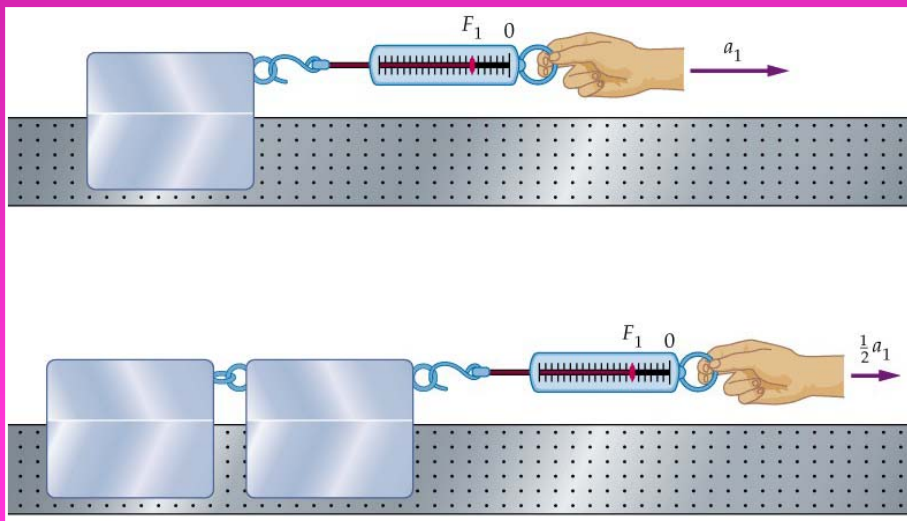
Kada je vanjska sila koja djeluje na tijelo jednaka nuli, impuls tijela ostaje sačuvan. (zakon o održanju impulsa)

II Newtonov zakon

$$a \sim F$$



$$a \sim \frac{1}{m}$$



Zbir svih sila (rezultujuća sila) koje djeluju na tijelo, daju tom tijelu njegovo ubrzanje!!

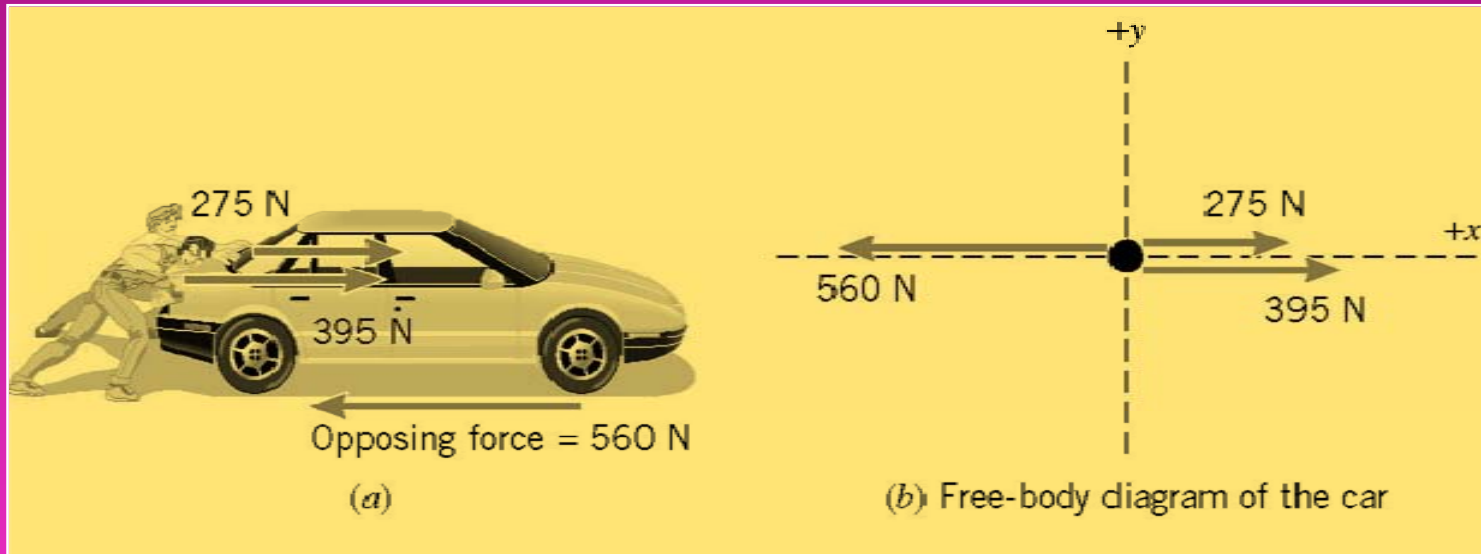
$$\vec{a} = \frac{\vec{F}_R}{m} \text{ ili } \vec{F}_R = m \cdot \vec{a}$$

Ubrzanje ima smjer vanjske rezultirajuće sile.

Sila ima iznos od 1 N ako tijelu mase 1 kg daje ubrzanje od 1 m/s^2 .

Primjer

Dva čovjeka guraju automobil. Prvi djeluje silom od 275 N a drugi silom od 395 N u istom smjeru. Sila koja se suprotstavlja guranju iznosa 560 N i djeluje u suprotnom smjeru. Ako je masa auta 1850 kg, odredi ubrzanje automobila



$$F_R = F_1 + F_2 + F_3 = (+275N) + (+395N) + (-560N)$$

$$F_R = +110N$$

$$a = \frac{F_R}{m} = \frac{+110N}{1850kg} = +0.059 \frac{m}{s^2}$$

Pozitivni predznak znači da ubrzanje ima smjer +x ose, dakle isti kao i sile kojima dva čovjeka guraju automobil.

III Newtonov zakon

Dok prva dva Newtonova zakona razmatraju djelovanje sile na jedno tijelo, III Newtonov zakon opisuje međudjelovanje dva tijela.



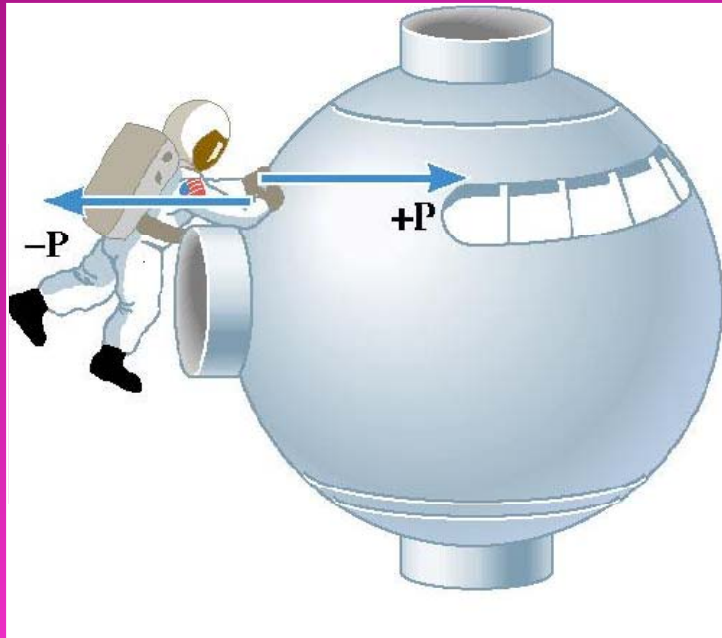
Dva tijela djeluju jedno na drugo silama koje su iste po intenzitetu i pravcu a suprotnog su smjera.

$$\vec{F}_{12} = -\vec{F}_{21}$$

Jednu silu zovemo sila akcije a drugu sila reakcije. One uvijek imaju hvatišta u dva različita tijela !!!!

Primjer

Astronaut mase $m_a=92$ kilograma djeluje silom $P=+36\text{N}$ na svemirsku sondu mase $m_s=11000$ kg. Odrediti ubrzanje astronauta i sonde.



Po trećem Newtonovom zakonu, sonda djeluje na astronauta silom jednakog intenziteta a suprotnog Smjera:

$$P = - 36 \text{ N.}$$

Premda su sile akcije i reakcije po iznosu jednake, one, po drugom Newtonovom zakonu, tijelima na koja djeluju ne daju isto ubrzanje. !!

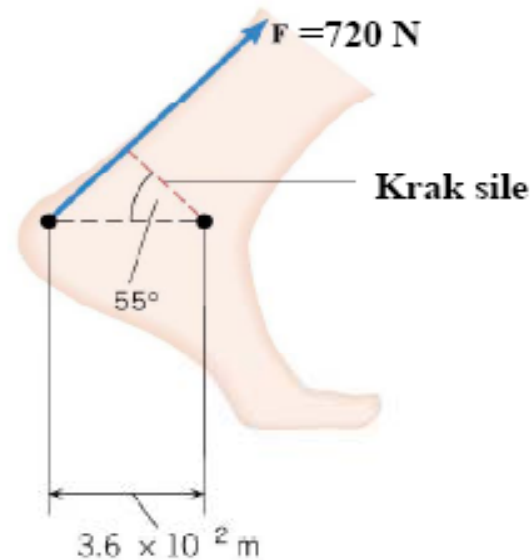
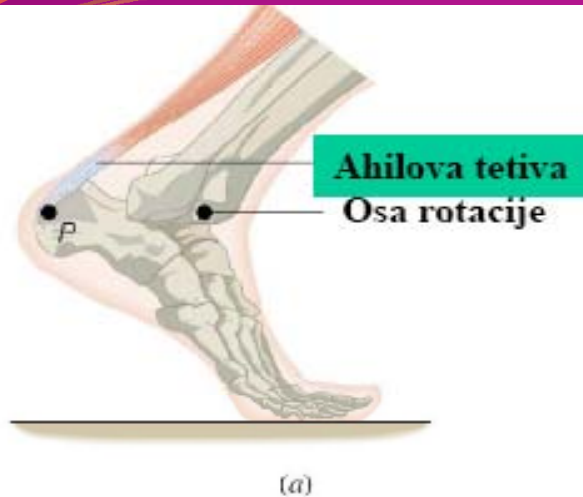
Ubrzanje sonde je:

$$a_s = \frac{P}{m_s} = \frac{+36\text{N}}{11000\text{kg}} = +0.0033\text{m} / \text{s}^2$$

Na isti način se računa ubrzanje astronauta:

$$a_a = \frac{-P}{m_a} = \frac{-36\text{N}}{92\text{kg}} = -0.39\text{m} / \text{s}^2$$

Moment sile



Moment sile u sebi uključuje obje veličine od kojih zavisi rotaciono kretanje krutog tijela - silu i krak sile.

Moment sile = (intenzitet sile) x (krak sile)

$$M = F \cdot l$$

Moment sile je pozitivan ako sila nastoji rotirati tijelo u smjeru suprotnom od smjera kazaljke na satu.

Moment sile je negativan ako sila nastoji rotirati tijelo u smjeru kazaljke na satu.

SI jedinica: Newton · metar = Nm

Primjer: Nožni zglob ($F=720 \text{ N}$)

$$l = d \cdot \cos \theta$$

$$l = 3.6 \cdot 10^{-2} \text{ m} \cdot \cos 55^\circ$$

$$l = 2.06 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M = F \cdot l$$

$$M = -720 \text{ N} \cdot 2.06 \cdot 10^{-2} \text{ m}$$

$$M = -14.87 \text{ Nm}$$

Kruto tijelo u ravnoteži

Šta nazivamo krutim tijelom??

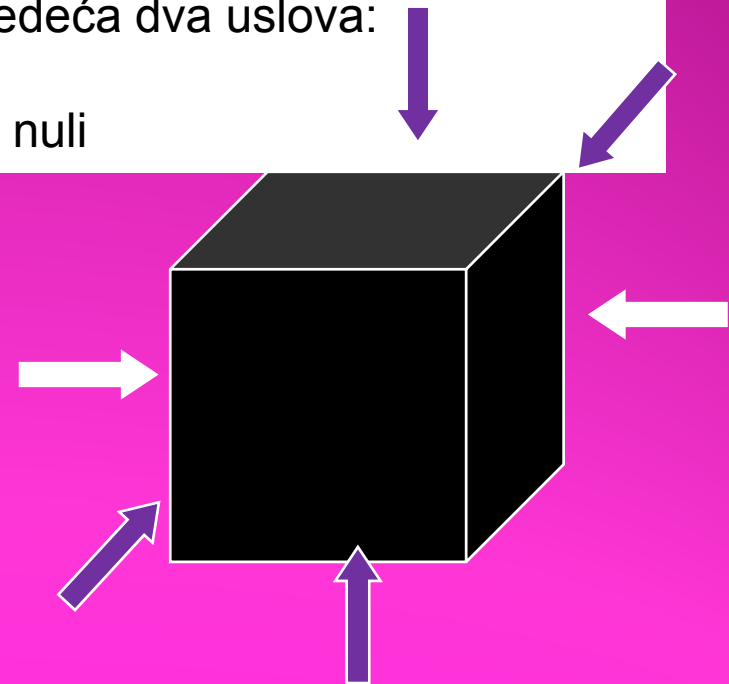
Tijela koja pod dejstvom vanjskih sila ne mijenjaju formu nazivaju se kruta tijela.

Za kruto tijelo kažemo da je u stanju ravnoteže ako se ne mijenja niti njegova translatorna brzina niti se mijenja njegova ugaona brzina rotacije.

U stanju ravnoteže moraju biti ispunjena sljedeća dva uslova:

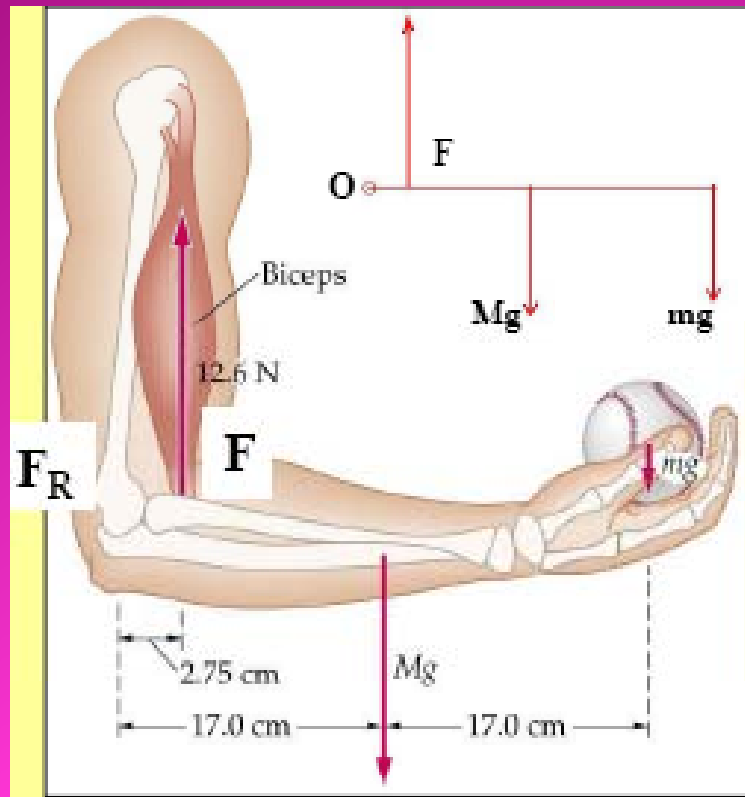
- ✓ Suma svih vanjskih sila jednaka je nuli
- ✓ Suma momenata vanjskih sila jednaka je nuli

$$\sum \vec{F}_{vanjske} = 0, \quad \sum F_{x,vanjske} = 0, \quad \sum F_{y,vanjske} = 0$$
$$\sum M = 0$$



Primjer

Čovjek drži u ruci baseball lopticu težine 1.2N, kako je prikazano na slici. Ruka mase 1.2 kg djeluje silom težine ka dole u tački na udaljenosti 17 cm od zgloba. Odrediti silu reakcije zgloba F_R u tački O i silu kojom na podlakticu djeluje biceps. Neka je osa y orijentirana prema gore.

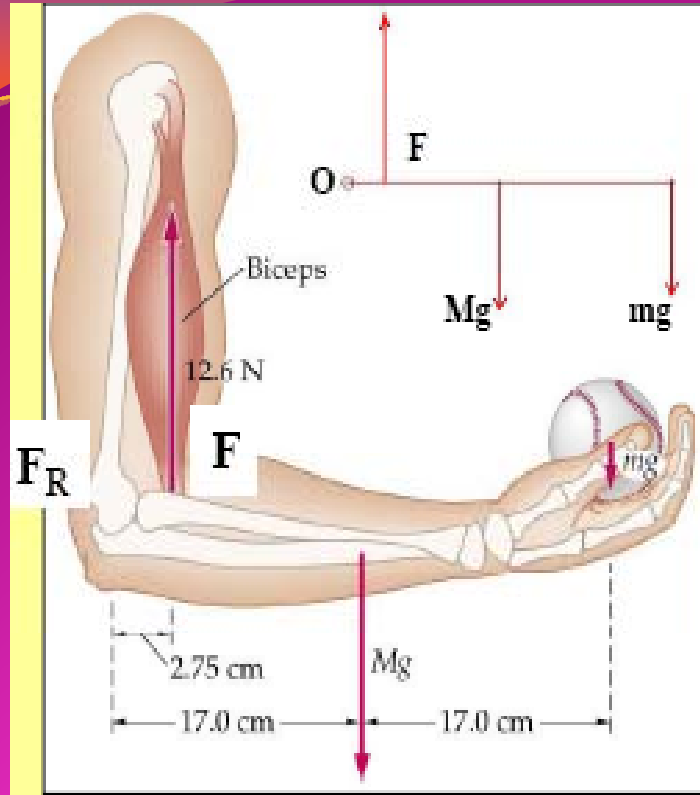


Postoje samo sile u pravcu y ose.

$$F_R + F - Mg - mg = 0$$

$$F_R + F - 1.2\text{kg} \cdot 9.81\text{m} / \text{s}^2 - 1.42\text{N} = 0$$

$$F_R + F = 13.192\text{N}$$



Jednačina ravnoteže za moment sile.

Moment sile reakcije zgloba je nula, sile F je pozitivan, a sile težine ruke i baseball loptice negativan. Idemo računati momente sile:

$$M_F = +F \cdot 0.0275 \text{ m}$$

$$M_{Mg} = -1.2 \text{ kg} \cdot 9.81 \text{ m/s}^2 \cdot 0.17 \text{ m} = -2.0012 \text{ Nm}$$

$$M_{mg} = -1.42 \text{ N} \cdot 0.34 \text{ m} = -0.4828 \text{ Nm}$$

$$F \cdot 0.0275 - 2.0012 - 0.4828 = 0$$

$$F = 90.327 \text{ N}$$

Uvrštavanjem ove vrijednosti u prethodnu jednačinu, dobije se:

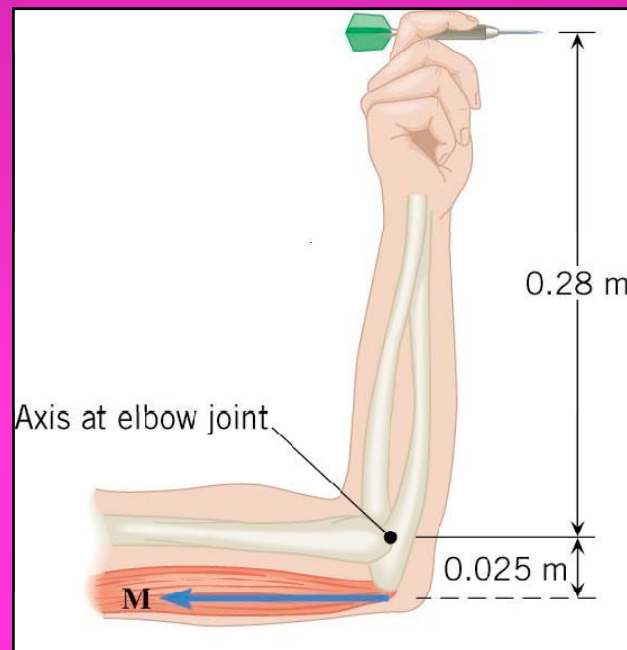
$$F_R + 90.327 = 13.192 \text{ N}$$

$$F_R = -77.135 \text{ N}$$



BIOMEHANIKA

Poluge



➤ Definicija poluge

➤ Klasifikacija prostih poluga

poluge I vrste

poluge II vrste

poluge III vrste

poluge sile i poluge brzine

➤ Aplikacija poluga na lokomotorni sistem čovjeka

Donja vilica kao jednakokraka poluga

Most

Poluge

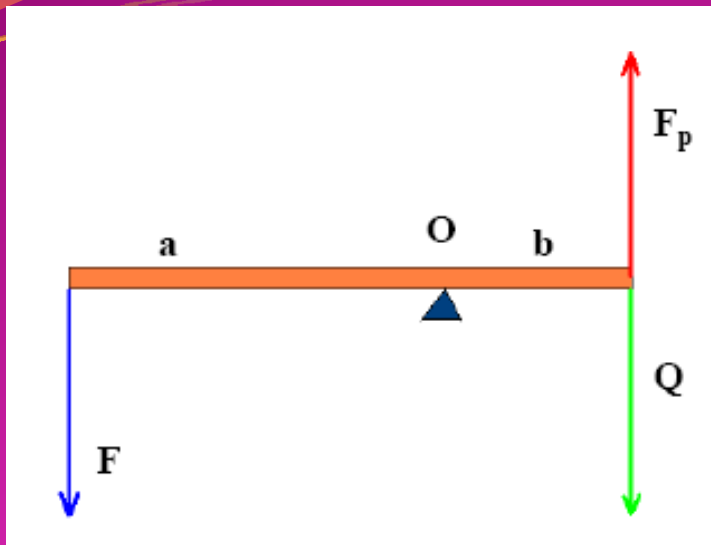
Šta nazivamo polugom ??

Poluga je kruto tijelo koje se može okretati oko ose ili oslonca ako na njega djeluje sila.

U praktičnoj primjeni na polugu uvijek djeluju dvije sile.

Poluge djelimo na dva načina

- Prema uzajamnom položaju napadnih tačaka sila
 - Poluge I, II i III vrste
- Prema vrijednosti koeficijenta prijenosa "k"
 - Poluge sile
 - Poluge brzine



F = dejstvujuća sila
 F_p = preinačena sila može se razlikovati od sile F po smjeru i iznosu
 Q = sila otpora ili tereta $Q = -F_p$

Stanje rotacijske ravnoteže će se postići kada je zbir svih momenata sila s obzirom na tačku O jednak nuli:

$$M_F + M_Q = 0$$

a kako je

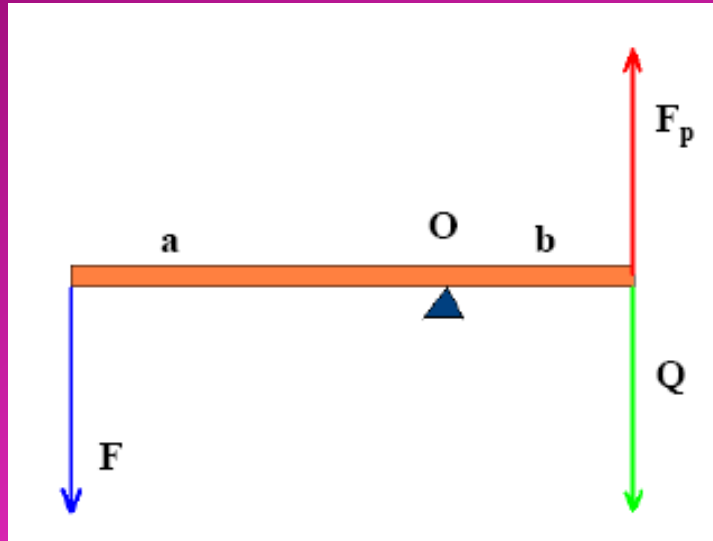
$$M_F = F a \text{ i } M_Q = Q b$$

Arhimedov zakon proste poluge.

$$F \cdot a + (-Q \cdot b) = 0$$

$$F \cdot a = Q \cdot b$$

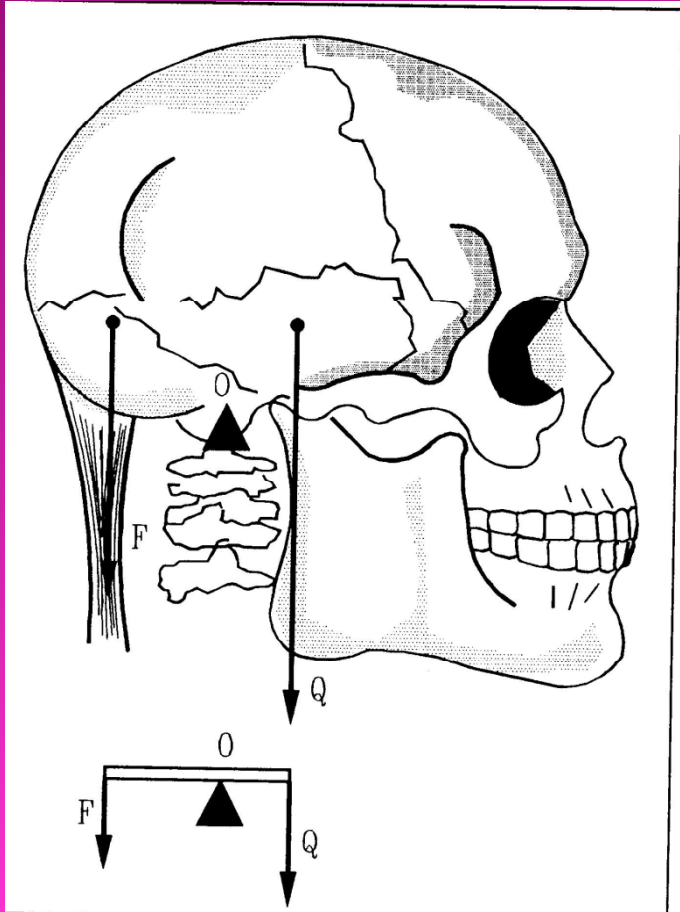
Koeficijent prijenosa poluge. Koeficijent prijenosa (mehanička prednost) poluge definisan je kao količnik iznosa prenesene sile i dejstvujuće sile.



$$k = \frac{F_p}{F} = \frac{Q}{F} = \frac{a}{b}, \quad F_p = k \cdot F$$

- Kada je $k > 1$ ($a > b$) prenesena sila je po iznosu veća od dejstvujuće sile
- Kada je $k < 1$ ($a < b$) prenesena sila je po iznosu manja od dejstvujuće sile

Poluge I vrste



Osobine:

- Dvokrake poluge
- Imaju oslonac između aktivne sile i tereta.
- Ako su krakovi sila isti, ravnokrake poluge.
- U općem slučaju su raznokrake poluge.

Glava čovjeka u normalnom položaju.

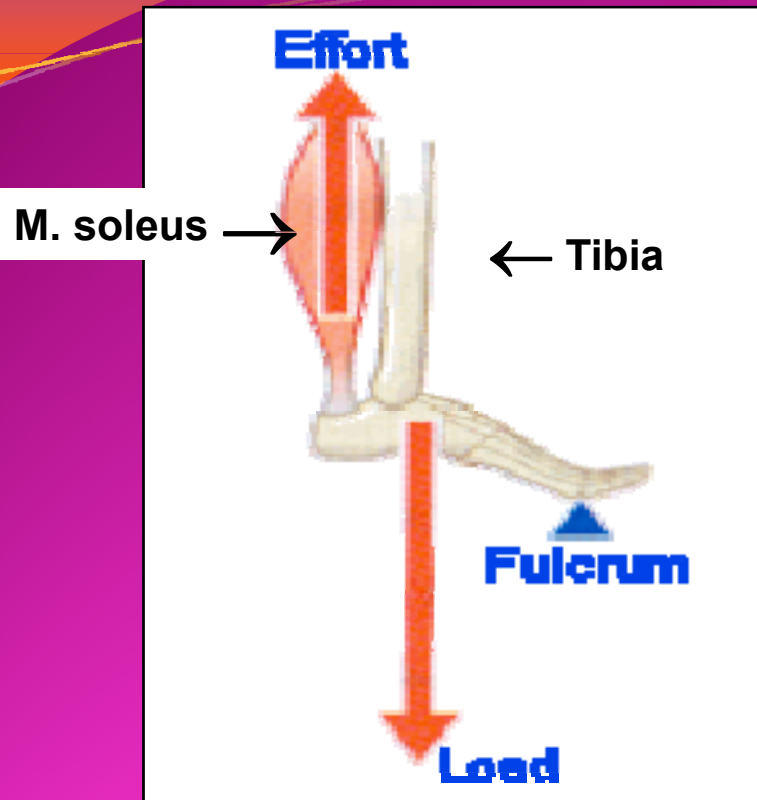
Aktivna sila- kontrakcija vratnih mišića pripojenih za potiljačnu kost glave.

Teret- Težina glave

Oslonac- na spoju lobanje i prvog vratnog pršljena.

Veliki koef. prijenosa. Dovoljna je nekoliko puta manja sila F od sile Q da bi glava bila u ravnoteži.

Poluge II vrste

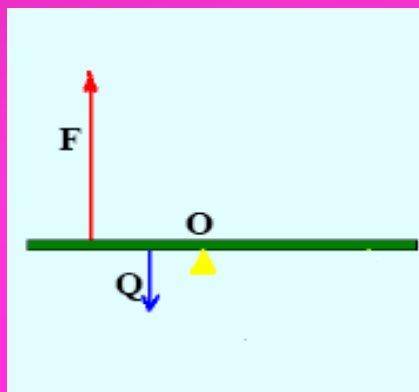


Osobine

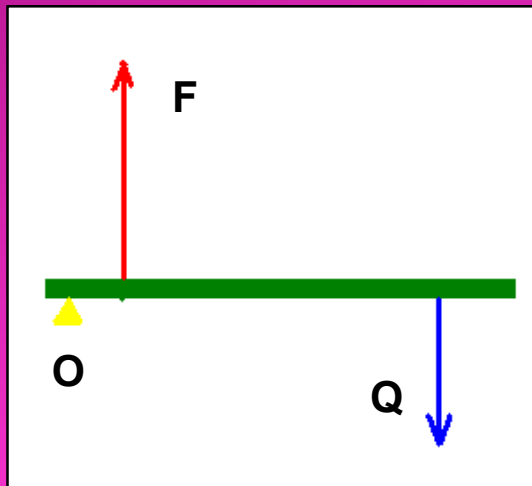
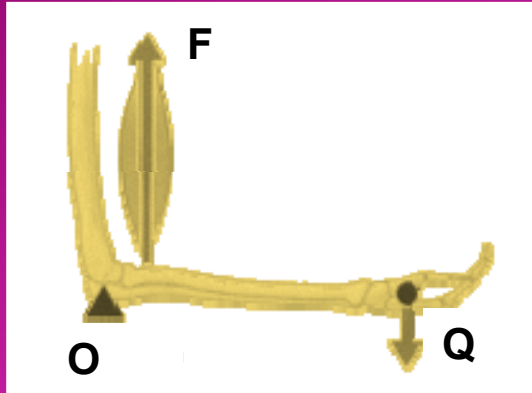
- ❑ Napadna tačka tereta Q nalazi se između oslonca i napadne tačke aktivne sile
- ❑ Jednokraka poluga.

Stopalo pri uzdizanju na prste

- Aktivna sila potiče od potkoljениčnih mišića.
- Pravac djelovanja sile Q (pola težine čovjeka) prolazi kroz tibiju i skočni zglob.
- Veliki koeficijent prijenosa pa relativno slabi mišići podižu čitavo tijelo



Poluge III vrste



Osobine

- ❑ Napadna tačka aktivne sile F nalazi se između oslonca i napadne tačke tereta Q
- ❑ Sila F je značajno veća od sile Q .
- ❑ Jednokraka poluga
- ❑ Najčešća vrsta poluga u ljudskom tijelu.

Podlaktica-Oslonac u centru zgloba lakta.
Aktivna sila F potiče od kontrakcije bicepsa.
Teret Q može biti težina predmeta u šaci.

Primjer.

Koeficijent prijenosa poluge podlaktice je $1/10$.
Biceps djeluje silom od 2830N .
Odrediti ukupnu silu tereta Q .

$$k = \frac{Q}{F} \Rightarrow Q = k \cdot F = 0.1 \cdot 2830\text{N} = 283\text{N}$$

Poluga sile

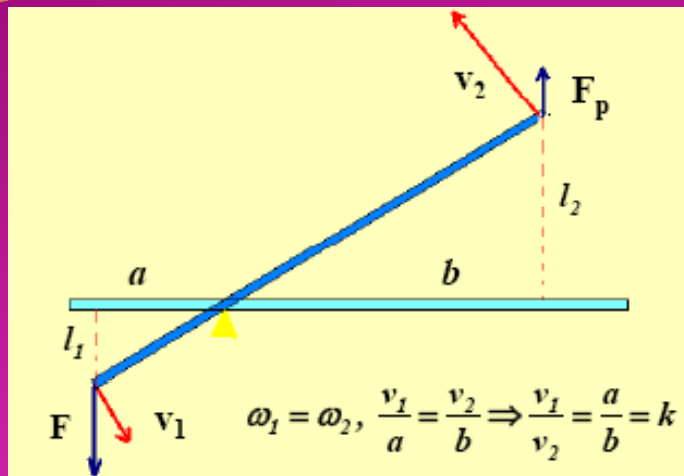
- ❑ Ako je koeficijent prijenosa poluge veći od 1, $k > 1$, kažemo da je to poluga sile.
- ❑ Ako je koeficijent prijenosa poluge manji od 1, $k < 1$, kažemo da je to poluga brzine
- ❑ Poluge druge vrste su poluge sile, a poluge treće vrste poluge brzine.
- ❑ Poluge prve vrste mogu biti kako poluge sile tako i poluge brzine



Poluga sile transformira aktivnu, djelujuću, silu u prenesenu silu F_p većeg intenziteta.

Zubarska kliješta. Sistem od dvije poluge sa istim osloncem. Krak aktivne sile znatno duži od kraka tereta.

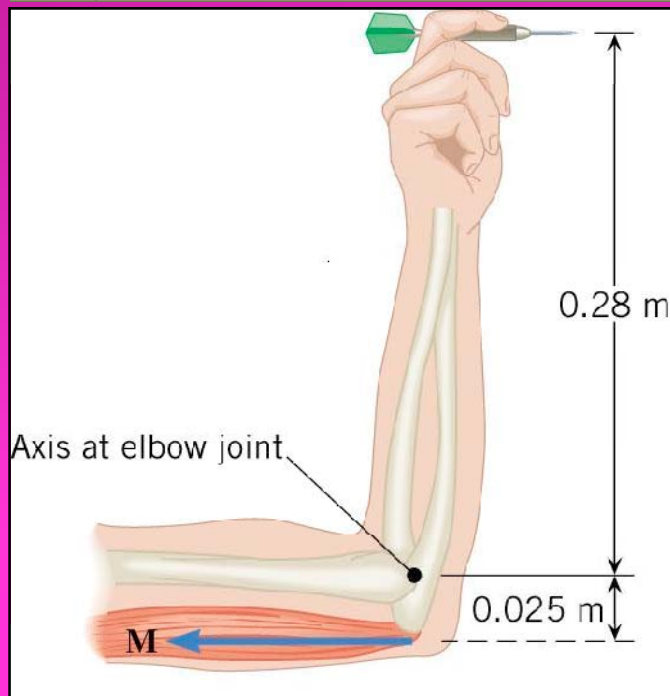
Poluge brzine



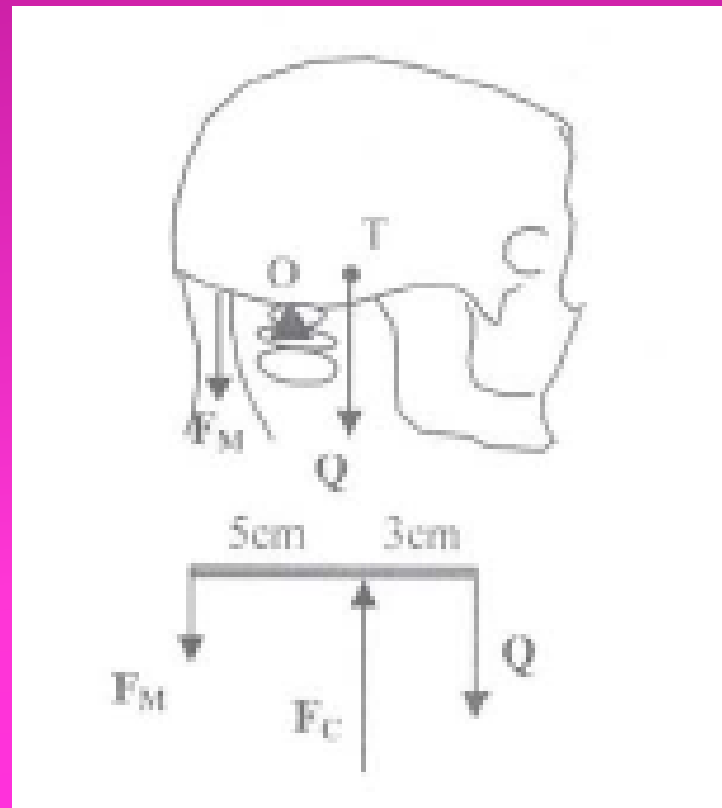
$$l_1 : l_2 = a : b, \quad \frac{l_1}{t} : \frac{l_2}{t} = a : b, \quad \frac{v_1}{v_2} = \frac{a}{b} = k$$

$$v_2 = \frac{v_1}{k}$$

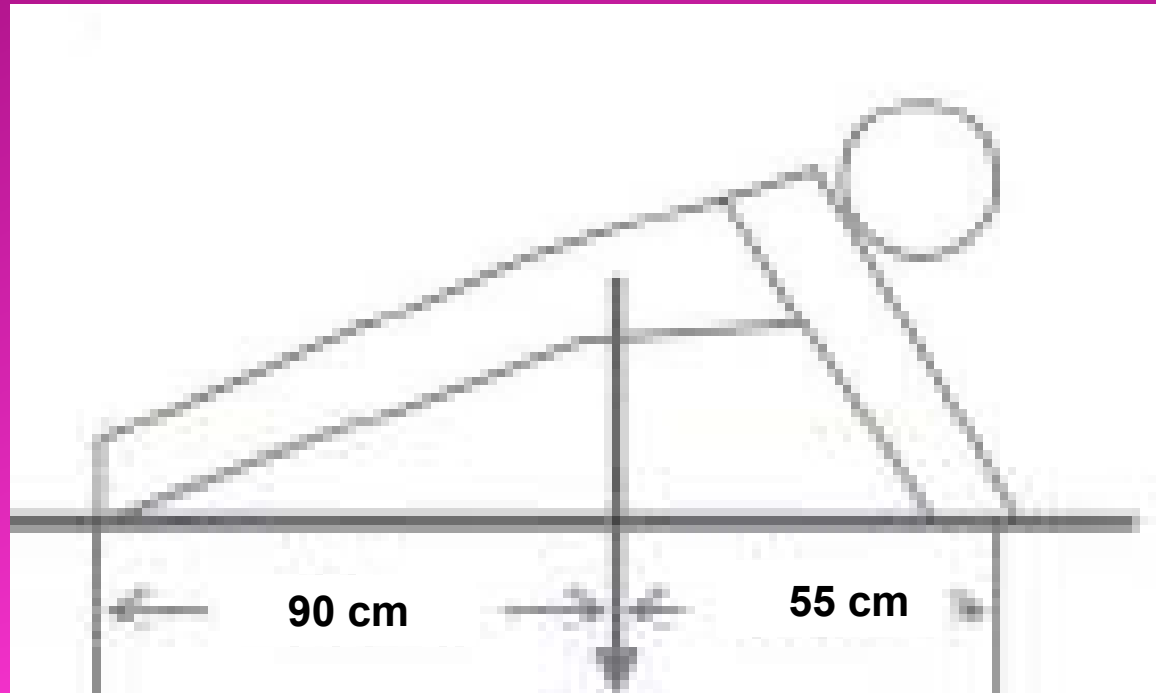
Kako je $k < 1$ za poluge brzine, to je brzina V_2 veća od brzine v_1 .



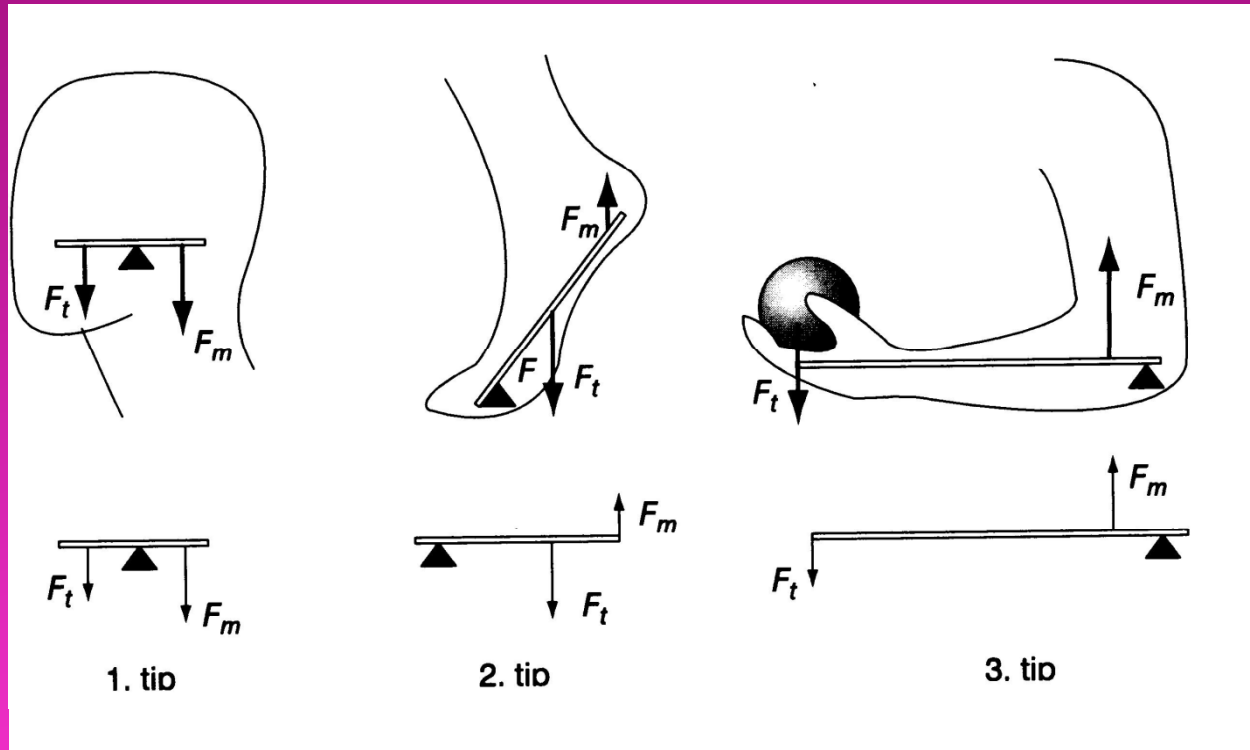
Da bi čovjek držao glavu u vertikalnom položaju ravnotežu težini glave održava sila vratnog mišića F_M . Odrediti veličinu ove sile za slučaj kada je masa glave 3 kg, kao i silu reakcije prvog cervikalnog pršljena F_C . Rastojanje od napadne tačke težine glave do tačke oslonca na prvom cervikalnom pršljenu iznosi 3 cm dok je rastojanje od tačke oslonca do napadne tačke sile vratnog mišića 5 cm.



Osoba mase 60 kg podiže se iz ležećeg položaja na ruke, kao na slici. Kolike će biti vertikalne komponente sila kojima pod djeluje na ruke čovjeka?



REZIME O POLUGAMA



1. Poluga ravnoteže, efikasnost manja od 1
2. Poluga snage, efikasnost veća od 1,
3. Poluga brzine, efikasnost mnogo manja od 1