

Fizika kostiju

Aleksandra Milošević¹

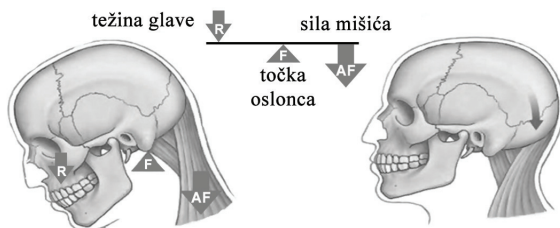
- Gdje si krenuo?
- Nigdje.
- Po što si pošao?
- Po ništa.
- Zašto onda ideš?
- Da ne bih stajao.



Poluga

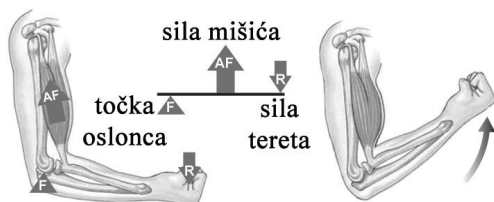
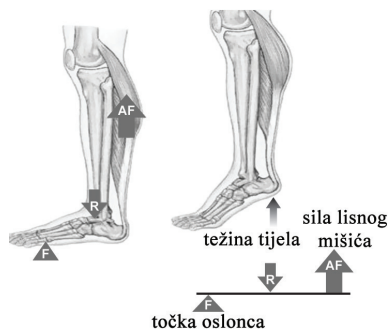
Da bi živio i obavljao svoje dnevne aktivnosti čovjek ima potrebu za kretanjem. Na čovjekovo tijelo djeluju vanjske sile (npr. gravitacijska) i unutarnje koje su posljedica

¹ Autorica je dipl. fizičarka iz Beograda; e-pošta: einstein65@beotel.net



Glava na ramenima je dvokraka poluga. U težištu djeluje težina glave (R). Točka oslonca je na spoju lubanje i prvog vratnog kralješka (F). Ravnotežu drži sila mišića na mjestu spajanja vrata s lubanjom (AF). Poluga je u ravnoteži kada su moment sile i moment tereta međusobno jednaki. Odnos tereta koji se podiže polugom i upotrijebljene sile, predstavlja *koeficijent prijenosa poluge*. Obzirom da je sila mišića manja od težine glave, koeficijent prijenosa je veći od jedan ($K > 1$), kažemo da je *glava poluga sile*. Točka oslonca se nalazi između težine glave i sile mišića, tako da čovjekova glava predstavlja *polugu prve vrste*.

Stopalo je poluga druge vrste. Točka oslonca je u vrhovima prstiju. Napadna točka težine tijela je u skočnom zglobu. Sila mišića djeluje na petnu kost preko Ahilove tetive. Obzirom da je sila velikog lisnog mišića manja od polovice tjelesne težine, koeficijent prijenosa je veći od jedan ($K > 1$), stoga je *stopalo poluga sile*. "Mali" mišići podižu čitavo tijelo. Napadna točka težine tereta (R) i aktivne sile (AF), nalaze se s iste strane točke oslonca, te je *stopalo jednokraka poluga*.



Ruka je poluga treće vrste. Točka oslonca je u zglobu lakta. Napadna točka sile mišića je u mjestu spajanja bicepsa za podlakt. Krak sile je manji od kraka tereta ($K < 1$), stoga je *ruka poluga brzine*. Sila mišića i sila tereta su s iste strane točke oslonca, te je *ruka jednokraka poluga*. *Poluga brzine* je i *donja vilica*, [1].

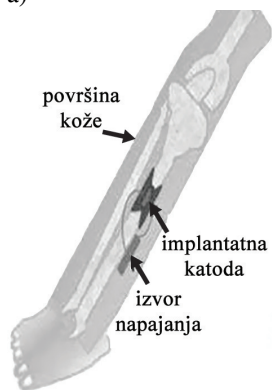
Primjena elektromagnetskog polja u ortopediji

Elastičnost kostima osigurava protein *kolagen*. Elastičnost kostiju se smanjuje s godinama. Pri hodaњу kralješci klize i omogućuju fleksibilnost kičme. Stalni pokreti i trenje koje nastaje između njih mogli bi dovesti do trajnog oštećenja kralježaka. Da bi se to spriječilo između kralježaka postoje diskovi – otporna hrskavica koja igra ulogu prigušivača udara. Pri svakom koraku zemlja djeluje silom na naše tijelo kao reakcija na njegovu težinu. Pri porođaju bedrena kost kod žene se izdužuje i to omogućuje normalan porod. Pri disanju ispoljava se elastičnost prsnog koša odnosno rebara.

Pri djelovanju prekomjerne sile na kost, prema Hookeovom zakonu, dolazi do njezine deformacije, koju određuje normalni napon (djelovanje sile na jedinicu površine). Pri naponu kidanja dolazi do prijeloma ili napuknuća kosti.

Kosti nisu mrtva masa u ljudskom organizmu. One su “spremnik” kalcija i fosfora, koji omogućuje obnavljanje nakon prijeloma. Slikovito rečeno, kada se kost prelomi, njeno namještanje je slično lijepljenju komada polomljene šalice. Da bi kost srasla mora se dobro namjestiti, a to znači da dijelovi polomljene kosti moraju naleći jedni na druge, što u praksi nije lako postići. Kosti posjeduju prirodnu sposobnost da se same regeneriraju. Na mjestu prijeloma, kosti i njeni dijelovi, meka tkiva, krvne žile i mišići su ozlijeđeni i razderani. Jedan dio tkiva umire. U okolici prijeloma nalaze se sitni komadići polomljene kosti, regija je natopljena krvlju i limfom (sastav sličan krvnoj plazmi) uslijed ozljede. Vrlo brzo nakon prijeloma počinju se stvarati nove stanice vezivnog tkiva. Između dva kraja prelomljene kosti brzo se razvija velika masa novog organskog matriksa (međustanična tvar), koju čini kolagen i u njoj se talože kalcijeve soli $\text{Ca}^{+2}(\text{HPO}_4)^{-2}$ (anorganski dio matriksa). Tijekom 3–4 dana nakon prijeloma one formiraju tkivo koje povezuje krajeve kosti. U cijeloj ovoj priči ključnu ulogu igra *piezoelektrični efekt* koji se javlja kod kosti. Kosti same po sebi djeluju kao senzor za silu. Kada se izlože mehaničkom djelovanju sile, kosti proizvode električni naboj proporcionalan unutarnjem opterećenju. Ovaj naboj stimulira stvaranje koštanog materijala (taloženje kalcijevih soli) što dovodi do jačanja koštane strukture na mjestu deformacije odnosno prijeloma. Električne osobine koštanog tkiva održavaju njegov sastav i utječu na proces koštane regeneracije. Pri kompresiji kosti generira se elektronegativni potencijal i on izaziva resorpciju kosti, dok se u području koje je izloženo rastezanju generira elektropozitivan potencijal i stvara se kost. Događa se da je proces samoregeneracije iz nekog razloga usporen, tada se pribjegava elektrostimulaciji koja ima zadatak potpomognuti električne parametre koštanog tkiva, koji su narušeni povredom i time stvoriti uvjete za ubranu regeneraciju. U tu svrhu se koristi električno, vremenski promjenljivo elektromagnetsko polje (EMP) i impulsno elektromagnetsko polje (IEMP).

a)



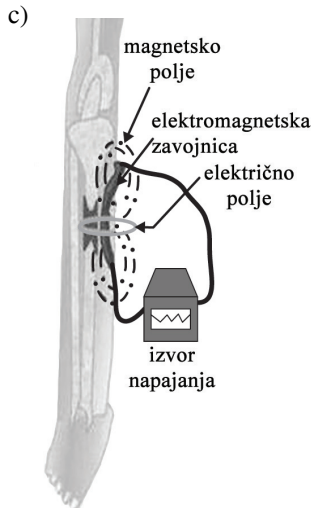
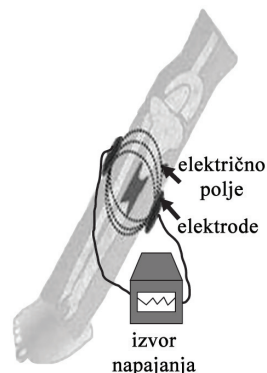
Električnim i slabim elektromagnetskim poljem (EMP) moguće je stimulirati koštano cijeljenje zahvaljujući postojanju piezoelektričnosti. Primjenom energije iz okoliša mijenja se polarizacija stanične membrane, a učinak na fibroblaste (stanice vezivnog tkiva koje imaju gradivnu ulogu), hondroblaste (aktivne hrskavične stanice) i osteoblaste (stanice koštanog tkiva) stimulira gradnju kosti. Korištenjem impulsa posebnog tipa i frekvencije (IEMP), moguće je stimulirati stvaranje kosti i tamo gdje se ona spontano ne stvara. Ovu pojavu prvi su opisali japanski ortopedi Fukada i Jasuda.

Prvi terapijski model a) sastojao se u korištenju implantne elektrode (katode) i izvora napajanja kojim se osiguravao direktan strujni tok na mjestu prijeloma. Ovo je predstavljalo invazivnu (napadnu) metodu stimulacije osteogeneze (nastanka kosti). Pri ovoj metodi koristi se istosmjerna struja jačine 5–100 mA. Katoda se implantira na mjestu prijeloma i povezana je s izvorom napona. Na mjestu prijeloma se generira električno polje.

Primjena promjenljivog elektromagnetskog polja (EMP) u zarastanju kosti b), kao neinvazivna metoda, koristi se od 70-tih godina prošlog stoljeća. Pod utjecajem (EMP) dolazi do promjene u polarizaciji stanične membrane i djelovanjem na fibroblaste i hondroblaste stimulira stvaranje kosti. Njezina dobra strana je što povećava

vaskularizaciju – lokalnu cirkulaciju. Povećanje lokalne cirkulacije je važno kada je koštano srastanje iz nekog razloga usporeno. Povećava se parcijalni tlak kisika u tkivu i iskorištava se ATP (adenozin trifosfat) u mitohondrijima stanica. Na mjestu prijeloma s obje strane na površini kože postavljaju se dvije elektrode koje su povezane s izvorom napajanja. Korištenjem napona od 1–10 V, frekvencije 20–200 kHz generira se električno polje od 1–100 mV/cm, u području prijeloma i ubrzava zarastanje.

b)



Dobru učinkovitost u srastanju kosti pokazalo je učinak pulsirajućeg elektromagnetskog polja (IEMP) (c). To je specifično elektromagnetsko polje (EMP), koje se sastoji od niskofrekventnih impulsa ili povorke niskofrekventnih “paketa” visokofrekventnih impulsa. Osnovna frekvencija je podijeljena u pakete impulsa koji traju $60 \mu\text{s}$ (mikrosekundi) s promjenjivom pauzom 1000 do $10\,000 \mu\text{s}$ što se ponavlja 5–640 puta. Ova metoda objedinjuje efekte niskofrekventnog i visokofrekventnog (EMP). Niskofrekventne komponente stvaraju transmembranski potencijal stanice, a visokofrekventne komponente omogućuju učinkovito unošenje elektromagnetske energije u organizam. Mjesto prijeloma se tretira indukcijskom zavojnicom koja je povezana s izvorom napajanja. Jakost magnetskog polja varira od 1 do 20 G (Gausa) i ovisi o vrsti tkiva na mjestu prijeloma. Električno polje ima jačinu od 1 do 100 mV/cm.

Primjenom IEMP u stomatologiji ubrzava se regeneracija periodičnih struktura narušenih tijekom bolesti i utječe na stvaranje i stabiliziranje novih veza između alveolne kosti i veziva oštećenog paradentopatije, [1], [2], [3].

Literatura

- [1] F. C. FUNG, *Biomechanics. Motion, Flow, Stress and Growth*, Springer, New York, 1990.
- [2] M. D. ARTHUR C. GUYTON, *Medicinska fiziologija*, Medicinska knjiga, Beograd – Zagreb, 1990.
- [3] TANJA ZEČEVIĆ-LUKOVIĆ, OLIVER MILOŠEVIĆ, BRANKO RISTIĆ, *Vojnosanitetski pregled*, volumen 64, broj 10, 701–705, 2007.