

1. POJAM I ZNAČAJ PREDMETA

- ✧ RAZVOJ "NAUKE O POKRETU"
- ✧ BIOMEHANIČKI PRINCIPI I METODE ISTRAŽIVANJA

Kretanje je osnovna životna pojava. U materijalnom svetu živa bića, kao i čovek, kreću se po zakonima mehanike, jer mehaničko kretanje je promena položaja materijalne čestice u prostoru i vremenu.

Čovečji organizam, kao "biosistem", uz komandu nervnog sistema u stanju je da nauči vrlo složene pokrete tokom života. Jedna grana biomehanike se bavi izučavanjem ontogenezom pokreta (razvoj pokreta).

Biomehanika sportskih pokreta, kao nauka koja izučava ljudske pokrete, pronalazi zakonitosti, koje sa strane mehanike utiču na sportske rezultate. U isto vreme biomehanika se razlikuje od mehanike (neživih tela) čvrstih tela.

Mehanika krutih tela neposredno se ne može primeniti na biološku formu kretanja. Istina je da čisto mehaničko kretanje u prirodi nije uobičajeno u toj formi u kojoj je klasična mehanika predstavljala Newtonove osnovne zakone mehanike koji se odnose na apsolutno kruta tela, koja se ne deformišu (ne menjaju oblik). Ovakva tela u prirodi nisu prisutna. Ovi zakoni su ipak primenjeni u prirodi iz razloga što je promena oblika tela toliko mala da je maltene postojećim instrumentima nemerljiva.

Mehaničko kretanje čoveka, koga izučava biomehanika sportskog kretanja, u

sebi sadrži i mehaničko kretanje, ali pošto se odvijaju u biološkom sistemu (biosistem) imaju mnogo veći značaj. Oblik čovečjeg tela u pokretu je u stalnoj promeni. Rad sile prilikom pomeranja tela utiče na celo telo ili na delove tela, zato stalno imamo potrošnju energije. Mehaničko kretanje čoveka, koje se u biomehanici sportskih kretanja izučava preko mehaničkih sila (sila teže, otpor sredine, otpor tla - reakcija, otpor kretanja itd.) i preko rada mišića (učinak mišića), rezultira u njihovo međusobno delovanje. Rad mišića izaziva hemijske procese, dok kompleks mišićno - nervna koordinacija je rezultat bioloških procesa. Razumljivo je da izučavanje žive prirode u širem obimu, tj. mehanički, biološki čak i sa društvene strane je neophodno. Zakoni materijalnog sveta (zakoni mehanike) se moraju upoznati, kako bi se mogli primeniti u sportskim aktivnostima, uticali na rezultat sportskih pokreta, i našla tehnička rešenja. U učenju pokreta najbolji rezultati se postižu upotrebom najekonomičnijeg tehničkog empirijskog rešenja (metod pokušaja i grešaka), ali bezbednog (bez povreda) tako da se vrhunski rezultat može teoretski projektovati i empirijski postići pomoću odgovarajućeg modela. Naučna istraživanja na modelima u zadnje vreme su se razvila sa napretkom tehničkih dostignuća. Biomehaničke metode (kompjuterska istraživanja) sportske pokrete približavaju granici realnosti.

Značaj biomehaničkog načina vežbanja u obučavanju sportskih stručnjaka stavlja se na prvo mesto, zbog smanjene mogućnosti povreda. U nastavi fizičkog vaspitanja nastavnici koji su savladali biomehaničku obuku bezbednije i temeljnije će obavljati zadatke sa vrlo malim procentom rizika za povrede. U smanjivanju broja povreda pored odabiranja pogodnih okolnosti, biomehanika pozitivno utiče na rešenje u oporavku. Loš ambijent, loše okolnosti, neispravni sportski rekviziti,

nedovoljno poznavanje anatomije, biologije itd., negativno utiču na bezbednost učenika.

Mora se jačati dijalektika teorija - eksperiment kao i njihovo višestruko dejstvo prilikom učenja biomehanike. Kada se posmatraju ili analiziraju sportski pokreti, sa aspekta biomehanike, mora se poznavati teorija fizike odnosno mehanike.

Poznavanje mehaničke zakonitosti u određenim pokretima nije dovoljno, već se najpreciznijim instrumentima sakupljaju podaci o tim pokretima.

Prirodne nauke su poznate po objektivnosti, i egzaktnosti, zato udžbenik mora precizno obraditi sva područja iz oblasti merenja i analize rezultata (snimanje filma, analiza filma, dinamometrija, grafikoni, put - vreme, brzina - vreme, ubrzanje - vreme, snaga - vreme, grafikoni kinematičke težišne tačke itd.). Rezultati iz analize pokreta, uz korekciju, moraju se dovesti na uobičajene principe, zatim, i naći najkraći i najoptimalniji put za konkretnu osobu.

Ako bi student želeo da izvede jedan element npr. u gimnastici na preskoku (konju) pruženi salto, tako da bude bezbedan za njega i estetski lepo izveden, on mora da poznaje zakone mehanike u svakoj fazi tog elementa. U zaletu: linearna brzina, trenutna brzina, ubrzanje, put ubrzanja; kod odraza (odskoka): snaga, reakciona snaga, zbrajanje vektora, razlaganje vektora, obrtni momenat; kod doskoka: sudar, postojnost impulsa, položaji ravnoteže itd., tj, teoriju zavisnosti ovih zakonitosti. Posle ovoga u eksperimentalnoj fazi snima se sportista. Analizom filma, kinematikom, dinamometrijom, goniometrijom dinamički faktori se postavljaju pod kvantitativnu i kvalitativnu analizu, upoređivanjem jednog uspešnog i jednog neuspešnog pokreta. Iz dobijenih rezultata analize filma mogu se odrediti trenutne brzine

svake faze zaleta, trenutak odskoka, parametri, putanje težišne tačke (ugao odskoka, brzina odskoka). Kada se imaju na raspolaganju potrebni instrumenti, onda se platformom za merenje snage mogu odrediti glavni parametri analize vektorske dinamografije (vektor dinamografija).

Posle dobijenih i izračunatih podataka tokom analize pokreta, sabiraju se uspešni i neuspešni pokušaji, a zatim traži put za korekciju. Ovo je potrebno radi odabiranja principa i metoda treninga. Neophodno je razviti one sposobnosti čiji nivo ne odgovara nivou kvalitetnih pokreta. U cilju boljih rezultata uvode se nove serije pokreta, samim tim i nove strategije pokreta.

Usavršavanje pokreta mora biti praćeno novim informacijama, lanac (teorija - pokušaj - primena) mora da se ponovi više puta.

U učenju pokreta na osnovnom nivou, ili u vrhunskom sportu, nezamislivo je da se na osnovu samo kvantitativne analize očekuju vrhunski rezultati. Ove zadatke izvršava biomehanika i na taj način sa ostalim sportskom nauka daje doprinos razvoju fizičke kulture.

U ovoj knjizi odabrane su one sportske grane koje mogu poslužiti kao osnova za ostale srodne sportove. To je najrealniji put od prostih sportskih pokreta do naj-složenijih.

RAZVOJ "NAUKE O POKRETU"

U starim kulturama (Egipat, Grčka, Peru) mogu se pronaći crteži u dve dimenzije, gde su nacrtani neki karakteristični pokreti sportista ili boraca. Može se reći da su to "kino-grami".

Leonardo da Vinči (1452-1519) je

otkrio da pokrete čoveka i životinja možemo opisati zakonima mehanike, što se vidi iz njegove knjige: "Beleške o telu čoveka" sa raznih crteža koje je nacrtao.

Borelli (lekar, naučnik, matematičar) je prvi pokušao da odredi težište čovekovog tela (1679.), napisavši knjigu "Pokreti životinja".

Bernalli, Euler, Coulomb u 18. veku su pokušali da odrede rad čoveka i opisali vremenskim dijagramom.

Daguerre (1837.) je otkrio foografiju, što omogućava praćenje fiksiranje i pokreta.

Maybridge (1887.) je slikao ljude, decu, konje u pokretu. Postavio je 24 kamere i napravio slike i to proučavao sa gledišta biomehanike.

Braća Lumierre (1894.) su napravili film (kinematografija).

Marey, Carlet, Demeni, Bull, su snimili let ptice. Marey je bio jedan od prvih (oko 1880. godine) konstruktora kino kamere i uz pomoć nje je proučavao let golubova.

Fisher i Braune su proučavali pokrete čoveka u šetnji i napravili analizu istih.

Fick je napisao knjigu pod naslovom "Mehanika i anatomija vezovazglobova". To su kasnije razvili Bernstein, Popova, Sielberg, Sorokin (takozvana italijanska škola).

Knolt (1925.) je proučavao prvi put pokrete u sportu zabeležene filmskom kamerom. Između dva svetska rata, zbog velikog broja invalida, mnogo naučnika je uticalo na razvoj biomehanike. Schlezinger (Nemac), Amar (Francuz) i Fishman (Amerikanac) iz tih razloga radili na razvoju proteza.

Početak 20. veka metodi biomeha-

nike su dali netačne rezultate pošto su koristili nedovoljno precizne elektronske instrumente. Za brze promene položaja u kretanju potrebno je koristiti elektronske instrumente, tačne i precizne davače, pretvarače, foto tehniku i računare. Tako sa tačnim podacima raste preciznost i složenost istraživanja. Razvoj biomehanike zavisi od razvoja tehnologije i nauke. U industrijskim društvima raste značaj sporta i rekreacije.

Olimpijske igre u zadnje vreme utiču na razvoj tehnike sporta i sportskih terena, a na to utiču i biomehaničari. Ranije su sportisti intuitivno određivali način treniranja i tehniku tako da ponekad nije bila usaglašena sposobnost i građa sportista i sportske tehnike. Danas racionalnost dolazi do izražaja, što neizostavno donosi uspeh.

BIOMEHANIČKI PRINCIPI I METODE ISTRAŽIVANJA

Jedan od osnovnih zadataka biomehanike analize pokreta je pomaganje da se razviju korisniji pravci pokreta za različite tipove i discipline sporta, da ih teoretski potkrepi dokazima i predstavi ih uz pomoć karakterističnih dijagrama krivih i drugih sredstava.

Biomehanika podržava dalje tehničko usavršavanje atletičara u modernom treniranju tehnike merenjem bitnih parametara pravca pokreta i neposrednim prenošenjem ovih podataka atletičaru i treneru. Da bi se postigli ovi zadaci, neophodno je imati objektivne kriterijume za procenjivanje korisnosti pravca pokreta. Takvi kriterijumi su postupni u većem ili manjem stepenu u svim sportskim disciplinama. Oni proizilaze iz određenog bogatstva iskustva u praktičnom sportu i u mnogim slučajevima su kasnije teoretski potkrepljeni.

Zahvaljujući činjenici da su pravci pokreta različitih sportskih disciplina međusobno povezani u svojoj strukturi, moguće je naći opšte i preklapajuće kriterijume za procenjivanje korisnosti. Ovi kriterijumi koji se preklapaju su poznati kao biomehanički principi.

Otkriće i formulisanje takvih preklapajućih kriterijuma se pokazalo povoljno i u treniranju i naučnom istraživanju, jer predstavljaju praktični vodič ka procenjivanju efikasnosti atletskih pokreta sa aspekta biomehanike što olakšava analizu pravca pokreta i omogućava da se bolje razumeju postojeće biomehaničke zavisnosti.

Ipak, prethodno iskustvo u uvođenju biomehaničkih principa u nastavni materijal i njihovu primenu u naučnom istraživanju analize pokreta, je pokazalo da je neophodno raditi sa sledećim činjenicama veoma pažljivo.

Iako biomehanički principi predstavljaju određeno uopštavanje znanja o efektivnosti analize pokreta, ne mogu se svi kriterijumi primeniti na sve struke i ciljeve atletskih pravaca pokreta. U pitanju su samo specifični kriterijumi. Drugim rečima, mora se uvek pretpostaviti da su oni primenljivi samo ako se sadržaj informacije poklapa sa pravcima pokreta sa koga su oni izvedeni.

Prema zadacima biomehanike formirala se i određena metodologija istraživanja. Osnovni zadaci biomehanike su:

1. Odrediti sile ako su poznata kretanja,
2. Odrediti kretanja ako su poznate sile.

Da bi se mogao rešiti prvi zadatak, neophodno je poznavati kretanje. To se kretanje može poznati ukoliko je zabeleženo. Naravno da je rapid-kinokamera bila

neophodna radi snimanja jednog kretanja na filmsku traku. Tako snimljeno kretanje se podvrgava daljoj analizi. Zbog korišćenja kinosnimanja, metod ispitivanja je nazvan kinematografski metod.

Da bi se prilikom analize snimljenog kretanja mogli dobiti verodostojni podaci, filmsko snimanje se vrši po posebnom režimu. Rapid-kinokamera se postavi na određenom rastojanju od prostora u kojem se snimani objekat kreće tako, da u kadar bude zahvaćen ceo prostor kretanja koje se želi snimiti. Visina objektiva treba da se podudara sa visinom težišta tela objekta za vreme izvođenja kretanja koje se snima. U snimljeni prostor se stavi visak, ili prema visku određene linije, pomoću kojih bi se u analizi mogla odrediti horizontala, odnosno vertikala, a prema njima i potrebni nagibi u određenim trenucima kretanja. U ravan kretanja su postavljene značke na izmerenom rastojanju, pomoću kojih se u analizi određuje razmera radi dobijanja dužina pojedinih pređenih deonica puta, ili dužina delova tela, odnosno predmeta koji se snimaju. Paralelno sa snimanjem objekta snima se i vreme trajanja svakog intervala od jednog do sledećeg filmskog kadra. To se postiže ili preciznom sinhronizacijom hoda kamere, ili snimanjem štopersata koji je postavljen u ravni snimanog kretanja ili se preko posebno ugrađene prizme sata, koji je fiksiran uz kameru, prenosi na svaki snimljeni kadar. Postoje i drugi načini snimanja vremenskih intervala između susednih kadrova, ali je direktno zabeleženo vreme preko snimljenog preciznog sata najpraktičniji.

Tako snimljeni film se stavlja u poseban čitač - analizator gde se može svaki snimak pojedinačno prebaciti sa potrebnim uveličanjem na ekran. Na tom se ekranu snima u obliku biomehaničkih poluga svaka pozicija snimljenog objekta u karakterističnim trenucima kretanja. Niz takvih pozicija predstavlja kinogram. Na

kinogramu se određuju pomoću specijalnih tablica težišta pojedinih delova tela kao i sile koje napadaju na te tačke, odnosno težine pojedinih delova tela. Poznavajući navedene elemente može se slaganjem paralelnih sila ili nekim drugim načinom (analitički, grafički) odrediti zajedničko težište bilo kog dela tela ili celog tela u svim trenucima kretanja. Pored toga, poznavajući razmeru i vremenske intervale između susednih kadrova, može se izračunati pređeni put, postignuta brzina u jedinici vremena, priraštaj brzine u jedinici vremena, i sl. Posle ovakve analize može se reći da se izvedeno kretanje poznaje, da su otkriveni trenuci kada je npr. impuls izveden prerano ili prekasno, kada je zamah izveden većom ili manjom brzinom, kada je postignut veći ili manji moment inercije, itd. Prema pronađenim nedostacima pri kretanju se daju i određena metoda uputstva kako bi se to kretanje ispravilo, ili, ako je razlog u nedovoljnoj psihofizičkoj spremnosti izvođača, mogu se dati uputstva koje delove aparata za kretanje treba pripremiti i kako ih treba pripremiti.

Da bi se mogao rešiti drugi zadatak biomehanike, neophodno je poznavati sile koje deluju. Kako se sile mogu jedino meriti dinamometrom, metod ispitivanja nazvan je dinamografski metod.

Pošto dinamometar daje meru krajnje sile, a za biomehaničko istraživanje je neophodno znati promene intenziteta sile u toku njenog dejstva, konstruisan je poseban dinamograf. Princip dinamografa se zasniva na elastičnosti ploče na koju se vrši pritisak. Savijanje ploče ne sme da bude trajno, tj. ne sme da dođe do plastične deformacije. Veličina savijanja ploče je srazmerna delujućoj sili i zavisi od konstante (koeficijenta) elastičnosti ploče. Zato se ploča uvek bira prema planiranom opterećenju. Sila koja izaziva savijanje ploče se registruje na više načina. Najjednostavniji način je prenošenje savi-

janja preko poluga na olovku koja savijanje u svakom trenutku dejstvovanja sile zabeleži na hartiju koja je pričvršćena na bubanj koji se okreće. Precizniji način merenja delujuće sile postiže se dinamografom kod kojeg je na donjoj strani elastične daske pričvršćena tanka žica sa velikim otporom, kroz koju teče električna struja. Kad se donji deo ploče konveksno savija, rasteže se i pričvršćena žica. Što se žica više rasteže, provodljivost postaje manja, odnosno otpor postaje veći. Električna struja, koja je prošla kroz tu žicu, biva da je vođena preko pojačivača u oscilograf. U oscilografu se može na više načina zabeležiti promena napona električne struje, koja zavisi od otpora žice pričvršćene sa donje strane elastične ploče dinamografa. Na taj se način direktno meri sila koja je izazvala savijanje elastične ploče. Najtačniji rezultati sile se dobijaju ako se preko oscilografa sprovede svetlosni zrak direktno na fotografsku hartiju, na koju se istovremeno beleže i vremenski intervali. Kada se na taj način odrede delujuće sile, mogu se odrediti, odnosno izračunati kretanja koja nastaju kao posledica dejstva navedenih sila. Ukoliko ispitanik, koji raspolaže određenim silama, ne postiže rezultat u nekom složenom kretanju koji je adekvatan izmerenim silama dinamografskom metodom, valja pronaći tehničke nedostatke pri kretanju.

Idealna preciznost se ne može postići, ne zbog toga što ima nedostataka u metodi, nego što se radi o kretanju čoveka, u kome na izgled bezazlene psihičke promene mogu da poremete koordinaciju pokreta, da smanje kontraktivne sposobnosti mišića i sl. Osim toga, tabele za određivanje težišta pojedinih delova tela čovečijeg aparata za kretanje, i tabele za određivanje težina pojedinih delova tela su prilično uopštene i nisu specifične za svaku konstituciju, tako da i tu ne mogu da se izbegnu određene netačnosti. Da tih netačnosti bude što manje, često se kori-

sti kombinovani kinemato-dinamografski metod biomehaničkog ispitivanja. Paralelnim upoređivanjem dobijenih rezultata jednog i drugog metoda mogu se izvršiti izvesne popravke.

Postoje i druge metode biomehaničkog istraživanja kao što su spidografija, goniometrija, hronociklografija, stroboskopija, elektromiografija i sl.

Kao što je slučaj kod drugih naučnih disciplina, tako se i u biomehanici oseća sve veća potreba za nalaženjem novih metoda istraživanja. Zbog toga je došlo do brzog razvoja tehnologije merenja koja se koriste u biomehaničkim istraživanjima. Zahvaljujući aparatima, koji iz dana u dan, bivaju sve savršeniji, omogućeno je merenje parametara koji ranije nisu mogli biti izmereni. Šta više, ova merenja su postala preciznija. Ovaj razvoj je u tesnoj vezi sa opštim napretkom koji se ostvaruje u nauci i tehnologiji. Omogućeno je da se radi mnogo racionalnije što je rezultat progressa ostvarenog u oblasti prenosa i čuvanja izmerenih vrednosti, kao i automatske obrade podataka. Takođe je omogućeno da se obave neka merenja koja su ranije bila neizvodljiva, jer su podrazumevala korišćenje velikog broja informacija.

Sa druge strane, automatsko beleženje, čuvanje i procena izmerenih vrednosti pretpostavlja postojanje tehnologije merenja na visokom nivou. Ovo se, takođe, odnosi i na pouzdanost i preciznost u merenju (funkcionalnu efikasnost konverzije izmerenih vrednosti), zato što automatski sistemi ne prave razliku između grešaka dobijenih prilikom merenja i merenja do koga nije došlo, a rezultat ovoga je da obrađuje sve zabeležene podatke. Iz ovog razloga je potrebno, da se najpre dosta ulaže u razvoj metoda merenja da bi, kasnije, mogli da koristimo prednosti automatske obrade podataka.

Dalji razvoj tehnologije merenja,

čuvanja i procene u istraživanjima biomehanike je postao sve komplikovaniji i skuplji, i nije više mogao da teče bez kontrole stručnjaka iz oblasti fizike, elektronike, tehnologije merenja i automatske obrade podataka. Rezultat ovakvog razvoja je nastajanje veće potrebe da dođe do podele posla, tako da danas u biomehaničkim laboratorijama fizičari, inženjeri elektronike, inženjeri merenja i stručnjaci za automatsku obradu podataka rade tesno saradujući sa stručnjacima biomehanike. Uspeh u biomehaničkim istraživanjima zavisi u velikoj meri od kvaliteta ovog interdisciplinarnog rada, zato što tačno i precizno merenje biomehaničkih parametara određuju u velikoj meri tehnički detalji prenošenja, čuvanja i obrade izmerenih vrednosti.

2. KOSTI I ZGLOBOVI

- ✧ KOSTI U LOKOMOTORNOM SISTEMU
- ✧ MEHANIČKE OSOBINE KOSTIJU
- ✧ ZGLOBOVI
- ✧ VRSTE POKRETA U ZGLOBOVIMA
- ✧ MEHANIČKE OSOBINE ZGLOBOVA

Skelet čovečijeg organizma predstavlja skup velikog broja kostiju povezanih međusobno spojevima, zglobovima. Kost i zglobovi čine pasivni deo lokomotornog sistema. Aktivni deo lokomotornog sistema predstavlja mišićni sistem čijom akcijom dolazi do

pokreta. Pokret, nastao dejstvom mišićnog sistema, ispoljava se promenom položaja pojedinih delova ili čitavog tela, u odnosu na prirodno okruženje. Svi pokreti koje organizam izvodi odigravaju se suprotno dejstu sile zemljine teže pa se lokomotor- ni sistem naziva i antigravitacioni sistem.

Osteologija je nauka koja izučava koštani sistem, skelet čovečijeg tela. Koštani sistem ima mehaničku ulogu, koja se sastoji u zaštiti i potpori mekih tkiva i organa. Pored toga, kosti učestvuju u metabolizmu mineralnih materija. Kosti se razvijaju iz mladog vezivnog tkiva koje se naziva mezenhim i u kojem se razvijaju dve vrste ćelija, mlade koštane ćelije, osteoblasti i velike koštane ćelije, osteoklasti. Osteoblasti dovode do stvaranja koštanog tkiva a osteoklasti su ćelije koje dovode do promena građe koštanog tkiva. Ove vrste ćelija deluju neprekidno i uporedo, što je važno za normalan razvoj i oblikovanje ovog tkiva.

Površina svake kosti je pokrivena, tankom, beličastom vezivnom opnom koja se naziva pokosnica (periost). Delovi kostiju koji su u sastavu zgloba, nisu pokriveni pokosnicom već zglobovom hrskavicom (cartilago arricularis). Kosti su izgrađene od dve vrste koštanog tkiva, zbijenog i sunđerastog. Zbijeno koštano tkivo (substantia compacta), gradi površni sloj kostiju a sunđerasto koštano tkivo (substantia spongiosa) se nalazi u dubljim slojevima kostiju. Zbijeno koštano tkivo grade kružno raspoređeni koštani slojevi (koštane lamele) između kojih se nalaze uzdužni kanalići kroz koje, u dubinu kosti, prodiru krvni sudovi. Sunđerasto koštano tkivo je izgrađeno od koštanih gredica i listića, koji okružuju šupljine, različitog oblika i veličine, nazvane areole. U ovim šupljinicama nalazi se koštana srž (medulla ossium) koja se deli na crvenu koštanu srž odgovornu za stvaranje krvnih zrnaca i krvnih pločica i žutu koštanu srž koja je pretežno ispunjena masnim materijama.



Sl. 1a Lokomotorni sistem - skelet čovečijeg tela -
spreda



Sl. 1b Lokomotorni sistem - skelet čovečijeg tela -
pozadi

Kostur sačinjavaju sve kosti tela u određenom međusobnom odnosu. Skelet odraslog čoveka ima više od 200 kostiju koje se, na osnovu građe dele na, duge, kratke, pljosnate i mešovite. Duge kosti imaju središnji deo, telo koje je obično cilindričnog oblika (corpus) i dva okrajka (extremitas), gornji, proksimalni (extremitas proximalis), i donji, distalni okrajak (extremitas distalis). Okrajci su prekriveni hrskavicom i ulaze u sastav zglobova. One imaju jednu dimenziju mnogo veću od drugih dveju. Primer za duge cevaste kosti su, ramena kost (humerus) i butna kost (femur). Kratke kosti (kosti šake, stopala, kičmeni pršljenovi) imaju sve tri dimenzije slične. Njihova pokretljivost je mala. Povezane su zglobovima u sisteme čija pokretljivost odgovara potrebama organizma. Pljosnate kosti imaju dve dimenzije znatno veće od treće, zbog čega su pogodne kao zaštita osetljivih delova organizma. Takve su kosti lobanje, karlična i grudna kost. One imaju znatnu površinu, ali nemaju debljinu. Ove kosti su izgrađene uglavnom od sunderastog koštanog tkiva koje se nalazi između dva sloja zbijenog koštanog tkiva.

Pločice koštanog tkiva (lamele) su zbijene na površini kostiju (zbijeno tkivo), a u njenoj dubini one obrazuju koštane gredice, međusobno isprepletane i odvojene šupljinicama (sunderasto koštano tkivo), u kojima se nalazi koštana srž. Svaka kost je prekrivena pokosnicom po celoj površini, osim na onom delu gde se zglobljava sa drugim kostima. U pokosnici se nalaze mlade koštane ćelije (osteoblasti), koje omogućavaju u toku života, promenu forme kosti. U dubini kostiju se nalaze krupnije koštane ćelije (osteoklasti) koje rastvaraju koštano tkivo. Ova antagonistička uloga dveju vrsta koštanih ćelija omogućava svakoj kosti osnovnu vitalnost. U toku života svaka se kost istovremeno neprekidno ruši i obnavlja (periostalna geneza). Ovakav biološki aksiom omogu-

ćava da se svaka kost do izvesne mere svojom formom prilagodi onom položaju koji je u toku života najčešće zauziman.

U sastav koštanog dela aparata za kretanje spadaju kosti različitog oblika. Svaka kost je tokom evolucije formirala takav oblik koji najbolje odgovara funkciji za koju je namenjena. Prema formi kosti se dele na kratke, duge i pljosnate kosti.

Kratke kosti se nalaze na završeci- ma ekstremiteta i u sastavu kičmenog stuba. Za njih je karakteristična podjednaka veličina sve tri dimenzije. Sistem kratkih kostiju u sastavu šake omogućava vrlo složene i pojedinačne funkcije svakog prsta. U predelu stopala, za vreme svakog koraka, sistem kratkih kostiju najefikasnije priguši nepotrebne vibracije, koje nastaju svakim kontaktom sa čvrstom podlogom. Kičmenom stubu je omogućena velika amplituda pokreta upravo zbog niza kratkih kostiju i niza zglobova koji vezuju te kratke kosti. Pošto se zna da je glava, nosilac najvažnijih čula a svojevremeno i najjačeg oružja (čeljust), mora se pridati veliki značaj pokretljivosti kičmenog stuba koji se završava glavom.

Duge kosti formiraju ekstremitete. Za njih je karakteristično da im je jedna dimenzija velika (dužina) a ostale dve male (širina i dubina). Njihovom dužinom je diktirana i dužina svakog ekstremiteta i u velikoj meri od njihove dužine zavisi koji će rad određena konstitucija moći da izvrši.

Pljosnate kosti imaju uglavnom zaštitnu ulogu. One najčešće zaštićuju osetljive organe od mehaničkog dejstvanja koje bi moglo da izazove povređivanje, (kosti lobanje), ili organizma, koji mogu biti preteški za svoje slabe veze koje treba da ih na određenom mestu u organizmu održavaju, služe kao potporno korito (karlične kosti), ili služe kao oslonac nekoj kosti koja treba da ima taj čvrsti oslonac

ali mora da bude i dovoljno pokretljiva (lopaticne kosti). Za pljosnate kosti je karakteristično što imaju dve dimenzije veće (širina, dužina) a jednu manju (dubina).

MEHANIČKE OSOBINE KOSTIJU

Najčvršću supstancu čovečijeg tela predstavljaju kosti. Kosti diktiraju stalni oblik telu, suprotstavljaju se izvlačenju i pritisku kako unutrašnjih, tako i spoljnih sila, i svojom čvrstinom i oblikom diktiraju način kretanja.

U kretanjima čoveka najvažniju funkciju imaju duge (cevaste) kosti. Za cevaste kosti je karakteristično da nisu jednako merno građene, nego su u svom srednjem delu (dijafiza) tanje dok su im krajevi (epifize) prošireni. Srednji deo ili telo svake duge kosti je građeno od zbijenih koštanih ćelija. Krajevi duge kosti ili okrajci po pravilu ulaze u sastav zgloba na mestu zglobljavanja sa susednim kostima.

Praksa je bezbroj puta potvrdila da je telo duge kosti dovoljno jako da se suprotstavi i mnogo većim pritiscima nego što su pritisci koji se javljaju u svakodnevnom životu. Zato se odmah nameće pitanje zbog čega treba taj okrajak kosti da bude proširen, pošto bi se nepotrebnim nagomilavanjem koštanog tkiva na okrajcima dugih kostiju samo povećavala glomaznost kostiju. Veća površina na mestu zglobljavanja sa susednim kostima je neophodna zbog toga da bi se smanjio pritisak u samom zglobu. Naročito u ovom slučaju neophodno je razlikovati pritisak od sile. Pritisak (p) je direktno srazmeran sili (F) a indirektno srazmeran površini (S).

$$p = F/S$$

Prema prethodnoj jednačini izlazi da

je pritisak manji ako je sila manja a površina, na koju ta sila deluje, veća. Funkcionalna sposobnost aparata za kretanje je tim veća što je radna sposobnost svakog njegovog dela veća. Svaki zglob će posedovati veću radnu sposobnost ako se u njemu razvija manje trenje, manje trenje će biti onda ako u zglobu vlada manji pritisak, a manji pritisak će biti onda ako je zglobna površina veća.

Duga kost neće biti ni masivnija zato što su okrajci prošireni. Naime, u tom predelu kosti u osnovi se nije dobilo na težini nego samo na površini, jer su koštane gredice u sastavu svakog okrajka razređene (substantia spongiosa). Izvodeći dalje zaključak, moglo bi se smatrati da taj deo kosti, zbog razređenog koštanog tkiva, nije dovoljno čvrst pa će upravo na tom delu da nastanu povrede zbog raznih mehaničkih dejstvovanja spoljašnjih, odnosno unutrašnjih sila. Međutim i ovde je priroda našla najbolji odgovor. Koštane gredice u sastav svakog okrajka nisu stihijno razbacane, nego su organizovane u koštane pločice (lamelle) koje opet zauzimaju lučni oblik kako bi se najbolje suprotstavile pritisku. Lukovi lamela su postavljeni tako da se najbolje suprotstave pritisku sa one strane odakle taj pritisak najčešće dolazi (pravac prostiranja najvećeg pritiska se najčešće prostire u istoj napadnoj liniji sa uzdužnom osom kosti). Karakteristično je da luk lamela u kratkim kostima ima jedinstven smisao koji se prostire kroz ceo sistem kratkih kostiju (sl. 2).

Ni duge kosti nisu sasvim prave nego i one, slično lamelama, imaju lučni oblik kako bi se lakše suprotstavile pritiscima koji deluju duž kosti. Definitivno se taj luk formira u toku života, kao odgovor živog organizma na dejstvovanje spoljašnje sile. Kao primer se može navesti lučna (kran) konstrukcija butne kosti. Luk butne kosti predstavlja ugao između glave i vrata butne kosti s jedne, i tela butne

kosti, s druge strane. Ukoliko je taj ugao veći, manji je luk butne kosti i obratno. Činjenica je da se taj luk u toku života jedne jedinice povećava, odnosno navedeni ugao se smanjuje. Kao dokaz tome služi činjenica da se navedeni ugao kod noge, koja je nesrećnim slučajem ostala van funkcije (amputacija, paraliza, luksacija) ne smanjuje, a smanjuje se na drugoj nozi iste jedinice, na nozi kojom se vršila njena normalna funkcija odupiranja.



Sl. 2 Šema prostiranja koštanih lamela u gornjem okrajku butne kosti

Iako se duge kosti nazivaju i cevastim kostima, njihov oblik nije idealno cevast, već se na kostima razlikuju neravne razne prirode i raznih veličina. Pored nego navedenih zglobnih ispupčenja (proširenje okrajaka), postoje i nezglobna ispupčenja, na koja se uglavnom pripajaju mišići. To su, prema obliku i veličini bodlje (spinna), kvрге (tuber), kvržice (tuberculum) i hrapava ispupčenja (tuberositas). Njihova priroda i lokacija ukazuje da su ta ispupčenja nastala kao posledica konstantnih tenzija aktivnog (mišići) i pasivnog (ligamenti, zglobne čaure) dela aparata za kretanje na mestima svojih pripoja.

ZGLOBOVI

Zglob (articulatio) predstavlja spoj dve ili više kostiju. Prema mogućnosti kretanja, svi zglobovi u sastavu aparata za kretanje se dele na nepokretne, polupokretne i pokretne zglobove.

Nepokretni zglobovi (synarthroses) dele se na vezivne, hrskavične i koštane spojeve. Vezivni spoj (articulatio fibrosa), je onaj kod kojeg kosti povezuje vezivno tkivo. Ovo vezivno tkivo može biti u vidu čvrstih vezivnih snopova (syndesmosis) ili opni (membranae). U ove spojeve ubrajaju se i šavovi (suturæ), spojevi između ivica dve pljosnate kosti. Posebnu vrstu vezivnog spoja predstavlja klinasti spoj (gomphosis) kod koje je zub usađen u zubni nastavak vilice. Hrkavičavi spoj (articulatio cartilaginea), je spoj kod kojeg su kosti povezane hrskavičavim tkivom. Kada je to hijalinska hrskavica onda se ovaj spoj naziva sinhondroza (synchondrosis) a ukoliko je fibrozna hrskavica, onda je to simfiza (symphysis). Kod odraslih, obično dolazi do okoštavanja hijaline hrskavice i pojave koštanog spoja (synostosis). Njihova je funkcija u osnovi statička, pomoću njih se više vrši pričvršćivanje nogo kretanje.

Polupokretni zglobovi (amfiantrose) vezuju kratke kosti snažnim zglobnim čaurama i vezama. To su uglavnom zglobovi između kostiju ručja i doručja, nožja donožja i kičmenih pršljenova. Amplitude pokreta u tim zglobovima su male ali neophodne. Pomoću njih se u velikoj meri vrši ublažavanje kontakata sa čvrstom podlogom, čime se smanjuju vibracije koštanog dela tog dela tela.

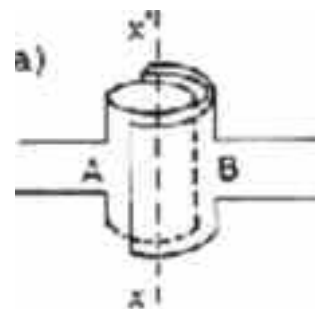
Pokretni zglobovi (diarthroses s. articulationes synoviales) su centri pokreta u aparatu za kretanje. Oni u svojoj kompoziciji obuhvataju najmanje dva koštana okrajka uglavnom dugih kostiju. Njihova uloga je da ublaže tvrde udare i smanje trenje koje je u zglobovima pri

kretanju neizbežno. Oni su složenije građe. Kod ovih zglobova postoje glavni i sporedni elementi zgloba. Glavni elementi zgloba su zglobne površine, zglobna čaura i zglobna šupljina. Zglobne površine (facies articulares) su delovi kosti čiji su oblici međusobno prilagođeni i obloženi tankim slojem zglobne hrskavice (cartilago articularis). Zglobna čaura je čvrsta vezivna opna koja obuhvata u celini zglobne površine. Izgrađuju je dva lista, spoljašnji, vezivni (membrana fibrosa) i unutrašnji, sinovijalni (membrana synovialis). Zglobna šupljina (cavitas articularis) je uzani prostor koji se nalazi unutar zglobne čahure. Ovaj prostor je ispunjen malom količinom sluzave tečnosti koju luči sinovijalni list, a koja obezbeđuje ishranu zglobnih hrskavica i smanjuje trenje zglobnih površina. Sporedni elementi zgloba su zglobne veze i vezivno-hrskavične ploče. Zglobne veze (ligamenta) su snopovi, trake vezivnog tkiva koji pojačavaju zglobne čahure doprinoseći čvrstini i stabilnosti zgloba. Ligamenti pasivno učvršćuju zglobove tako da ograničavaju njihovu pokretljivost. Vezivno-hrskavične ploče su umetnute između zglobnih površina, i imaju ulogu da svojim oblikom prilagođavaju nesrazmernost zglobnih površina, a svojom elastičnošću ublažavaju pritisak na zglobne površine, naročito prilikom naglo izazvanog pritiska u zglobu (udar, doskok, odskok i sl.). Mogu biti u obliku zglobnog koluta (discus articularis) koji je nalik okrugloj ploči, u vidu meniskusa (meniscus) koji je polumesečastog oblika ili su u vidu kružne čašične usne (labrum) koja je prstenastog oblika i koji proširuje jednu od zglobnih površina.

Prema pravcima mogućih kretanja, pokretni zglobovi se mogu podeliti na jednoosovinske, dvoosovinske i troosovinske zglobove.

Jednoosovinski zglobovi, prema obliku koštanih okrajaka, koji ulaze u sastav zgloba, nazivaju se još i cilindričnim

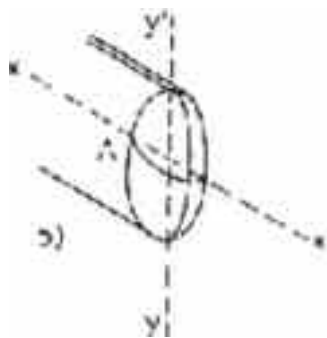
zglobovima ili zglobovima šarke. Naime, jedan koštani okrajak jednoosovinskog zgloba je valjkasto ispupčen, a drugi odgovarajuće valjkasto izdubljen. Tipični jednoosovinski zglobovi su zglobovi između članaka prstiju, zglobovi kolena i zglobovi lakta. Model jednoosovinskog zgloba je prikazan na sl. 3a. Glava A koja se nalazi u čašici B rotira oko ose XX' .



Sl. 3a Zglobovi prema pravcima mogućih kretanja - jednoosovinski

Dvoosovinski zglobovi, zbog posebnog oblika koštanih okrajaka koji ulaze u sastav zgloba, se nazivaju još i jajastim (elipsoidnim) odnosno sedlastim (selarnim) zglobovima. Jedan koštani okrajak, koji ulazi u sastav jajastog zgloba je jajasto ispupčen a drugi odgovarajuće jajasto izdubljen. Tipični dvoosovinski zglob je zglob kostiju ručja s distalnim okrajcima kostiju podlakta i skočni zglob stopala. Oni obezbeđuju veću slobodu u rotaciji. Na sl. 3b prikazan je model glave elipsoidnog zgloba. Najveći stepen rotacije ostvaruje se oko XX' ose i YY' ose koje su normalne međusobno. Pri tom rotacija je veća oko ose YY' .

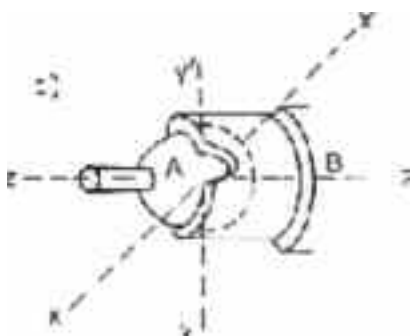
Troosovinski zglobovi, zbog okruglog oblika koštanih okrajaka se još nazivaju i loptastim (sferoidnim) zglobovima. Jedan koštani okrajak troosovinskog zgloba je loptasto ispupčen a drugi odgovarajuće loptasto izdubljen. Tipični troosovinski zglobovi su zglobovi ramena i kuka. Model troosovinskog zgloba je predstavljen na sl. 3c. Loptasto oblik glave omogućuje rotaciju oko osa XX' , YY' i ZZ' koje su međusobno ortogonalne. Ovakvi zglobovi imaju najveću slobodu kretanja.



Sl. 3b Zglobovi prema pravcima mogućih kretanja
- dvoosovinski

VRSTE POKRETA U ZGLOBOVIMA

Čovek se kreće u sve tri ravni prirodnog koordinatnog sistema (sl. 4). Tom prilikom se vrše obrtanja oko sve tri ose tog sistema. Čeona ili frontalna ravan (F) deli čovečiji aparat za kretanje, ukoliko prolazi kroz težište tela u normalnom uspravnom stavu, na prednju i zadnju polovinu. Pokreti u čeonoj ravni su pokreti levo-desno. Sagitalna ili profilna ravan (S) deli čovečiji aparat za kretanje na desnu i levu polovinu. Pokreti u sagitalnoj ravni su pokreti napred-nazad. Horizontalna ili vodoravna ravan (H) deli aparat za kretanje na gornju i donju polovinu.

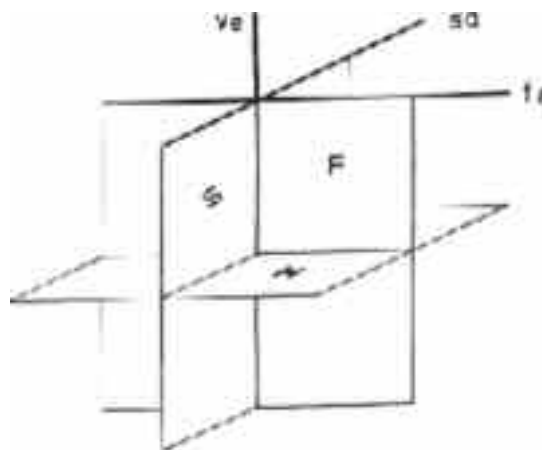


Sl. 3c Zglobovi prema pravcima mogućih kretanja
- troosovinski

Čeona ili frontalna osa (fr) se prostire levo-desno i položena je u čeonoj ravni. Okretanje oko čeone ose se vrši u sagitalnoj ravni. Profilna ili sagitalna osa (sa) se prostire napred-nazad i položena je u sagitalnoj ravni. Okretanje oko sagitalne ose vrši se u čeonoj ravni. Vertikalna osa (ve) se prostire gore-dole. Okretanje oko vertikalne ose se vrši u horizontalnoj ravni.

Osnovni pokreti u zglobovima su podeljeni na:

- ❖ pregibanje (flexio)
- ❖ odvođenje (abductio)
- ❖ okretanje (rotatio) upolje
- ❖ opružanje (extensio)
- ❖ privođenje (adductio)
- ❖ okretanje (rotatio) unutra.



Sl. 4 Prirodni koordinatni sistem: S - sagitalna ravan, F - frontalna ravan, H - horizontalna ravan, ve - vertikalna osa, sa - sagitalna osa, fr - frontalna osa

Pregibanje i opružanje se vrši oko čeone ose i u sagitalnoj ravni; odvođenje i privođenje se vrši oko sagitalne ose i u čeonoj ravni. Obrtanje upolje i unutra se vrši oko vertikalne ose i u horizontalnoj ravni. Svi navedeni pokreti u navedenim ravnima kretanja i osama obrtanja se vrše u odnosu na čovečiji aparat za kretanje, kada se on nalazi u položaju normalnog uspravnog stava.

Za jednoosovinske zglobove je tipično pregibanje-opružanje.

Za dvoosovinske zglobove je najtipičnije pregibanje-opružanje i odvođenje-privodenje. Kombinacijom navedenih pokreta, što važi i za troosovinske zglobove, i to redosledom: pregibanje - odvođenje -

opružanje - privođenje, postiže se kruženje (circumductio).

Za troosovinske zglobove je karakteristično da se u tim zglobovima mogu vršiti kretanja u sve tri ravni i oko sve tri ose prirodnog koordinatnog sistema. Oni su osposobljeni da se u njima, pored složenog pokreta kruženja (circumductio) vrši još i okretanje upolje i okretanje unutra. tj. okretanje oko uzdužne ose ekstremiteta.

Pored osnovnih pokreta u zglobovima postoje i varijacije. Tako je varijacija pregibanja-opružanja uvrtnje (pronatio) i izvrtnje (supinatio) gde se jedna kost obrće jednim svojim krajem oko druge kosti (slučaj kostiju podlakta). Varijacija odvođenja-privođenja je suprotstavljanje (opositio) i pokret suprotan suprotstavljanju (repositio). Ove pokrete vrši palac ruke kada se kreće ka malom prstu i udaljava od njega.

MEHANIČKE OSOBINE ZGLOBOVA

Radi normalnih funkcija aparata za kretanje u svakodnevnom životu, zglobovi treba da poseduju dve osnovne mehaničke osobine: čvrstinu i pokretljivost. Iako ove dve osobine međusobno izazivaju suprotan efekat, ipak je moguće, naročito zbog specifičnih osobina mišićnih vlakana da svaki pokretan zglob do izvesne mere poseduje obe navedene osobine.

Čvrstina je obezbeđena zglobnim učvršćivačima (stabilizatorima). Zglobni učvršćivači se dele na pasivne i aktivne. U pasivne učvršćivače se ubraja zglobna čaura, zglobne veze unutar i van zglobne čaure. Negativni pritisak koji vlada unutar

zglobne čaure, ima svoju funkciju u stabilizaciji zgloba. Braća Weber su eksperimentom dokazala da se zglobne glačice, pod dejstvom spoljašnjih sila, lakše razdvajaju ako je u zglobnu šupljinu vazduhu omogućen pristup. Inače, što su pasivni zglobni stabilizatori kraći i jači, zglobu će biti obezbeđena veća čvrstina.

Složeniju ulogu u stabilizaciji zgloba imaju mišići ili aktivni učvršćivači zgloba. Aktivna funkcija u stabilizaciji zgloba ne zahteva da mišići budu i kratki. Oni mogu da budu normalne, čak i veće dužne, ali je neophodno da budu snažni.

Pokretljivost zavisi od zglobne konstrukcije a takođe i od dužine stabilizatora. Ako su poluprečnici ispupčenosti ili izdubljenosti zglobnih površina manji, biće manja i pokretljivost, ali zato veća čvrstina. Ako su poluprečnici veći, biće veća i pokretljivost. Veličina navedenih poluprečnika prvenstveno zavisi od konstitucije zgloba a drugostepeno od sistematske aktivnosti u toku života u određenom zglobu. Ukoliko bi se zanemario normalan rad u jednom zglobu, amplitude kretanja u njemu bi se smanjile, odnosno pokretljivost bi bila manja.

U odnosu na stabilizatore važi pravilo da, što su stabilizatori duži pokretljivost je veća.

Da bi se za određeni zglob obezbedila čvrstina i pokretljivost, neophodno je telesno vežbanje na određeni način. Naime, vežbama za rastezanje valja povećati dužine svih stabilizatora; vežbama za jačanje neophodno je ojačati aktivne stabilizatore - mišiće. Samo u tom slučaju će se održati obe za svakodnevni život, neophodne osobine zglobova. Povećanom dužinom stabilizatora omogućiće se pokreti sa velikim amplitudama kretanja, ali će zato snažni mišići biti u stanju da u bilo kom položaju, i u položajima sa najvećim amplitudama, učvrste zglob i ne dozvole

da dejstvo spoljašnjih sila bude uzrok povređivanja zgloba. Ako na primer, sila teže deluje na aparat za kretanje klizača - početnika koji stoji na ledu, komponenta otklizavanja će delovati u smislu odvođenja u zglobovima kukova. Ako su stabilizatori dugi, oni će dozvoliti pokret velike amplitude. Ako su aktivni stabilizatori (mišići snažni, oni će biti u stanju da zadrže određen položaj abdukcije i spreče njeno dalje nastavljanje, ali ako mišići nisu dovoljno snažni, sila teže će nastaviti sa svojim aktivnim delovanjem što može dovesti do povređivanja stabilizatora sa unutrašnje strane zgloba kuka i buta. Slučaj zgloba kolena takođe može biti primer funkcije stabilizatora. Poznato je da je zglob kolena jednoosovinski zglob i da se u njemu vrše samo pokreti oko čeonog ose i u sagitalnoj ravni. Zglob kolena prestaje da bude jednoosovinski zglob čim se dovede u izvesni stepen pregibanja u njemu. U stvari, kolateralni ligamenti, koji prolaze sa spoljašnje i sa unutrašnje strane zgloba kolena u opruženom položaju kolena su zategnuti i "sapiju" zglobljenje kosti kao uzde. Kad se pređe određeni stepen pregibanja, kolateralni ligamenti nisu više zategnuti pošto njihovi pripoji na epikondilima butne kosti ne zauzimaju centralan položaj, tako da sada ne deluju kao stabilizatori koji su do sada sprečavali bilo kakav pokret, sem pokreta u sagitalnoj ravni. Kako u zglobu kolena, ne postoje aktivni stabilizatori koji bi bili smešteni sa strana kolena, potkolenica, ukoliko predstavlja otvoreni kraj kinetičkog lanca, može slobodno da se pomera ne samo u sagitalnoj, nego i u ostalim dvema ravnima. Ova mogućnost nestaje kad se u zglobu kolena izvrši opružanje.

Svaki zglob poseduje mogućnost kretanja sa većim ili manjim amplitudama. Takve kvantitativne razlike u pokretljivosti navode na sadržajnu podelu pokretljivosti, na funkcionalnu i na rezervnu pokretljivost.

Funkcionalna pokretljivost je pokretljivost sa manjim amplitudama kretanja koja se manifestuje pokretima u svakodnevnom životu. Ipak, svaki zglob poseduje veću amplitudu kretanja od one amplitude koja bi bila dovoljna za pokrete u svakodnevnom životu. Dosadašnja saznanja nisu na tom nivou gde bi svaki pokret bio toliko proračunat da se uopšte ne bi ukazala potreba za povećanjem njegove amplitude. U svakodnevnom životu, usled neočekivanog dejstva drugih sila, (pad, klizanje, guranje, udarac) neophodno je koristiti veće amplitude kretanja. Ako bi se pešak neočekivano okliznuo, dok novonastala situacija bude registrovana u njegovoj svesti, sila teže će dovesti njegov aparat za kretanje u opasni nagib, npr. nagib napred. Dakle mora se brzo i daleko iskoristiti napred, kako bi se površina oslonca "podmetnula" ispod padajućeg tela. Ako bi pešak posedovao fleksionu amplitudu kretanja u zglobu kuka samo onu koja je potrebna za hodanje, ne bi mogao sprečiti pad.

Rezervna pokretljivost je dodatak funkcionalnoj pokretljivosti i omogućava pokrete mnogo većih amplituda nego što su pokreti u svakodnevnom životu. Rezervna pokretljivost se može povećavati sistematskim vežbanjem za jačanje, rastezanje i opuštanje mišića, tako da se u svakom zglobu može dostići maksimalna amplituda kretanja za datu konstituciju. Rezervnu pokretljivost treba povećavati samo u pravcima gde je ona celishodna. Povećavanjem funkcionalne sposobnosti se povećava radna sposobnost, a sa gledišta fizičkog vaspitanja, povećava se mogućnost postizanja boljih rezultata kretanja koja su tipična sredstva telesnog vaspitanja.

Da je zglob centar u kome se vrši pokret i da je samo time dokazana njegova neophodnost, potvrđuje i činjenica da svaki zglob, ako je izvesno vreme van upotrebe, gubi pokretljivost. Duže vremena

neupotrebljavan zglob (usled povrede zglob je nepokretan zbog gipsane obloge) gubi u velikoj meri pokretljivost usled drastičnog skraćivanja svih stabilizatora (kontraktura). Ukoloko je jedan zglob van upotrebe i preko kritičnog vremena kontraktura prerasta u ankilozu tj. zglob gubi svoju osnovnu funkciju, zglobna šupljina se ispuni vezivnim tkivom, a zglobni okrajci srastu.

Koncentracija receptora oko zglobova govori u prilog činjenici da je zglob centar pokretljivosti. Receptori motornih ili kinestetičkih oseta obaveštavaju centralni nervni sistem o svakoj izvršenoj promeni u zglobu, odnosno u kom pravcu, kojom brzinom, kojom jačinom, kolikom amplitudom je izvršen pokret u dotičnom zglobu. Zahvaljujući ovakvom obaveštavanju centralnog nervnog sistema o stanju svake izvršene promene u zglobovima, čovek zna u kom položaju mu se nalaze delovi tela, pa stoga te položaje ne mora kontrolisati drugim čulima. Osobe u kojih je obaveštavanje pomoću receptora izostalo usled određene poremećenosti, ne znaju u kom položaju im se nalaze delovi tela, ako taj pokret ne kontrolišu čulom vida.

Valja pomenuti, da u anatomskoj terminologiji postoji više načina objašnjavanja pokreta određenih delova tela. Na primer, ako se u zglobu kuka vrši pregibanje može se često čuti da je to pregibanje buta ukoliko mišići pregibači dejstvuju sa centralnim osloncem, odnosno da je to pregibanje karlice ako mišići pregibači dejstvuju sa perifernim osloncem. Za biomehaničku analizu kretanja, ovaj način objašnjavanja nije prihvatljiv, pre svega zato, što se u suštini ne vrši pregibanje ni buta ni karlice, i drugo, što se ne navodi sam zglob čija je osnovna funkcija vezana za pokret. Jedino prihvatljivo objašnjenje navedenog pokreta bilo bi pregibanje u zglobu kuka, jer se time navodi stvarni centar obrtanja sa konkretnim kretanjem koje se u njemu vrši, čime je objašnjena

osnovna funkcija zgloba, bez obzira da li je mobilan centralni (origo) ili periferni (insertio) pripoj.

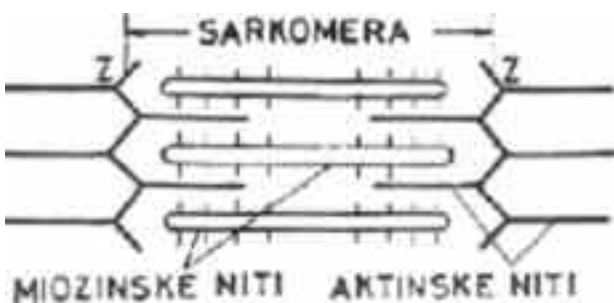
3. MIŠIĆI

- ✧ VRSTE MIŠIĆA
- ✧ FUNKCIONALNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA
- ✧ MIŠIĆNA SILA KAO VEKTOR
- ✧ OBLIK I VRSTE MIŠIĆNE KONTRAKCIJE
- ✧ RAD MIŠIĆA
- ✧ OBRтни MOMENT SILE MIŠIĆA
- ✧ ZAMOR MIŠIĆA
- ✧ DEJSTVO MIŠIĆA U PRIROD-NIM USLOVIMA

Oko 40% telesne težine otpada na skeletne mišiće koji predstavljaju aktivne elemente lokomotornog sistema. Skeletni mišići se sastoje od velikog broja mišićnih vlakana dijametra 10-80 μm , koja se najčešće protežu celom dužinom mišića. Na mestima vezivanja za kosti mišići deluju na njih na dva načina: statički, ako je dužina mišića tokom vremena stalna i dinamički, ako se dužina menja. Mišićna vlakna imaju osobinu da se po potrebi skraćuju ili produžuju, o čemu će biti više reči kasnije.

Miologija je nauka o mišićima. Mišić (musculus) je organ čije su glavne odlike sposobnost grčenja (kontraksije) i opuštanja (relaksacije). Mišićno tkivo se razvija iz srednjeg klicinog lista, mezoderma.

Po svojoj građi mišići su poprečno-prugasti, skeletni, srčani i glatki. Poprečno-pručaste mišiće i srčani mišić izgrađuju mišićni snopovi koji su međusobno odvojeni vezivnim pregradama (perimisium). Svaki mišićni snop izgrađuju poprečno-prugasta mišićna vlakna koja se pružaju paralelno jedna uz druga, međusobno razdvojena finim vezivnim pregradama (endomisium). Mišićna vlakna imaju tanki omotač (sarkolema). Svako mišićno vlakno ispunjeno je citoplazmom (sarkoplasma) u kojoj se nalazi veliki broj jedara. U sarkoplazmi se nalaze tanke niti, miofibrile koje su nosioci kontraktilnih osobina mišićnog vlakna. Izgled poprečno-prugastih mišićnih vlakana potiče od miofibrila koje poseduju šira tamna i uža svetla polja. Glatki mišići su izgradeni od glatkih mišićnih ćelija (vlakana) koje se udružuju u mišićne snopove i grade slojeve u zidovima cevastih organa. Glatka mišićna ćelija sadrži samo jedno jedro. Unutrašnjost ćelije ispunjava sarkoplazma u kojoj se pored tečnosti i organela nalaze miofibrile koje nisu poprečno-prugaste, kao poprečno-prugasta mišićna vlakna.

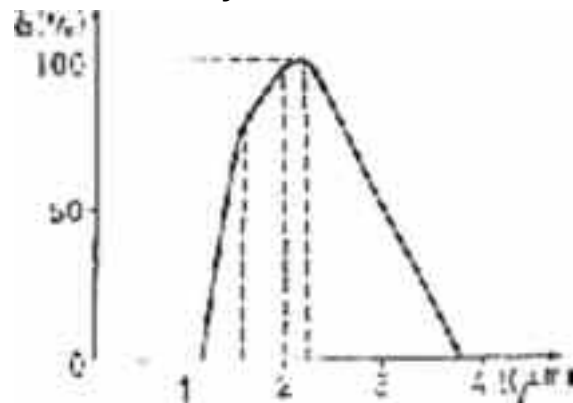


Sl. 5 Raspored miozinskih i aktinskih niti

Svako mišićno vlakno sadrži nekoliko stotina do nekoliko hiljada *miofibrila*. Miofibrile se sastoje od *miozinskih* i *aktinskih* niti čiji je raspored prikazan na sl. 5. To su veliki polimerizovani molekuli proteina koji imaju elastične osobine.

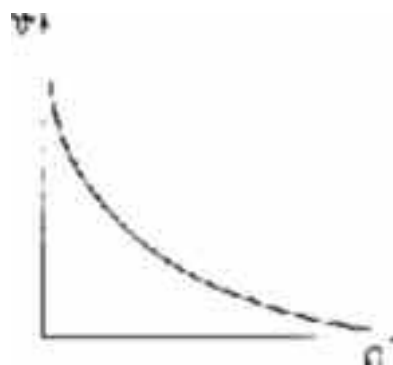
Oni su odgovorni za mišićnu kontrakciju. Prilikom kontrakcije mišićnih vlakana dolazi do skraćivanja *sarkomera* usled uvlačenja miozinskih među aktinske niti.

Dužina sarkomere pri mišićnom tonusu (normalna napregnutost) iznosi oko $2 \mu\text{m}$. Ako se mišić isteže, normalni napon u njemu blago raste da bi na dužinama većim od $2.2 \mu\text{m}$ počeo da opada. Pri skraćivanju sarkomere nagli pad napona se javlja na dužini od $1,65 \mu\text{m}$ kada krajevi miozinskih niti dodiruju membrane Z. Zavisnost normalnog napona σ od dužine sarkomere data je na sl. 6.



Sl. 6 Zavisnost normalnog napona od dužine sarkomere

Druga važna karakteristika dinamike mišićne kontrakcije je zavisnost brzine v mišićne kontrakcije od opterećenja Q . Sa povećanjem opterećenja opada brzina kontrakcije eksponencijalno kako pokazuje grafik (sl. 7).



Sl. 7 Grafik zavisnosti brzine od opterećenja

Posle kontrakcije nastupa relaksacija mišića za koju je potrebno nešto više vremena. Ukupno vreme kontrakcije i relaksacije je različito zavisno od funkcije mišića. Za očni mišić iznosi $1/100$ s, a za soleus $1/10$ s.

Mišić se sastoji iz mesnatog i tetiv-

nog dela. Tetive mišića su produžeci dela vezivnog tkiva mišića. One se nalaze na krajevima mišića, vezuju se za kost i preko njih se prenosi snaga mišićne kontrakcije na skelet. Poprečno prugasti mišići su inervisani motornim nervnim vlaknima, preko moždanih ili kičmenih živaca i njihovo dejstvo se, uglavnom, odvija pod uticajem naše volje i svesti. Glatki mišići i srčani mišić inervišu vegetativna nervna vlakna čije dejstvo nije pod uticajem naše volje i svesti.

Prema obliku, skeletni mišići se dele na duge, kratke i pljosnate. Dugi mišići se odlikuju velikom amplitudom pokreta i nalaze se na udovima. Kratki mišići se odlikuju malom amplitudom pokreta i nalaze se obično duž kičmenog stuba, na šakama i stopalima. Pljosnati mišići se nalaze u predelu trupa i odlikuju se pljosnatim telom i dugom, tankom i pljosnatom tetivom (aponeurosis). Skeletni mišići su po funkciji, pregibači (fleksori), opružači (ekstenzori), primicači (aduktori), odmicači (abduktori), uvrtači (pronatori), izvrtači (supinatori) i obrtači (rotatori).

VRSTE MIŠIĆA

Da bi se moglo ukazati na specifičnost dejstvovanja pojedinih mišića, neophodno je predhodno izvršiti klasifikaciju skeletnih mišića prema njihovom obliku i prema pravcu pružanja njihovih vlakana. U tom smislu se svi skeletni mišići mogu podeliti na vretenaste, peraste, lepezaste i četvrtaste mišiće. Prstenasti mišići - stezači, ne spadaju u skeletnu muskulaturu a i nemaju neposredno uticaja na pokrete aparata za kretanje.

Vretenasti mišići se odlikuju velikom dužinom mišićnih vlakana. Ovi mišići najmanje odstupaju od pravila simetrije. Rezultanta njihovog dejstva se u osnovi

poklapa sa uzdužnom osom mišića. Pripoji vretenastih mišića svedeni su na najmanju površinu, mogli bi se geometrijski uporediti sa tačkama pa se stoga lako određuje rezultanta povlačenjem linije od tačke jednog do tačke drugog pripoja. Intenzitet se određuje veličinom površine fiziološkog preseka koji se vrši upravnim rezom na mišić u predelu njegovog trbuha, gde su sva vlakna međusobno paralelna. Zato što su vlakna paralelno postavljena, prostiru se uzduž mišića, ona su srazmerno duga, ali ih zato u jedinici zapremine ima malo. Kako veličina površine fiziološkog preseka zavisi od broja mišićnih vlakana i od njihove debljine, snažna trakcija neće biti odlika vretenastih mišića, ali će zato moći da dejstvuju na dugom putu. Toliko, koliko se izgubilo na sili, dobilo se na putu odnosno brzini. Ovi mišići su obično raspoređeni duž onih delova aparata za kretanje, koji najčešće predstavljaju polugu brzine.

Perasti mišići se, za razliku od vretenastih, odlikuju kratkim vlaknima. Građa jednog perastog mišića je posebna. Njegova tetiva se duboko uvlači u centralni deo mišića tako da se mišićna vlakna, koja se unutrašnjim pripojem pripajaju na urasloj tetivi, pružaju koso upolje. Ovakav smeštaj vlakana je osnovni razlog zbog čega su vlakna kratka. Zato što su vlakna kratka, njih ima srazmerno vrlo mnogo. I perasti mišići, kao i vretenasti mišići, su obli i pripoji su im svedeni na najmanju površinu tako da se pravac rezultante određuje povlačenjem linije od centra jednog do centra drugog pripoja. Intenzitet se određuje fiziološkim presekom, koji je u slučaju perastog mišića veliki, zbog velikog broja vlakana, pa su perasti mišići po pravilu snažni mišići. Fiziološki presek bi imao oblik omotača kupe. Međutim, zbog kratkoće vlakana, koja se mogu prilikom kontrakcije skratiti za jednu trećinu svoje dužine, put na kome mogu perasti mišići da dejstvuju je relativno kratak. Toliko, koliko se prilikom rada perastog mišića

dobije na sili, izgubi se na putu, odnosno na brzini. Ovi su mišići raspoređeni u predelu onih delova aparata za kretanje gde se traže snažne kontrakcije i gde brzina kretanja ima drugostepeni značaj (poluge sile).

Kod perastih mišića se ne slažu sile mišićnih vlakana u rezultantu sile mišića, nego se sila svakog vlakna razlaže na komponente. Komponente, upravne na pravac prostiranja mišića se potiru a komponente paralelne sa tim pravcem se sabiraju i njihov zbir predstavlja rezultantu dejstva perastog mišića.

Lepezasti mišići bi se geometrijski mogli predstaviti trouglom gde bi se jedan pripoj mogao uporediti sa tačkom, a drugi sa linijom. Mišićna vlakna se zrakasto koncentrišu od pripoja koji ima oblik linije ka pripoju koji ima oblik tačke. Njihova vlakna su obično grupisana u snopove. Po potrebi, svaki snop može da vrši specifičnu funkciju. Fiziološki presek, koji se vrši radi određivanja intenziteta mišića, ima oblik konkavne, odnosno konveksne nepravilne površine. Rezultanta se određuje slaganjem pojedinačnih rezultanti svakog snopa.

Četvrtasti mišići se geometrijski mogu uporediti sa kvadratom ili pravougaonikom, a njihovi pripoji sa linijama. Mišićna vlakna su upravna na linije mišićnih pripoja, dok su međusobno paralelna. Zbog te činjenice je način određivanja površine fiziološkog preseka, pa prema tome i intenziteta četvrtastih mišića jednostavan, slično kao kod vretenastih mišića. Pravac dejstvovanja četvrtastog mišića se podudara sa pravcem prostiranja mišićnih vlakana, a kod totalne kontrakcije je približno paralelno sa vlaknima koja se nalaze u geometrijskoj sredini mišića.

Lepezasti i četvrtasti mišići imaju pljosnati oblik koji se u evoluciji čoveka formirao u smislu odgovaranja na potrebe

za raznovrsnom kontrakcijom, u smislu formiranja vrlo blagih oblina koje jedinki ne smetaju da se provlače kroz razne sredine, da ne ometaju pokrete najvećih amplituda. Takođe, pljosnati oblik mišića služi i kao neophodna pregrada koja učestvuje u zatvaranju telesnih šupljina tamo gde to kompaktne pljosnate kosti ne mogu da učine.

FUNKCIONALNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA

Osnovna funkcionalna odlika mišićnog tkiva (bilo to poprečno-prugasto ili glatko, belo ili crveno) jeste njegova razdražljivost. Ta razdražljivost se ispoljava najčešće skraćivanjem, grčenjem (kontrakcijom) mišićnih vlakana koje nastaje pod dejstvom spoljašnjih ili unutrašnjih draži. *In vivo*, pod normalnim uslovima, prirodne draži za kontrakciju čovečijih mišića jesu impulsi koji u svaki mišić dolaze preko njegovog motor-nog nerva, a ti impulsi nastaju u centralnom nervnom sistemu, pod uticajem promena unutrašnje i spoljašnje sredine koje se primaju preko receptora. Drugim rečima, razdraženje nastalo u receptorima prostire se i preko senzitivnih nerava stiže u centralni nervni sistem gde se prenosi na motorno nervno vlakno i preko njega u mišić, koji po prijemu dovoljno jakog impulsa odmah prelazi u stanje razdražljivosti, tj. kontrahuje se. Na osnovu ovoga, očigledno je da su pokreti kod čoveka refleksne prirode.

Jedno mišićno vlakno, kada je potpuno opušteno i nije opterećeno nekim teretom spolja, osim sopstvenom težinom, nalazi se u određenom napetom stanju. To stanje se zove tonus i predstavlja povoljnu osnovu za brzu kontrakciju.

Sama kontrakcija skeletnog mišića javlja se kao odgovor na nervne impulse,

koji dolaze u mišić preko specijalnih nervnih ćelija - motoneurona. Mišići zajedno sa nervima koji ih inervišu čine nervno-mišićni aparat čoveka.

Funkcionalna veza motoneurona sa mišićima sprovodi se preko aksona motoneurona, tako da se svaka od krajnjih grana aksona završava na jednom mišićnom vlaknu - obrazujući nervno-mišićnu sinapsu ili tzv. završnu ploču. Prema tome, svaki motoneuron inerviše onoliko mišićnih vlakana koliko ima krajnjih ogranaka. Ta fiziološka celina motoneurona, njegovog aksona i svih mišićnih vlakana koje inerviše, čini motornu jedinicu. Ona predstavlja osnovnu morfo-funkcionalnu jedinicu nervno-mišićnog aparata, i u organizmu čoveka je različita po veličini motoneurona, kao i po broju mišićnih vlakana.

Male motorne jedinice imaju relativno mali motoneuron, sa malim brojem mišićnih vlakana (do nekoliko desetina, i one ulaze u sastav svih sitnih mišića lica, prstiju ruke i noge, šake, a delimično i u sastavu velikih mišića trupa i ekstremiteta).

Velika motorna jedinica ima krupan, veliki motoneuron, koji svojim ograncima aksona inerviše i do nekoliko hiljada mišićnih vlakana. One se nalaze u sastavu velikih mišića trupa i ekstremiteta.

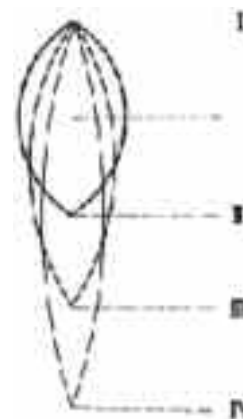
Svaki skeletni mišić izgrađen je od velikog broja mišićnih snopova, a snop - od hiljade mišićnih vlakana. Kod čoveka se broj tih vlakana formira od 4. do 5. meseca života i praktično se ne menja. Međutim, njihova debljina se znatno menja: pri rođenju njihov dijametar iznosi 1/5 debljine vlakna odraslog čoveka; pod uticajem treninga, taj dijametar se može kod odraslih znatno povećati.

Ako se dužina mišićnog vlakna sa normalnom toničnom napetošću uzme kao osnovna dužina, onda se to vlakno, kada

se kontrahuje, skрати za jednu trećinu te dužine, a ako se nekom spoljašnjom silom rastegne, njegova se dužina opet povećava za jednu trećinu osnovne dužine. (Prema radovima više autora, ove mere treba uzeti kao orijentacione). Na osnovu navedenog, maksimalna dužina spoljašnjom silom rastegnutoг vlakna, i minimalna dužina kontrahiranog vlakna stoje u odnosu kao 2:1 (sl. 8).

MIŠIĆNA SILA KAO VEKTOR

Kao i svaka sila, i sila mišića može da se posmatra kao uzrok koji je u stanju da promeni stanje mirovanja ili stanje kretanja nekog tela. U statici je sila vektorska veličina i određena je sa četiri elementa, pa je prema tome i silu mišića neophodno odrediti pomoću istih elemenata.



Sl. 8 Jedno mišićno vlakno: I - II maksimalno kontrahovano, I - III u normalnom tonusu, I - IV maksimalno istegnuto

Intenzitet mišićnog dejstvovanja se meri težinskim jedinicama kako za različite mišiće u sastavu jedne jedinice, tako i za iste mišiće u sastavu raznih jedinki. Intenzitet mišića varira od 6 do 14 kiloponda na kvadratni santimetar površine fiziološkog preseka. Površina fiziološkog preseka se dobija kada se izvrši presek mišića upravno na svako vlakno. Ova veličina nije uvek ista za razne mišiće jednog organizma i za iste mišiće raznih organiza-

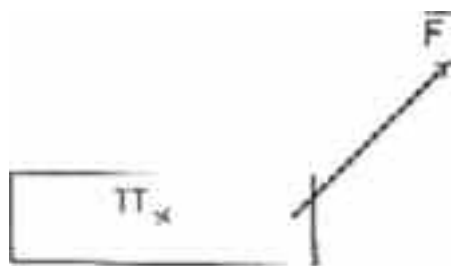
ma. Intenzitet mišića zavisi od konstitucije jedinice, od stanja treniranosti i sl.

Smer dejstvovanja mišića je od pokretnog ka nepokretnom pripoju toga mišića.

Napadna tačka sile mišića nalazi se u centru pokretnog mišićnog pripoja. Ona je bliže određena tačkom gde kroz površinu pokretnog pripoja prolazi mišićna rezultanta.

Napadna linija ili pravac se poklapa sa rezultantom svih dejstvujućih mišićnih vlakana.

U odnosu na posledice koje mogu izazvati vektori koji dejstvuju na neko telo materijalne prirode, vektori se mogu podeliti na klizeće vektore, vektore vezane za tačku i na slobodne vektore.



Sl. 9 Klizeći vektor: TT - težište tela

Sila kao klizeći vektor izaziva translatorno kretanje kada dejstvuje u težištu tela (sl. 9). Ove su sile malobrojne u odnosu na druge sile koje dejstvuju u sastavu aparata za kretanje. Kao primer može se navesti dejstvo rombastog mišića na lopaticu. Napadna linija sile rombastog mišića prolazi kroz težište lopatice a posledica takvog dejstva biće klizanje lopatice po grudnom košu u smislu približavanja lopatice ka kičmenom stubu (sl. 10).

Sila kao vektor vezan za tačku dejstvuje dvojako, i translatorno i obrtno, jer je njena napadna linija ekscentrična u odnosu na nepokretnu (fiksnu) tačku. Redukcijom sile na tu fiksnu tačku (dodavanjem u fiksnoj tački dveju suprotih

sila, jednakih datoj sili) dobija se sila jednaka datoj sili i spreg momenta jednakog proizvodu jačine sile i najkraćeg rastojanja njene napadne linije od fiksne tačke. Redukovana sila na fiksnu tačku vrši translaciju ili se poništava sa otporom u fiksnoj tački, a spreg vrši obrtanje.

U slučaju da se radi o vektoru koji dejstvuje na sistem koji je jednim delom vezan za tačku, jednu silu takvog sprega će predstavljati sila ili jedna njena komponenta, a drugu silu istog sprega će predstavljati sila otpora izazvana u tački obrtanja. Ako se radi o telu koje slobodno lebdi u prostoru, na koje dejstvuje sila, jednu silu sprega će predstavljati navedena sila a druga sila istog sprega će biti inercijalne prirode i dejstvovaće na težište tela (sl. 11).



Sl. 10 Prikaz klizećeg vektora: C - kičmeni stub, S - lopatica, Rh - rombasti mišić, Frh - sila rombastog mišića kao klizeći vektor

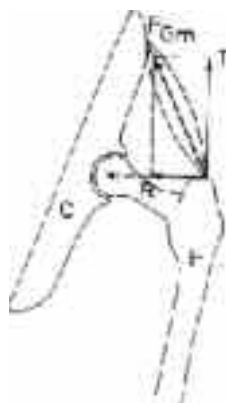
Vektori vezani za tačku su najbrojniji u sistemu čovečijeg aparata za kretanje. Kao primer može se navesti odvođenje u zglobu kuka (sl. 12). Srednji sedalni mišić, kao glavni odvodioć buta, može tu funkciju samostalno izvršiti. Ako je karlica fiksirana njegovo dejstvo će biti približavanje perifernog prloja na velikom trohanteru ka centralnom na karlici. Odvođenje će izvršiti samo jedna komponenta mišićne sile. Druga sila u spregu će biti otpor u zglobu kuka koji je u odnosu na dejstvujuću mišićnu komponentu isti po intenzitetu, isti po pravcu, suprotan po smeru a dejstvuje na određenom rastojanju (kraku sprega) od druge sile.

Slobodan vektor izaziva čisto obrtanje u ravni sprega. Za razliku od vektora vezanog za tačku, gde je postojala uvek jedna dejstvujuća sila, dok je druga bila izazvana posledica dejstvom dejstvujuće sile, u slučaju slobodnog vektora obe sile su nezavisno dejstvujuće. Slobodan vektor izaziva obrtanje bez ikakve translacije, pritiska ili razvlačenja, te se jedno isto obrtanje, dejstvujući po obimu (spregom), može izazvati sa dva puta manjim silama nego ekscentričnim dejstvom kao što je to slučaj sa vektorom vezanim za tačku (sl. 13).



Sl. 11 Vektor vezan za tačku: TT - težište tela

U sastavu čovečijeg aparata za kretanje ne postoje idealni spregovi ili slobodni vektori zbog toga što se u toku kretanja menja intenzitet mišića a i pravac dejstvovanja. Promena intenziteta mišićnog dejstva nije ravnomerna za oba mišića ili za obe grupe mišića koje dejstvuju u spregu, što već u analizi vektora predstavlja drugi kvalitet. Za vreme kretanja određene poluge (kosti) gde su sile dejstvovale u

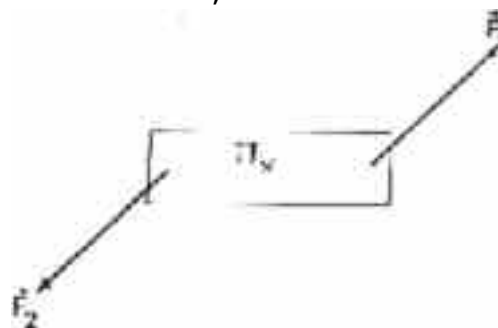


Sl. 12 Prikaz vektora vezanog za tačku: C - karlična kost, F - butna kost, Fgm - sila srednjeg sedalnog mišića kao vektor vezan za tačku, R - radijalna komponenta, T - tangencijalna komponenta

spregu, može da dođe do promene smera dejstva sila tako da u spregu učestvuje samo komponenta sile koja je dejstvovala u početku kretanja. Ukoliko nastaje neravnomerno smanjivanje sila koje dejstvuju u spregu nastaje kombinovano kretanje sa obrtanjem tako da se i u ovom slučaju ne može govoriti o izrazitom slobodnom vektoru. Iako u sistemu čovečijeg aparata za kretanje nedostaje idealan primer za slobodan vektor, postoji dejstvanje mišićnih sila na određene poluge aparata za kretanje, koje ima smisao slobodnog vektora. Ako bi, na primer, istovremeno nastupila kontrakcija jedne strane gornje trećine trapezastog mišića i donjeg dela prednjeg zupčastog mišića sa iste strane, nastalo bi obrtanje lopatice u smislu udaljavanja donjeg ugla od kičmenog stuba kao posledica sprega (slobodnog vektora) navedenog para sila (sl. 14).

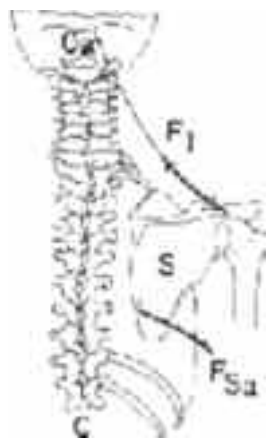
OBLIK I VRSTE MIŠIĆNE KONTRAKCIJE

Kao rezultat kontrakcije, skraćivanja u mišićnim vlaknima, javlja se određeni napon. To je jedna od osnovnih fizioloških karakteristika mišića. Tako, na primer, troglavi mišić potkolena pri hodu razvija napor koji je četiri puta veći od težine tela, a ako bi se sva mišićna



Sl. 13 Slobodan vektor: TT - težište tela

vlakna (oko 300 miliona) razdražila istovremeno i maksimalno i ostvarila vuču u jednom pravcu, onda bi ona mogla da raz-



Sl. 14 S - lopatica, FT - sila gornjeg dela trapezastog mišića u sistemu slobodnog vektora, Fsa - sila prednjeg zupčastog mišića u sistemu slobodnog vektora
viju snagu oko 25 tona.

Ako se mišićna sila suprotstavlja nekoj spoljašnjoj sili tako da rezultat bude mirovanje (relativno mirovanje), onda se takvo mišićno naprezanje naziva statičkim naprezanjem.

Razlikuju se dve vrste statičkih mišićnih naprezanja: aktivno i pasivno statičko naprezanje.

Aktivno statičko naprezanje nastupa kada se mišić nalazi u kontrakciji, u ravnoteži sa ostalim silama, ali tako da održava svoje pripoje uvek na istom rastojanju. Ovakva kontrakcija se još naziva i izometrijskom kontrakcijom. Tom prilikom se ne izvršava rad ali zbog stanja kontrakcije postoji relativno veliki utrošak energetskih rezervi u ćelijama mišićnih vlakana. Pošto statičko aktivno mišićno naprezanje otežava promet materije i energije u mišićima, zamor koji nastupa za vreme i posle statičkog aktivnog naprezanja je još izrazitiji. Ova forma mišićne kontrakcije se javlja kada je spoljašnji teret jednak ili veći od napona mišića, ali ne postoje uslovi za rastezanje mišića pod uticajem tog spoljašnjeg opterećenja.

Karakteristično za sve izdržaje je statičko aktivno naprezanje. U slučaju ravnoteže na polugama, mišićna sila je osnovna veličina kojom čovek najlakše upravlja i

čijim se tačnim doziranjem izjednačuju obrtni momenti sila na polugama.

Pasivno statičko naprezanje je izvršeno onda kada su mišićni pripoji toliko udaljeni, pod uslovom da su mišići opuštani (distrahirani), da čvrstina mišićnog tkiva ne dozvoljava udaljavanje mišićnih pripoja na veća rastojanja. Na taj način se pasivnim mišićnim naprezanjem suprotstavlja sili koja je izvršila udaljavanje mišićnih pripoja.

Ako se mišićni pripoji pod dejstvom mišićne sile približavaju ili udaljavaju ali brzinom koja je kontrolisana mišićnim dejstvom, onda mišići vrše rad. Dinamički rad mišića može da se подели na dinamički rad sa pozitivnim efektom i dinamički rad sa negativnim efektom.

Dinamički rad sa pozitivnim efektom je izvršen ako mišić svojom kontrakcijom dejstvuje u smislu približavanja svojih pripoja. Takva vrsta mišićne kontrakcije se naziva još i koncentričnom mišićnom kontrakcijom. Ovaj oblik kontrakcije naziva se i izotonička kontrakcija (isti napon) ili mio-metrijska kontrakcija. Dinamički rad sa pozitivnim efektom je osnovna vrsta mišićne delatnosti. To je slučaj kada mišićna sila dejstvuje kao aktivna sila a spoljašnja kao pasivna.

Dinamički rad sa negativnim efektom se vrši u slučaju ako neka druga sila, obično spoljašnja sila, vrši kretanje dok se sila mišića suprotstavlja tom kretanju. To znači da druga sila dejstvuje u smeru udaljavanja pripoja aktuelnog mišića a tom se dejstvu isti mišić suprotstavlja svojom kontrakcijom. Znači, kretanje će se vršiti u smeru dejstva druge sile, dok će sila aktuelnog mišića dejstvovati u suprotnom smeru. Pošto je intenzitet mišićne sile manji od intenziteta druge sile, kretanje će se vršiti u smeru dejstva druge sile, ali će njen intenzitet biti umanjen za intenzitet kontrakcije aktuelnog mišića. Takva

vrsta mišićne kontrakcije, odnosno spore distrakcije, naziva se ekscentrična ili plio-metrična mišićna kontrakcija. Negativni efekat mišićnog dejstva se ispoljava kao aktivna regulacija dejstva neke druge sile. Ta druga sila (spoljašnja) je aktivna sila a mišićna sila je pasivna sila.

Koncentrična kontrakcija može da se ispoljava i u nekim varijantama. Najčešće varijante koncentrične kontrakcije su balistička kontrakcija i dejstvo mišića u širinu.

Balistička kontrakcija mišića predstavlja približavanje mišićnih pripoja u najkraćem vremenu. Na taj način se dobija maksimalna brzina kretanja pokrenutog dela tela čime se ispunjava jedna od osnovnih komponenti od kojih zavisi veliki broj vrhunskih dostignuća u okviru sredstava telesnog vaspitanja.

Dejstvo mišića u širinu se zasniva na činjenici da svaki mišić, usled kontrakcije gde se gubi na dužini, dobija na širini i istovremeno na čvrstini. Ovakvim povećavanjem prečnika mišića može da se izvrši određeni rad.

U realnim fiziološkim uslovima aktivnosti mišića praktično se ne javlja čista izometrička ili čista izotonička kontrakcija. Ona praktično uvek ima mešoviti karakter. Ta mešovita forma kontrakcije, pri kojoj se menja i dužina i napon mišića, naziva se auksotonična kontrakcija.

U pogledu vrste mišićne kontrakcije, režima kontrakcije, razlikuju se dve vrste: prosta, ili pojedinačna mišićna kontrakcija, i složena mišićna kontrakcija, ili tetanus (tetanička kontrakcija).

Kao odgovor na impuls iz motoneurona koji pristiže mišićnim vlaknima (a u eksperimentalnim uslovima - kao odgovor na dejstvo jedne, pojedinačne električne draži mišića ili njegovog nerva) javlja se brzo kontrakcija mišićnih vlakana. Taj proces se definiše kao prosta, pojedinačna

kontrakcija.

Trajanje proste mišićne kontrakcije je različito kod raznih mišića jedne životinjske vrste. Kod čoveka ona traje 0,1s; u prirodnim normalnim uslovima kod čoveka se ne javljaju ovakve mišićne, pojedinačne kontrakcije, ma kako kratkotrajno delovao neki pokret. Delatnost u organizmu čoveka i životinja potpuno je potčinjena centralnom nervnom sistemu, od koga dobijaju ne jedan, već niz impulsa (draži) koji slede jedan drugog u vremenskom razmaku kraćem od trajanja proste mišićne kontrakcije, tako da mišić ne uspeva da se opusti, dekontrahuje, a već nailazi novi impuls. U mišiću se javlja sumacija skraćivanja, i kao rezultat proizlazi stanje drugog skraćivanja - kontrakcija mišića, nazvana tetanus.

Broj impulsa koji pristižu u mišiće čoveka pri pokretima, tj. tetaničnoj kontrakciji, i to iz nervnih centara, iznosi 50-60 imp./s, mada je optimum 100-200 imp./s

U osnovi mišićne kontrakcije su određeni hemijski procesi u samom mišiću, čije reakcije omogućavaju njegov rad. Te hemijske reakcije u mišiću dele se na anaerobne - koje se odigravaju bez učešća kiseonika, i aerobne - sa učešćem kiseonika i reakcijama. Osnovni deo energije za mišićni rad proizilazi iz oksidativnih procesa, povezanih sa oksidacijom ugljenih hidrata. Mišići koji se kontrahuju, rade, oslobađaju u obliku mehaničke energije samo oko 30% energije, a ostali deo oslobođene energije odvajaju se u obliku toplotne energije.

Kinetička teorija mišićne kontrakcije. Ako se zanemari masa samog mišića, prema II Njutnovom zakonu, sila F koju razvija skrateni mišić jednaka je

$$F = ma + Q$$

gde je m masa tereta, a njegovo ubrzanje i Q težina tereta. Pored sile, važne

veliĉine su brzina skraćivanja mišića, mehaniĉki rad mišića pri premeštanju tereta, oslobođena toplota itd. Međusobnu zavisnost ovih veliĉina obrađuje kinetiĉka teorija mišićne kontrakcije.

Do danas je predloženo nekoliko kinetiĉkih fiziĉko-matematiĉkih modela mišićne kontrakcije. U osnovi tih modela je promena duŹine sarkomera, dakle pomeranje miozinskih u odnosu na aktinske niti. Pomeranje se vrši na raĉun energije koja se dobija iz adenzin-trifosfata (ATP) pri ĉemu se stvara adenzin-difosfat (ADP) koji se opet jedini sa jednim fosforom u ATP. Energija za obnavljanje ATP oslobađa se iz hranljivih materija.

Korisno dejstvo, odnosno procenat dobijenog rada od ukupne uloŹene energije, iznosi svega 20-25%. Maksimalno korisno dejstvo se ostvaruje pri kontrakciji mišića umerenom brzinom. Ako se kontrakcija vrši sporo veliki deo energije se pretvara u toplotu. Pri brznoj kontrakciji pored oslobođene toplote deo energije se troši na savladavanje trenja usled viskoznosti samog mišića.

Detaljno izlaganje ma koje, do sada razrađene kinetiĉke teorije mišićne kontrakcije, prevazilazi okvire ovoga kursa.

RAD MIŠIĆA

Rad mišića, koji obezbeđuje kretanje, kao i vršenje prostih i sloŹenih radnji pri nekom zanimanju, izraŹava se kilogram-metrima. Rad mišića zavisi od niza uslova (struktura mišića, njegova uveŹbanost itd.) i javlja se kao maksimalan pri optimalnom, opterećenju i optimalnom ritmu kontrakcije. Efektivnost rada zavisi i od emocija: radost povećaava radnu sposobnost i ĉesto uspeva da smanji mišićni zamor. Što se tiĉe nervnih uticaja, vaŹno je naglasiti uticaj

simpatiĉkog nervnog sistema na rad mišića. Taj uticaj je poznat kao trofiĉni uticaj, koji se manifestuje ubrzavanjem procesa razmene materije, a time i povećaanjem radne sposobnosti mišića.

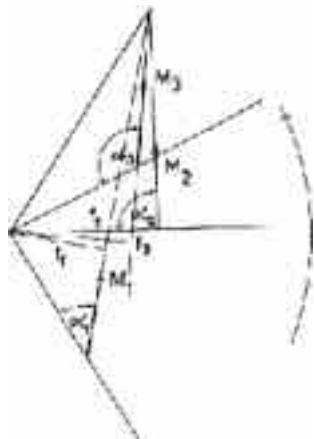
Pri ocenjivanju rada mišića obiĉno se istiĉe njegov "spoljašnji" ili proizvodni rad. Radi jednostavnosti, moŹe se rad mišića (W), koji se manifestuje u podizanju određenog tereta (P) na određenu visinu (h), i on se izraŹava u kilogram-metrima: $W = P \times h$. Veliĉina mišićnog rada zavisi od spoljašnjeg opterećenja. Osim toga, sa veliĉinom tereta postepeno se smanjuje stepen skraćivanja sve do nule (kod maksimalne izometriĉne sile - snage mišića). Imajući u vidu te ĉinjenice jasno je da će se povećaanjem opterećenja sve više smanjiti stepen skraćenja, pa se spoljašnji mišićni rad sa postepenim porastom tereta, u poĉetku uvećava, a pri većim, i maksimalnim opterećenjima smanjuje. Najveći spoljašnji mišićni rad mišić proizvodi u uslovima srednjih opterećenja. Taj fenomen se u fiziologiji definiše kao zakon srednjih opterećenja.

OBRTNI MOMENT SILE MIŠIĆA

U sluĉaju dejstva sile na polugu, tako i u sluĉaju dejstva sile mišića na deo tela, ukoliko sile dejstvuju na određenom rastojanju od fiksne taĉke, radi se o obrtnom momentu, tj. o vektoru koji je jednak proizvodu sile i njenog kraka. Intenzitet sile se u obrtnom momentu sile mišića određuje veliĉinom površine fiziološkog preseka dejstvujućih mišićnih vlakana, dok je krak predstavljen najkraćim rastojanjem od centra zgloba preko kojeg sila mišića dejstvuje, do napadne linije sile mišića. Zbog postojanja zglobnih i nezglbkih ispupĉenja na kostima i zbog ĉinjenice da se napadna linija sile mišića prostire u osnovi sredinom mišića, krak obrtnog momenta sile mišića

ni u jednom trenutku ne može da bude jednak nuli, pa je obrtni moment sile mišića uvek realna veličina.

Polazeći od pretpostavke da mišić dejstvuje uvek istim intenzitetom, obrtni moment sile mišića za razne položaje aktuelnog dela tela, ne predstavlja uvek istu veličinu. Promenom položaja delova tela u čijem sistemu dejstvuje sila mišića, menja se i krak sile (sl. 15). Veličina najkraćeg rastojanja od centra zgloba do napadne linije sile mišića zavisi od napadnog ugla koji zatvara rezultanta sile mišića i linija koja spaja centar zgloba sa centrom pokretnog mišićnog pripoja. Krak sile mišića se ponaša kao trigonometrijska funkcija sinus napadnog ugla. Obrtni moment sile mišića će biti najveći kada napadni ugao bude jednak pravom uglu, pošto je u tom trenutku pokreta ako se radi o kretanju, odnosno u tom položaju ako se radi o mirovanju, krak sile mišića najveći. Najveća vrednost kraka sile mišića jednaka je rastojanju od centra zgloba do centra pokretnog mišićnog pripoja. Za rame nični mišić su Fischer i Braune izmerili da je najveći krak sile mišića postignut onda kada uzdužne ose nadlaktka i podlaktka zatvaraju ugao oko 100°. U tom položaju ugao između rezultante mišićnog dejstva i linije koja spaja centar zgloba lakta sa centrom perifernog pripoja rameničnog mišića (m. brachialis), koji je tipičan pregibač u zglobu lakta, je jednak pravom uglu



Sl. 15 Obrtni moment sile mišića u tri razna položaja istog sistema: M - sila mišića, f - krak sile mišića, α - napadni uglovi

(sl. 16). Valja razlikovati navedene uglove, jer se linija koja spaja centar zgloba sa centrom mišićnog pripoja nikada ne može podudariti, ni biti paralelna, sa uzdužnom osom kosti ili sistema koji se tretira kao pokretna poluga.

Karakteristično je da je krak sile mišića najveći u istom položaju kada je i komponenta kretanja jednaka rezultanti, tj. kada je komponenta kretanja najveća. Prema tome, najefikasnija pozicija jednog mišića, u odnosu na njegove maksimalne mogućnosti, je upravo pozicija kada je napadni ugao jednak pravom uglu pošto tada i komponenta kretanja i njen krak dostižu maksimalne vrednosti.

Prilikom određivanja obrtnog momenta sile mišića, posmatra se mišić u prirodnim uslovima tj. da su mišićni pripoji vezani na susednim kostima i da se između kostiju nalazi najmanje jedan zglob. Na osnovu toga se dejstvo mišića u prirodnim uslovima može izraziti proizvodom sile mišića i kraka ili proizvodom tangencijalne komponente sile mišića i rastojanja između centra zgloba i centra pokretnog mišićnog pripoja (sl. 17). Polazeći od pretpostavke da je obrtni moment sile mišića ($M \times f$) jednak proizvodu tangencijalne komponente sile mišića i rastojanja od centra zgloba do centra pokretnog mišićnog pripoja ($T \times r$), može se po sličnosti trouglova na sl. 17 zaključiti:

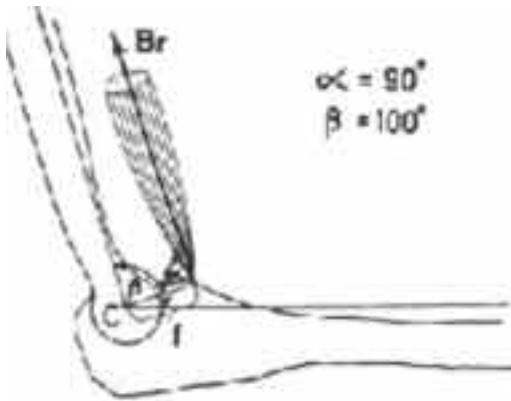
$$f = r \times \sin \alpha$$

$$T = M \times \sin \alpha$$

$$M \times r \times \sin \alpha = M \times \sin \alpha \times r$$

$$M \times f = T \times r$$

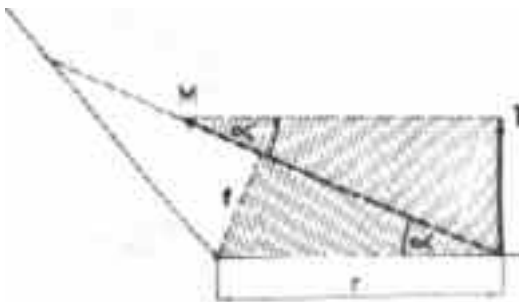
Za dokazivanje ovog pravila može se početi od aksioma da je kod kvadrata proizvod stranica jednak polovini proizvoda dijagonala, u kom slučaju je napadni ugao jednak polovini pravog ugla (sl. 18).



Sl. 16 Položaj maksimalnog obrtnog momenta za rameni mišić: Br - sila rameničnog mišića, f - krak rameničnog mišića, C - centar zgloba lakta, $\alpha = 90^\circ$ - napadni ugao, $\beta = 100^\circ$ - ugao između uzdužnih osa nadlaktka i podlaktka

ZAMOR MISICA

Zamorom se naziva privremeno slabljenje funkcionalne radne sposobnosti organa, tkiva ili celog organizma, koji nastupa kao posledica dužeg ili kraćeg trajanja rada, dok isto stanje iščezava posle dužeg ili kraćeg trajanja odmaranja. Pri refleksnoj delatnosti mišića, zamor se javlja istovremeno u samom mišićnom tkivu, u nervnim centrima, kao i u završecima motornih nerava u mišiću. Odmor nastupa pre nego zamor u samom mišićnom tkivu (što se lako eksperimentalno dokazuje).

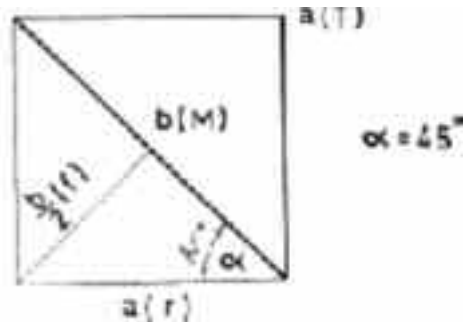


Sl. 17 Izračunavanje mišićnog dejstva: M - sila mišića, f - krak sile mišića, T - tangencijalna komponenta sile mišića, r - krak tangencijalne komponente, α - napadni ugao sile mišića

To stanje zamora kod mišića manifestuje se postepenim smanjenjem veličine kontrakcije. To smanjenje može ići do potpunog izostajanja kontrakcije mišića, tj. da mišić ne odgovara na primljene draži.

Brzina razvoja zamora kod čoveka u

radu zavisi od ritma rada i od veličine opterećenja. Veliko opterećenje ili suviše brz ritam dovodi do brzog nastajanja zamora, usled čega je i radni učinak minimalan. Rad se odvija najbolje pri nekom srednjem, optimalnom (za određenog čoveka) ritmu, optimalnom opterećenju, koji je različit ne samo za različite ljude nego i za jednog istog čoveka u različitim uslovima. U medicini se za određivanje radne sposobnosti, u zavisnosti od opterećenja i ritma, primenjuje metoda koja se naziva ergografija. Pri tome se koristi dosta jednostavan aparat - ergograf, koji je konstruisao torinski fiziolog Moso, pa se zato naziva Mosov ergograf.



Sl. 18 Dokaz da se obrtni moment sile mišića može izraziti proizvodom sile mišića i njenog kraka, i proizvodom tangencijalne komponente i rastojanja od centra pokretnog pripoja do centra obrtanja

Pojava zamora objašnjava se hemijskim i fiziološkim teorijama zamora.

Hemijska teorija objašnjava nastajanje zamora kao posledicu smanjivanja energetske rezerve u mišićnom tkivu i kao pojavu obilnog nakupljanja produkata metabolizma mišića u radu, koji kao da "zatrpavaju", guše normalan metabolizam, usled čega se javlja zamor.

Fiziološka teorija mišićnog zamora polazi od toga da on nastupa zbog promene fizioloških svojstava zamorenog mišića (razdražljivost) i fiziološke labilnosti. Jedna i druga teorija se ne isključuju već, po našem mišljenju, samo dopunjuju.

DEJSTVO MIŠIĆA U PRIRODNIM USLOVIMA

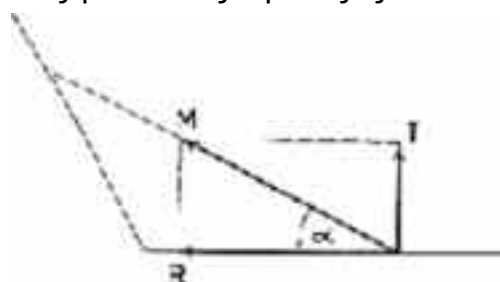
Najveći deo mišića čovečijeg aparata za kretanje ima svoje pripoje na kostima koje su međusobno vezane najmanje jednim zglobovom. U takvim, prirodnim uslovima, mišić nije u stanju da približi svoje pripoje najkraćim putem, nego uvek pokretni pripoj opisuje krivu putanju. Stoga, kod svih pokreta živih bića, uz nekoliko izuzetaka, nema pravolinijskog kretanja, koje je nastalo kao posledica neposrednog mišićnog dejstva, nego samo niz rotacionih pokreta, koji, vezani na određeni način (sportska tehnika), mogu da saopštavaju pravolinijski smisao kretanja celog sistema.

Zbog postojanja fiksne tačke u zglobu, dejstvo mišića se razlaže na komponente. Pošto postoji samo jedna fiksna tačka, jedna komponenta mišićnog dejstva će biti usmerena radijalno, tj. dejstvovaće prema centru zgloba kao pritisak, zbog čega se najčešće naziva radijalnom komponentom (R) ili komponentom pritiska, dok će druga dejstvovati tangencijalno, biće upravna na radijalnu komponentu i dejstvovaće u smislu kretanja, zbog čega se najčešće naziva tangencijalnom komponentom (T) ili komponentom kretanja (sl. 19).

Veličina komponenti nije uvek ista iako je rezultanta mišićnog dejstva (M) uvek ista veličina. Veličina komponenti mišićnog dejstva zavisi od veličine rezultante i od veličine napadnog ugla (α), koji zatvara rezultanta mišićnog dejstva sa linijom koja spaja centar pokretnog pripoja sa centrom obrtanja. Valja pomenuti da se ova linija poklapa sa radijalnom komponentom i da se, ni u kom slučaju, ne poklapa sa uzdužnom osom pokretne poluge. Porastom napadnog ugla do veličine pravog ugla povećava se i komponenta kreta-

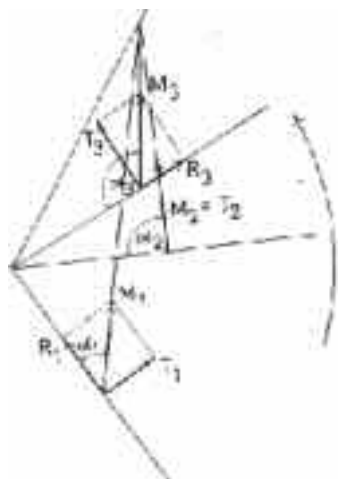
nja a smanjuje se komponenta pritiska. Kada se dostigne optimalna veličina napadnog ugla, tj. napadni ugao iznosi 90° , pa je komponenta kretanja jednaka rezultanti mišićnog dejstva, odnosno komponenta kretanja dostiže svoju najveću vrednost, a komponenta pritiska je jednaka nuli, tj. dostiže svoju najmanju vrednost. Tangencijalna komponenta se ponaša kao trigonometrijska funkcija sinus napadnog ugla a radijalna komponenta kao kosinus istoga ugla. Ako napadni ugao bude veći od pravog ugla, komponenta kretanja se smanjuje a pojavljuje se komponenta pritiska, ali sada sa suprotnim smerom, pa se stoga naziva komponentom razvlačenja (sl. 20).

Ako bi vrednost napadnog ugla bila jednaka nuli, radijalna komponenta bi bila maksimalna, tj. jednaka rezultanti mišićnog dejstva, a tangencijalna komponenta bi bila jednaka nuli. U tom slučaju mišićna sila ne bi bila u stanju da izvrši pokret! Međutim, na takav se slučaj u normalnom ljudskom aparatu za kretanje ne nailazi. Vrednost napadnog ugla nije nikada jednaka nuli zbog toga što se mišić ne pripaja u predelu uzdužnih osa poluga na kojima ima svoje pripoje, zatim što su mu pripoji još posebno udaljeni zbog pripoja na nezglonim ispuččenjima (bodlje, kvrge, kvržice i hrapava ispuččenja), i najzad što je mišićna rezultanta udaljena od centra obrtanja zglobnim ispuččenjima, sezamoidnim kostima (slučaj zgloba kolena) i debljinom mišićnog trbuha. Prema tome, mišić može da izvrši pokret i kada su uslovi za taj pokret najnepovoljniji.



Sl. 19 Dejstvo mišića u prirodnim uslovinma: M - sila mišića, α - napadni ugao sile mišića, R - radijalna komponenta, T - tangencijalna komponenta

U prirodnim uslovima mišić može da svom svojom silom dejstvuje u smislu kretanja samo u jednom trenutku, u trenutku kada je napadni ugao jednak pravom uglu. U svim drugim trenucima istog kretanja za kretanje se koristi samo deo mišićne sile, dok se određeni deo koristi za uspostavljanje pritiska u zglobu, odnosno u centru obrtanja. Tom komponentom pritiska mišić učestvuje u stabilizaciji zgloba kao aktivni učvršćivač.



Sl. 20 Karakteristični položaji za dejstvo mišića u prirodnim uslovima: M_1, M_2, M_3 - sila istog mišića u karakterističnim položajima, T_1, T_2, T_3 - tangencijalna komponenta, R_1, R_3 - radijalna komponenta, α - napadni ugao, $\alpha_1 < 90^\circ$, $\alpha_2 = 90^\circ$, $\alpha_3 > 90^\circ$

4. OSNOVNI POKRETI

- ✧ FUNKCIONISANJE LOKOMOTORNOG SISTEMA
- ✧ SISTEMI POLUGA
- ✧ KINETIČKI LANCI

Svaka cevasta kost u sastavu dela tela, ili sistem kratkih kostiju, takode u sastavu dela tela, se u aparatu za kretanje ponašaju kao poluge. Da bi se moglo pristupiti analizi uzroka mirovanja i kretanja pojedinih delova tela i celoga tela, neophodno je poznavati te proste mašine i sve zakonitosti u vezi sa njima.

Svaki štap, (čija se težina može zanemariti) koji je u jednoj svojoj tački vezan tako da se može oko nje obrtati, predstavlja prostu mašinu ili polugu. Da bi se na jednoj poluzi mogla uspostaviti ravnoteža, neophodno je da na nju dejstvuju najmanje dve sile. U slučaju aparata za kretanje, te sile su obično sila zemljine teže i sila mišića. Tačka, gde je poluga pričvršćena se naziva obrtna tačka ili oslonac.

Svaka sila koja dejstvuje na polugu, dejstvuje od tačke oslonca na određenom rastojanju, odnosno na određenom kraku. Krak sile na poluzi predstavlja najkraće rastojanje od tačke oslonca do napadne linije sile. To je ustvari upravno rastojanje od tačke oslonca do napadne linije sile.

Zakon dejstva sila na poluzi je zakon dejstva paralelnih sila. Da bi dva tereta, ili teret i sila na poluzi bili u ravnoteži, potrebno je da njihova rezultanta prolazi kroz tačku oslonca, odnosno tačku obrtanja. U tom slučaju je moment rezultante paralel-

nih sila za ovu obrtnu tačku jednak nuli, jer sila (rezultanta, koja predstavlja sve dejstvujuće sile) prolazi kroz momentnu tačku. Prema tome, biće uspostavljena ravnoteža samo u slučaju da je zbir obrtnih momenata sila, koje dejstvuju na jednoj poluzi, jednak nuli. U jednokrakih poluga, pored uslova da momenti za određenu obrtnu tačku budu jednaki, oni moraju biti i suprotnih smerova. Uslovi za održavanje ravnoteže na poluzi se mogu izraziti:

$$G \times q = M \times f$$

gde je sila teže (G) a njen krak (q), sila mišića (M) a njen krak (f), za obrtnu tačku (O).

Sve poluge mogu da imaju pravi i ugaoni oblik. Pravi oblik poluge je postignut onda kada se napadne tačke vertikalno usmerenih sila i centar obrtanja (oslonac) nalaze na istom nivou. Ugaoni oblik poluge je postignut ako se navedene tačke nalaze na različitim nivoima. Krak sile je najveći kada je postignut pravi oblik poluge. Poluge koje sačinjavaju čovečiji aparat za kretanje se obično nalaze u ugaonom obliku. Osim toga valja napomenuti da sila mišića samo u izuzetnim slučajevima ima paralelan pravac sa silom teže. Maksimalna vrednost obrtnog momenta sile mišića će se postići u slučaju da se aktuelna poluga dovede u prav oblik i da se pravac dejstva mišićne rezultante dovede u paralelan položaj u odnosu na pravac dejstva sile teže.

Preko mesta na kojima se vezuju za kosti mišići deluju određenom silom F na njih. Kost, ili sistem kostiju, predstavljaju različite vrste poluga. Druga sila koja na njih deluje je gravitaciona sila Q . Poluga predstavlja model koji zamenjuje kost. To je svakako čvrsto telo koje može da rotira oko ose koja prolazi kroz oslonac poluge i pri tom silu F koja deluje na jednom kraju poluge preinači u silu F' koja će delovati

na drugom kraju poluge u suprotnom smeru i različitim intenzitetom. Preinačena sila F' uravnotežiće dejstvo gravitacione sile Q koja ima istu napadnu tačku (sl. 21). Na taj način poluga predstavlja model čija je prenosna funkcija

$$F' = k \times F$$

Sila dejstva mišića F je ulazna veličina dok je preinačena sila F' izlazna veličina. Veličina k predstavlja koeficijent prenosa poluge i definiše se relacijom

$$k = F'/F = Q/F$$

Ako je sila kojom se dejstvuje manja od tereta koji se savlađuje, koeficijent prenosa poluge je veći od jedinice ($k > 1$). Takva poluga deluje kao prosta mašina i naziva se *poluga sile*. U takvim slučajevima krak sile a (rastojanje od napadne tačke sile do kraka tereta) b (rastojanje od napadne tačke tereta do oslonca). To sledi iz uslova ravnoteže poluge po kome je moment sile jednak momentu tereta, tj.

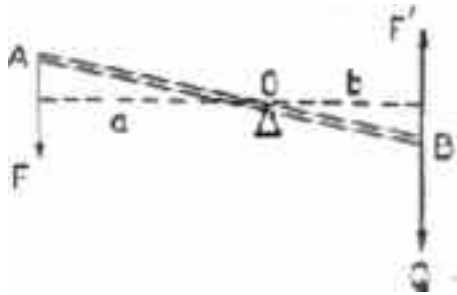
$$Fa = Qb$$

Ako je $k < 1$, sila F je veća od tereta Q , a krak sile je manji od kraka tereta. U tom slučaju napadna tačka tereta prelazi za isto vreme duži put (luk BB') pa je njena brzina veća od brzine napadne tačke sile, koja prelazi put AA' (sl. 22). Zato se ovakva poluga naziva *poluga brzine*.

Analiza funkcionisanja sistema poluga u telu zavisi od tačnog poznavanja mesta vezivanja mišića za kost (napadna tačka sile), i od udaljenosti te tačke oslonca poluge, napadne tačke tereta i samog položaja poluge. U odnosu na ove elemente poluge se dele na dvokrake poluge i jednokrake (poluge sile i poluge brzine).

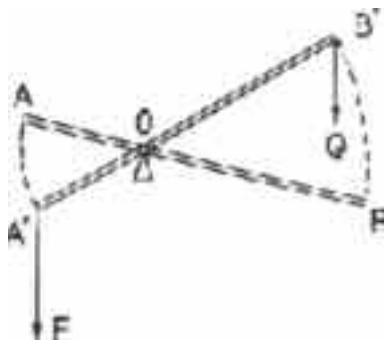
Dvokrake poluge su poluge kod kojih se tačka oslonca nalazi između napadnih tačaka sila F i Q . Dužine krakova mogu biti iste (ravnokrake) ili različite

(raznokrake poluge). Mogu delovati kao poluge sile i kao poluge brzine zavisno od toga da li je veći krak sile ili krak tereta. Primer dvokrake poluge koja deluje kao poluga sile je glava čoveka u normalnom položaju (sl. 23). U težištu (tačka T) deluje težina glave Q . Tačka oslonca je na spoju lobanje i prvog vratnog pršljena. Ravnotežu održava sila F kojom vratni mišić deluje na mestu njegovog spajanja sa lobanjom.



Sl. 21 Primer poluge

Jednokrake poluge su one poluge gde sile deluju u suprotnom smeru a nalaze se sa iste strane tačke oslonca. Po pravilu, u jednokrakih poluga je bliža sila veća, a udaljenija sila od tačke oslonca je manja. Sila teže deluje uvek vertikalno nadole, a sila mišića makar jednom komponentom, vertikalno nagore. Zavisno od toga da li napadna linija sile mišića prolazi bliže tački oslonca od napadne linije sile teže, ili deluje na većem rastojanju od tačke oslonca u odnosu na silu teže, jednokrake poluge se dele na poluge brzine (sl. 24) i na poluge sile (sl. 25). Tamo gde sila mišića deluje bliže tački obrtanja, radi se o poluzi brzine, a tamo gde sila mišića deluje dalje od tačke obrtanja,

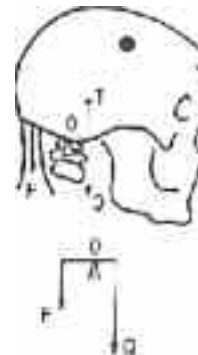


Sl. 22 Poluga brzine

radi se o poluzi sile.

POLUGE SILE. Ovde se oslonac nalazi na jednom kraju poluge, a napadna tačka sile na drugom. Napadna tačka tereta je između njih. U ovom slučaju krak sile mora biti veći od kraka tereta. Takav jedan primer je stopalo čoveka koji stoji na prstima. Tačka oslonca je u prednjem delu stopala. Napadna tačka težine je u skočnom zglobu dok sila lisnog mišića deluje na petnu kost. Kako je krak sile ovde veći od kraka tereta, dovoljna je ne tako velika sila mišića lista da uravnoteži polovinu težine tereta (sl. 26).

Kao primer za objašnjenje principa delovanja poluge sile može da posluži podlaktak sa šakom (sl. 27). Silu teže (G) predstavlja težina podlakta i šake, čija je napadna tačka zajedničko težište podlakta i šake. Krak sile teže (q) predstavlja najkraće rastojanje od centra obrtanja (O) do napadne linije sile teže. Silu mišića (M) predstavlja tangencijalna komponenta rameničnožbičnog mišića (m. brachioradialis) a njenu napadnu tačku centar perifernog pripoja na distalnom delu podlakta. Krak sile mišića (f) predstavlja najkraće rastojanje povučeno od centra obrtanja (O) do napadne linije tangencijalne komponente rameničnožbičnog mišića. Centar obrtanja (oslonac) predstavlja centar zgloba lakta (O).



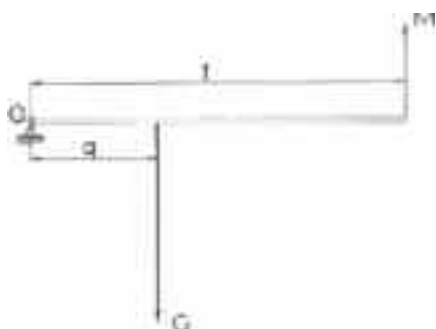
Sl. 23 Dvokraka poluga na primeru glave čoveka

Sila mišića deluje na dužem kraku, da bi se sistem podlakta i šake održao u naznačenom položaju, neophodno



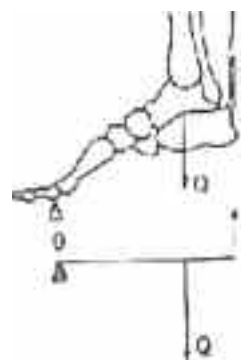
Sl. 24 Jednokraka poluga (poluga brzine): O - fiksna tačka, M - sila mišića, f - krak sile mišića, G - sila teže, q - krak sile teže

je da dejstvujuća sila mišića bude toliko puta manja od sile teže, koliko je krak sile mišića veći od kraka sile teže. Sa gledišta racionalnog utroška energetske rezervi ovaj položaj je povoljan. Ali ako se izvrši kretanje u smeru dejstva sile mišića, utvrđuje se da je napadna tačka sile mišića prešla duži put a napadna tačka sile teže kraći put. Kvantitativno, napadna tačka sile mišića je prešla toliko puta duži put koliko puta je njen krak duži od kraka sile teže. Pošto su navedene napadne tačke sila za isto vreme prešle različite puteve, ona tačka koja je za isto vreme prešla duži put (napadna tačka sile mišića), kretala se većom brzinom od tačke koja je za isto vreme prešla kraći put. Kvantitativno, napadna tačka sile teže se kretala toliko puta sporije od napadne tačke sile mišića,



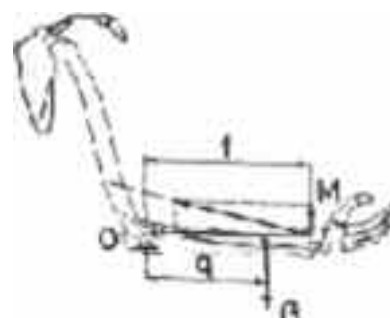
Sl. 25 Jednokraka poluga (poluga sile): O - fiksna tačka, M - sila mišića, f - krak sile mišića, G - sila teže, q - krak sile teže

koliko puta je krak sile mišića duži od kraka sile teže, odnosno koliko puta je sila teže veća od sile mišića. U ovom slučaju, za razliku od poluge brzine, gubi se na putu, odnosno na brzini, a dobija se na



Sl. 26 Poluga sile na primeru stopala čoveka

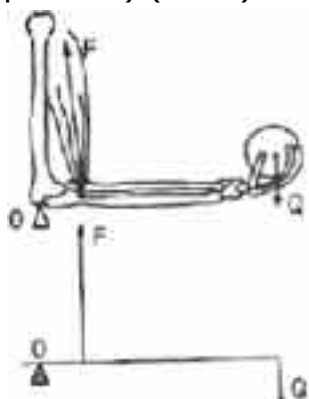
sili. Naime, izvrši se ušteda energetske rezervi jer se manjim mišićnim napreznjem pomeri veći teret, ali se zbog toga napadna tačka sile tereta pomera sporije od napadne tačke sile mišića. Zbog toga se ovakva prosta mašina naziva polugom sile. Treba napomenuti da se u aparatu za kretanje skoro uopšte ne sreću tipični primeri poluge sile. Ali, ako aparat za kretanje stupi u kontakt sa teretom spolja, da bi se taj teret lakše održao u zajedničkom sistemu sa aparatom za kretanje, koristi se princip poluge sile. Ako npr. čovek nosi naramak drva u naručju, onda on pomera taj teret što bliže telu, kako bi napadna linija sile tereta prolazila što bliže centru zgloba lakta, bliže nego što prolazi napadna linija rezultante svih sinergista koji održavaju podlakt u položaju koji je neophodan da bi se teret zadržao.



Sl. 27 Poluga sile na primeru podlakta čoveka

Poluge brzine su takođe jednokrake poluge, ali se ovde napadna tačka sile nalazi između oslonca i napadne tačke tereta. Krak sile je kraći od kraka tereta, pa su ovo poluge brzine. Sila je veća od težine tereta koju uravnotežuje, što znači da dejstvo mišića mora biti veliko. Primer

je podlaktica kod koje se oslonac nalazi u lakatnom zglobu, napadna tačka sile je mesto vezivanja mišića bicepsa za podlakticu, a napadna tačka tereta može biti u šaci (neki predmet) (sl. 28).

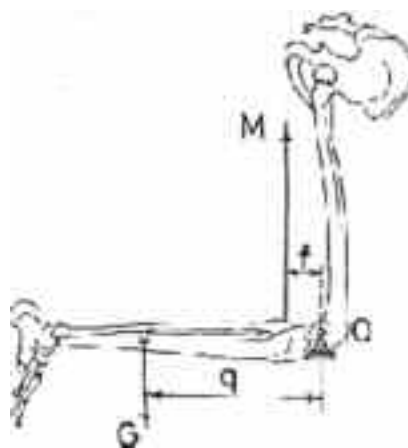


Sl. 28 Poluga brzine na primeru ruke sa teretom

Primeri za polugu brzine u sastavu aparata za kretanje se najčešće sreću kod ekstremiteta. Potkolenica sa stopalom takođe može da posluži kao primer za polugu brzine (sl. 29). Silu teže (G) predstavlja težina potkolenice i stopala, čija je napadna tačka zajedničko težište potkolenice i stopala. Krak sile teže (q) predstavlja najkraće rastojanje od centra obrtanja (centra oslonca) do napadne linije sile teže. Silu mišića (M) predstavlja sila mišića pregibača u zglobu kolena, a njenu napadnu tačku centar perifernog pripoja tih mišića, koji se nalazi na zadnjoj strani gornjeg okrajka potkolenice. Krak sile mišića (f) predstavlja najkraće rastojanje povučeno od centra obrtanja (O) na napadnu liniju sile mišića. Centar obrtanja (O) predstavlja centar zgloba kolena.

Kako sila mišića dejstvuje na kraćem kraku, a da bi se održala potkolenica u naznačenom položaju, neophodno je da sila mišića bude toliko puta veća od sile teže, koliko puta je krak sile mišića manji od kraka sile teže. Sa gledišta racionalnog utroška energetske rezerve, ovaj položaj nije povoljan. Ukoliko bi ova poluga trebalo da bude pokrenuta u smeru dejstva sile mišića, potrebna je još veća sila mišića, u odnosu na onu silu mišića koja je bila dovoljna za održavanje ravnoteže.

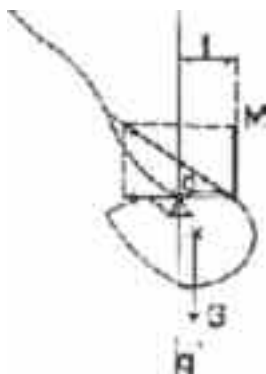
Posmatrajući puteve koje su prešle napadne tačke sile, konstatuje se da ti putevi nisu isti, već je napadna tačka sile mišića prešla kraći, a napadna tačka sile teže duži put. Kvantitativno, napadna tačka sile teže je prešla toliko puta duži put, koliko puta je njen krak veći od kraka sile mišića, odnosno koliko puta je ona manja od sile mišića. Pošto su te dve napadne tačke sile za isto vreme prešle različite puteve, ona tačka koja je za isto vreme prešla duži put (napadna tačka sile teže - zajedničko težište potkolenice i stopala), se kretala većom brzinom od tačke koja je za isto vreme prešla kraći put. Kvantitativno, napadna tačka sile teže se je kretala toliko puta brže od napadne tačke sile mišića, koliko puta je krak sile teže veći od kraka sile mišića, odnosno, koliko puta je sila mišića veća od sile teže. Očigledno je da se gubi na sili, ali se zbog toga isto toliko dobija na brzini. To je razlog što je ovakva prosta mašina nazvana polugom brzine. Ovakve poluge su smeštene u predelu ekstremiteta. tj. tamo gde se u svakodnevnom životu rešavaju zadaci pomoću brzih pokreta, bez obzira na mišićno naprezanje i na utrošak energije.



Sl. 29 Poluga brzine na primeru noge

Oblik prave poluge se vrlo retko sreće u aparatu za kretanje. Obično su sve poluge ugaonog oblika. Jedino kada odgovara potrebi, čovek može po želji da svaku polugu iz ugaonog dovede u pravi oblik.

Isto tako i karakter svake poluge nije



Sl. 30 Glava u položaju poluge sile: O - fiksna tačka, M - sila mišića (tangencijalna komponenta mišića opružaća u potiljačnom zglobu), f - krak sile mišića, G - sila teže jednaka težini glave, q - krak sile teže

definisani. Pomeranjem delova tela može da se pomera i napadna linija sile teže u odnosu na tačku oslonca. To znači da se svaka poluga može koristiti u potrebnom obliku. Dvokrake se mogu promeniti u jednokrake i obratno; poluge brzine se mogu promeniti u poluge sile i obratno. Na primer glava, koja važi za tipičnu dvokraku polugu, može da se promeni u jednokraku polugu ako se napusti uspravan i zauzme se horizontalan položaj (sl. 30). U tom slučaju se i napadna tačka sile teže i napadna tačka sile mišića nalaze sa iste strane centra obrtanja. Pošto tangencijalna komponenta sile mišića (M) dejstvuje na kraćem kraku (f) a sila teže (G) na dužem kraku (q), ranije dvokraka poluga je promenjena u jednokraku i to polugu brzine. Ali, ako bi se u predelu potiljka pridržavao teret, kao što je to slučaj prilikom specifičnih vežbi s tegovima, onda napadna linija, koja polazi od zajedničkog težišta glave i tegova, dejstvuje na kraćem kraku a sila mišića na dužem kraku. U tom slučaju je poluga brzine promenjena u polugu sile. Isto tako stopalo, kao tipična jednokraka poluga, i to poluga brzine kada je odvojeno od tla i tabanom okrenuto nadole (sl. 31), može da se promeni u dvokraku polugu i okrene se tabanom gore (sl. 32).

Zbog velikog broja mogućnosti menjanja karaktera poluga koje sačinjavaju čovečiji aparat za kretanje, tim istim

aparatom se mogu izvoditi vrlo složena kretanja i veliki broj složenih kretanja, iako je aparat za kretanje formiran od relativno malog broja poluga.

Analiza funkcionisanja sistema poluga u telu zavisi od tačnog poznavanja mesta vezivanja mišića za kost (napadna tačka sile), od udaljenosti te tačke od oslonca poluge, napadne tačke tereta i samog položaja poluge.

SISTEMI POLUGA

Poseban značaj u analizi lokomotornog sistema ima ispitivanje funkcionisanja sistema poluga. Sistem poluga predstavlja više poluga ma koje vrste, međusobno povezanih tako da pomeranje jedne od njih utiče na ceo sistem. Ovakav sistem poluga predstavlja model za sistem kostiju u lokomotornom sistemu, čije je jedinstveno funkcionisanje ostvareno preko mišića koji su za njih vezani. Odnos sile i tereta zavisice ovde ne samo od dužine poluge i odnosa napadnih tačaka i tačke oslonca već i od ugla koji poluge (odnosno kosti) zaklapaju međusobno. U zadnjem primeru smo videli da podlaktica predstavlja polugu III vrste. Sila kojom biceps deluje na podlakticu je oko 1500 N. Kolika će sila tereta pri takvom dejstvu biti savladana zavisice od međusobnog položaja nadlaktične i podlaktične kosti, koje povezane lakatnim zglobovom čine sistem poluga. Kada nadlaktica i podlaktica stoje pod pravim uglom, krak sile iznosi 5 cm, a krak tereta 35 cm. To znači da je koeficijent prenosa poluge $k = 1/7$. Sila tereta u šaci, koju uravnotežuje dejstvo bicepsa je sedam puta manja i iznosi oko 2000N. Ako je ruka istegnuta, rastojanje od oslonca do napadne tačke bicepsa je znatno manje, manji je koeficijent prenosa, pa će i sila tereta koju biceps može da savlada biti manja.

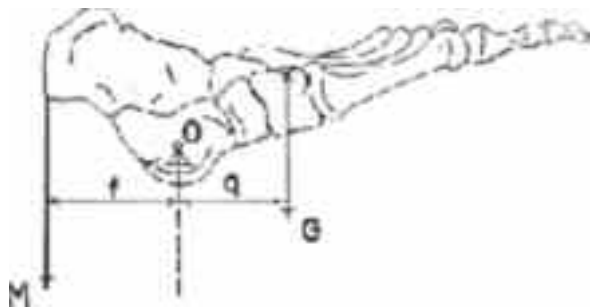
Proučavanjem različitih vrsta mišića, sistema poluga i njihovih kretanja bavi se kinezologija, koja čini važan deo fiziološke anatomije čoveka.



Sl. 31 Stopalo u položaju poluge brzine: O - fiksna tačka, M - sila mišića pregibača u gornjem skočnom zglobu, f - krak sile mišića, G - sila teže jednaka težini stopala, q - krak sile teže

KINETIČKI LANCI

Retki su pokreti gde se dejstvo jednog mišića ispoljava samo pokretanjem poluga za koje je neposredno vezan. To su obično prosti pokreti najekstremnijim delovima tela, pod uslovom da ostali deo tela bude učvršćen. Zato se vrlo često sreće dejstvo mišića, koje se ispoljava i na susednim delovima tela, koje on ne može neposredno pokretati. Ovakav kompleks pokreta, koji izaziva jedan mišić neposredno u predelu svoje lokacije i posredno na susedne delove tela naziva se lanac pokreta ili kinetički lanac. Zavisno od toga, da li postoji čvrsta tačka na krajevima takvih lanaca, razlikuju se otvoreni i zatvoreni kinetički lanci.



Sl. 32 Stopalo u položaju dvokrake poluge: O - fiksna tačka, M - sila mišića opružača u gornjem skočnom zglobu, f - krak sile mišića, G - sila teže jednaka težini stopala, q - krak sile teže

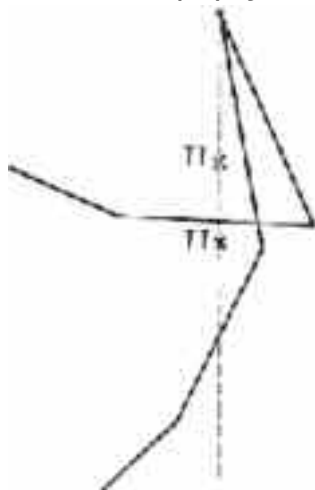
OTVORENI KINETIČKI LANCI.

Otvoreni kinetički lanac se javlja u slučaju kada se radi o sistemu delova tela koji je učvršćen samo na jednom svom kraju. Drugi kraj je slobodan i cilj je da se specifičnim dejstvom mišića u kinetičkim lancima taj otvoreni kraj kinetičkog lanca pokrene na određeni način, već prema tome šta se želi kretanjem postići.

Najprostiji primer dejstva u otvorenom kinetičkom lancu je dejstvo mišića pregibača u zglobu lakta, gde je ruka slobodno opuštena. U tom slučaju dejstvuju mišići pregibači u zglobu lakta sa centralnim osloncem i logično bi bilo da se pokrene samo sistem podlaktka sa šakom. Sila teže, međutim, takođe aktivno dejstvuje prilikom zauzimanja novog položaja. Pregibanjem u zglobu lakta opuštena ruka težište ruke se izvodi iz vertikale koja prolazi kroz centar zgloba ramena, koji predstavlja fiksnu tačku za ruku, odnosno zatvoreni kraj kinetičkog lanca. Ukoliko bi dejstvovali samo mišići pregibači u zglobu lakta, kao posledica dejstva sile teže bi se izvršilo i pomeranje nadlaktka nazad (retroflexio) sve dok se težište ruke, sada u novom položaju ponovo ne bi nalazilo vertikalno ispod centra zgloba ramena (sl. 33). Ovo potiskivanje podlaktka nazad nije samo posledica dejstva sile teže nego i komponente pritiska, koja dejstvuje prema centru zgloba lakta. Ova se postavka potvrđuje primerom gde se isti pokret - pregibanje u zglobu lakta - vrši u položaju gde se ruka nalazi odvedena do horizontale (odručenje) tako da se pokret pregibanja vrši nadole. U tom slučaju će sila teže dejstvovati svojom tangencijalnom komponentom u istom smeru kao i tangencijalna komponenta sile mišića pregibača u zglobu lakta, dok će radijalna komponenta dejstvovati svojom vertikalnom projekcijom u antigravitacionom smeru i izazvaće dodatno odvođenje u zglobu ramena (sl. 34).

Sadejstvo mišića sa prednje strane

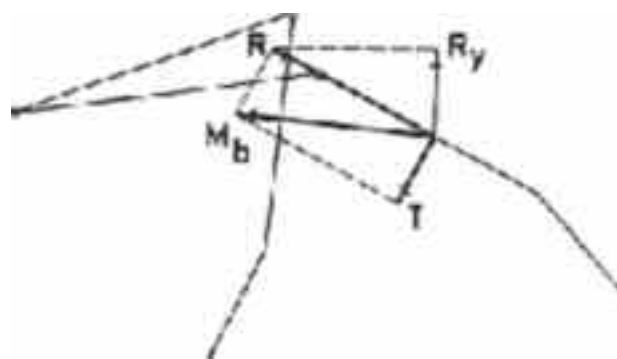
tela, pretežno mišića trbušnog zida i mišića pregibača u zglobovima kukova, je specifično u otvorenom kinetičkom lancu. Poznat je primer gde se prilikom ležećeg položaja, u kome su noge odvojene od čvrste podloge i podignute tako da njihova uzdužna osa sa horizontalom, koja prolazi kroz centar zgloba kuka, zatvara oštar ugao, noge mogu pomerati intenzivnim disanjem. Da bi se noge mogle odvojiti od tla, neophodno je dejstvo mišića pregibača u zglobovima kukova. Da bi isti mišići održali noge u određenom položaju, oni dejstvuju izometrijskom kontrakcijom. Takvo njihovo dejstvo može da se izvrši samo ukoliko se nade čvrst oslonac na karlici i slabinskom delu kičmenog stuba. Fiksiranje karlice će se izvršiti ako mišići trbušnog zida svojom kontrakcijom spreče pomeranje centralnih pripoja mišića pregi-



Sl. 33 Težište (TT) sistema nadlaktka, podlaktka i šake ostaje na istoj vertikali kada se izvrši pregibanje u zglobu lakta

bača u zglobovima kukova ka perifernim pripojima na butnim kostima odnosno na kostima potkolenice. Zbog toga će se i trbušni mišići, od kojih pravi trbušni mišići dejstvuju sa najvećim obrtnim momentom, nalaziti u izometrijskoj kontrakciji. Otvoreni kraj kinetičkog lanca predstavlja ju noge odvojene od tla. U tom položaju ih održava izometrijska kontrakcija mišića pregibača u zglobovima kukova, koji imaju čvrstu tačku na karlici i na slabinskom delu kičmenog stuba. Karlicu učvršćuju

opet trbušni mišići izometrijskom kontrakcijom, koji nalaze svoju fiksnu tačku na prednjoj strani grudnog koša. To znači da su noge, posredno preko navedenih karika kinetičkog lanca, učvršćene za prednju stranu grudnog koša. Ukoliko se od ispitanika, koji je zauzela navedeni položaj, traži da intenzivno diše, prilikom svakog udaha će se noge pomeriti nagore, a prilikom izdaha nadole (sl. 35). Objašnjenje je jednostavno, jer ako se mišići pregibači u zglobovima kukova i mišići trbušnog zida nalaze u izometrijskoj kontrakciji, rastojanje između perifernih pripoja mišića pregibača u zglobovima kukova i centralnih pripoja mišića trbušnog zida predstavlja stalnu veličinu. U takvom položaju mišići koji učestvuju u fazi udaha podizanjem grudnog koša, posredno, preko navedenog kinetičkog lanca, približavaju noge ka trupu.

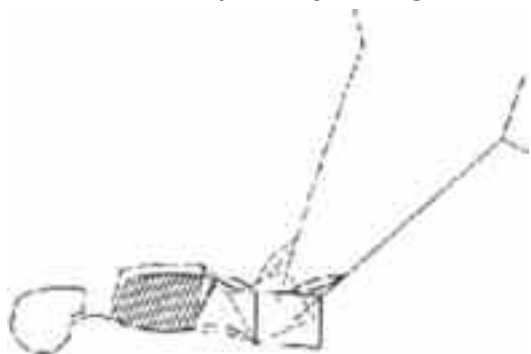


Sl. 34 Dokaz aktivnog dejstva komponente pritiska: Mb - sila rameničnog mišića, T - tangencijalna komponenta, R - radijalna komponenta, Ry - vertikalna projekcija radijalne komponente

Dejstvo u uslovima otvorenog kinetičkog lanca, u slučaju dvozglavnih mišića, omogućava tzv. racionalnu kontrakciju dvozglavnih mišića, prilikom koje će se kretanje u određenom zglobu vršiti većom brzinom nego kada bi dejstvovali samo dvozglavni mišići u jednoj karici lanca.

Druga glava troglavog mišića nadlaktka, čiji je centralni pripoj na lopatici, a periferni na podlaktu, vrši privođenje u zglobu ramena i opružanje u zglobu lakta. Ukoliko bi isti mišić dejstvovao zajedno sa

odvodnicima nadlakta u jedinstvenom kinetičkom lancu uz pomoć odvodioca, duga glava troglavog mišića nadlakta može da izvrši opružanje u zglobu lakta

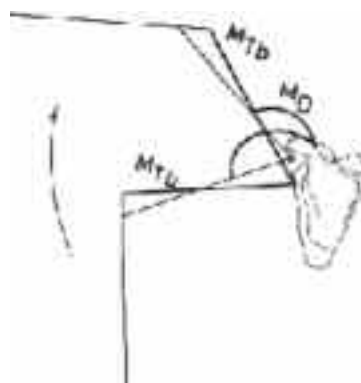


Sl. 35 Koncentričnom kontrakcijom mišića udisača se posredno preko izometrijske kontrakcije trbušnih mišića i mišića pregibača u zglobovima kukova mogu pomeriti noge u antigravitacionom smeru

većom brzinom nego što je to moguće samo uz izolovanu kontrakciju duge glave troglavog mišića nadlakta. Uz uslov da je u zglobu lakta predhodno izvršeno makar i minimalno pregibanje (inače se opružanje ne bi moglo ni izvršiti), odvođenje, koje vrše mišići odvodioci nadlakta, udaljava pripoje duge glave troglavog mišića nadlakta. Ukoliko bi se duga glava nalazila samo u izometrijskoj kontrakciji, samim time bi se izvršilo opružanje u zglobu lakta, pošto bi se izometrijskom kontrakcijom sprečilo udaljavanje navedenih pripoja duge glave troglavog mišića nadlakta. Ali ako se uz to vrši i koncentrična kontrakcija istog mišića, brzina opružanja u zglobu lakta će se povećati (sl. 36). Ova činjenica predstavlja jedan detalj pokreta suvanja (kugla, kamen), kojim se dokazuje zašto se postiže bolji rezultat suvanja kada se nadlakat vodi po strani, znači uz simultano odvođenje u zglobu ramena i opružanje u zglobu lakta, nego kada se nadlakat pomera napred, bez izrazitog odvođenja.

Dvozglubni mišići zadnje lože buta, čiji se centralni pripoji nalaze na sedalnom ispupčenju, a periferni na zadnjoj strani gornjeg okrajka potkolenice, vrše opruža-

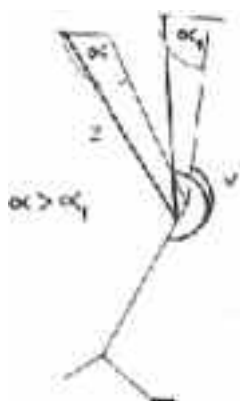
nje u zglobu kuka i pregibanje u zglobu kolena. Ukoliko bi ista grupa sinergista dejstvovala zajedno sa stegnenim mišićima, koji vrše opružanje u zglobu kolena u jedinstvenom kinetičkom lancu, uz pomoć stegnenih mišića bi dvozglubni mišići zadnje lože buta izvršili opružanje u zglobu kuka većom brzinom nego što je to moguće izvršiti izolovanom kontrakcijom samo dvozglubnih mišića zadnje lože buta. Dejstvom stegnenih mišića, koji dejstvuju sa perifernim osloncem jer je kinetički lanac odozdo zatvoren, udaljavaju se pripoji dvozglubnih mišića zadnje lože buta. To znači, da ako bi dvozglubni mišići zadnje lože buta bili samo u izometrijskoj kontrakciji, u zglobu kuka bi se izvršilo opružanje, posredno dejstvom opružača u zglobu kolena. Ali ako se tom dejstvu priključe dvozglubni mišići zadnje lože buta koncentričnom kontrakcijom, brzina opružanja u zglobu kuka će biti veća nego što bi bila samo uz kontrakciju dvozglubnih mišića zadnje lože buta (sl. 37).



Sl. 36 Odvođenjem u zglobu ramena se udaljavaju pripoji mišića opružača u zglobu lakta: M_D - deltoidni mišić, M_{TB} - troglavi mišić nadlakte - duga glava

Duga glava četvoroglavog mišića buta, pravi butni mišić, čiji se centralni pripoj nalazi na prednjoj strani karlice a periferni na prednjoj strani gornjeg okrajka potkolenice, vrši opružanje u zglobu kolena i pregibanje u zglobu kuka. Ako bi pravi butni mišić dejstvovao u jedinstvenom kinetičkom lancu, sa velikim sedalnim mišićem pravi butni mišić bi izvršio opru-

žanje u zglobu kuka, uz racionalno sadejstvo sa velikim sedalnim mišićem pravi butni mišić bi izvršio opružanje u zglobu kolena većom brzinom nego što bi to izvršio bez navedenog sadejstva. Dejstvom velikog sedalnog mišića, koji dejstvuje sa perifernim osloncem pošto je kinetički lanac zatvoren odozdo, vrši se udaljavanje pripoja pravog butnog mišića. Ako bi se pravi butni mišić nalazio makar samo u izometrijskoj kontrakciji, on ne bi dozvolio udaljavanje svojih pripoja što bi izazvalo opružanje u zglobu kolena. Međutim, ako se izvrši koncentrična kontrakcija pravog butnog mišića, brzina opružanja u zglobu kolena u navedenom kinetičkom lancu će biti veća nego što bi bila brzina opružanja bez posrednog dejstva velikog sedalnog mišića (sl. 38).



Sl. 37 Opružanjem u zglobu kolena se udaljavaju pripoji dvozglobnih mišića zadnje lože buta: V - stegnjeni mišić, Z - mišići zadnje lože buta, $\alpha >$

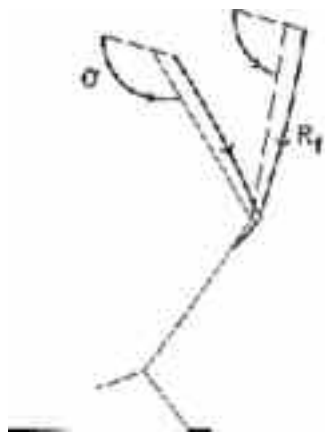
α_1

Složeno dejstvo mišića u kinetičkim lancima se može objasniti jednostavnim primerom pregibanja u zglobovima kukova, u sedećem položaju, u kome potkolenice i stopala ne nalaze oslonac na sedalu. Ako se ispitanik nalazi u sedećem položaju sa nagnutim gornjim delom tela napred i slobodno opuštanim potkolenicama, naginjanje gornjeg dela tela će biti maksimalno, tj. biće zaustavljeno naslanjanjem prednje strane grudnog koša na prednju stranu buta. Ako se spoljašnjom silom, npr. pomoću suvežbača, fiksiraju oba buta a potkolenice sa stopalima budu

povučene u smeru opružanja u zglobovima kolena izvršiće se opružanje u zglobovima kukova, što će se odraziti u podizanju gornjeg dela tela (sl. 39). Zbog karakteristične pasivne insuficijencije dvozglobnih mišića zadnje lože buta pomeranjem potkolenica u smislu opružanja u zglobovima kolena, udaljavaće se periferni pripoji dvozglobnih mišića zadnje lože buta. Pošto su njihovi pripoji već skoro maksimalno udaljeni naginjanjem gornjeg dela tela napred, odnosno pregibanjem u zglobovima kukova njihova dužina se neće dalje povećavati, tako da će pod dejstvom spoljašnje sile, za perifernim pripojima pomerati centralni pripoji na karlici što će izazvati obrtanje karlice gornjom ivicom nazad. Kako je kičmeni stub čvrsto usađen u karlična krila pomeranje karlice prati i kičmeni stub tako da je uočljivo izrazito uspravljanje ranije nagnutog gornjeg dela tela. Slikovito bi se moglo reći da se u kinetičkom lancu može pomeranjem pete pomeriti glava, kako je to prikazano na sl. 39.

U otvorenim kinetičkim lancima dvozglobni mišići imaju višestruku funkciju. Kao primer se uzima dvozglobni mišić sa prednje strane nadlakta, dvoglavi mišić nadlakta. Njegovi centralni pripoji se nalaze na lopatici a periferni na prednjoj strani gornjeg okrajka podlakta. Zbog toga je njegova funkcija složena: on vrši pregibanje (anteflexio) u zglobu ramena, pregibanje u zglobu lakta i izvrtanje u zglobu lakta. Zbog malog kraka pregibanje u zglobu ramena se vrši sa malim obrtnim momentom. Najveći krak ima ovaj mišić u odnosu na zglob između nadlaktice i lakatnice i zbog toga je njegovo dejstvo u smislu pregibanja u zglobu lakta najveće. Dvoglavi mišić nadlakta je najjači pregibač u zglobu lakta ali nije tipični pregibač u zglobu lakta zbog toga što je njegov periferni pripoj na podlaktu koji se u normalnom položaju nalazi u polupronaciji, pomeren unutra tako da se kontrakcijom

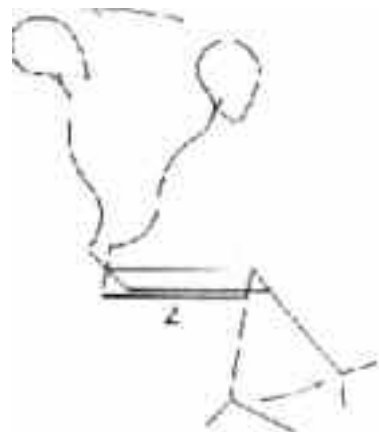
dvoglavog mišića može izvršiti kretanja u zglobu koji sačinjavaju gornji okrajci kostiju podlakti, tj. vrši se izvrtnje. Obično izvrtnje vrši mišić supinator, tipičan mišić formiran samo za taj pokret. Ali kada supinacijom treba savladati veći otpor, za čije savladavanje sila mišića supinatora nije dovoljna, onda stupa u dejstvo i dvoglavi mišić nadlakti. Ukoliko se šaka učvrsti i pokušava se izvršiti supinacija, palpiranjem se može utvrditi i kontrakcija dvoglavog mišića nadlakti, koja ne postoji ako šaka nije učvršćena, pa ne postoji ni veliki otpor. Istovremeno se palpacijom može utvrditi i kontrakcija troglavog mišića nadlakti, koji je antagonist dvoglavom. Pošto dvoglavi mišić nadlakti vrši istovremeno u zglobu lakta i pregibanje i izvrtnje, a cilj je da se izvrši samo izvrtnje, onda će pregibanje biti sprečeno dejstvom mišića antagonista, tj. dejstvom troglavog mišića nadlakti, naročito dejstvom dvema kratkim glavama istog mišića, čije se dejstvo ispoljava samo u predelu zgloba lakta.



Sl. 38 Opružanjem u zglobu kuka se udaljavaju pripoji dvozglavnih mišića sa prednje strane buta:
O - mišići opružajući u zglobu kuka, RF - pravi butni mišić

Rezultati ispitivanja uporedne anatomije ukazuju da se ovakva složena funkcija dvoglavog mišića prednje lože nadlakti oformila prilikom četvoronožnog načina kretanja, gde je trebalo u fazi zamaha prednju nogu preneti napred radi ponovnog odupiranja. Prenošenje prednje noge

se vršilo pregibanjem (anteflexio) u zglobu ramena, pregibanjem u zglobu lakta, kako bi se izbeglo sudaranje sa podlogom za vreme zamaha, a i radi povećavanja brzine zamaha, i okretanjem upolje odnosno supinacijom u zglobu lakta, kako bi se stopalo prednje noge postavilo u najekonomičniji položaj u odnosu na pravac kretanja. Ovakva složena funkcija se obavljala jedinstvenom kontrakcijom samo jednog mišića i uz angažovanje najmanje moguće jedinice u centralnom nervnom sistemu, bez bojazni da će doći do diskoordinacije. Ista funkcija se održala i u uspravnoj konstituciji sa izvesnim kvantitativnim izmenama ali u suštini sa istom karakteristikom. To se može tumačiti i relativnim kratkim vekom uspravne konstitucije ali i činjenicom da je ovakva funkcija dvozglavnog mišića prednje lože podlakti našla svoju primenu u novom, uspravnom, položaju.



Sl. 39 Pomeranjem stopala u jednom smeru se preko dvozglavnih mišića zadnje lože buta glava pomera na drugu stranu: Z - dvozglavni mišić zadnje lože buta

ZATVORENI KINETIČKI LANCI.
Zatvoreni kinetički lanac se javlja u slučaju kada se radi o sistemu delova tela koji je učvršćen na oba kraja, a cilj je da se specifičnim dejstvom u zatvorenom kinetičkom lancu izvrši određeno pomeranje sistema unutar oba zatvorena kraja kinetičkog lanca.

Najjednostavniji primer dejstva u zatvorenom kinetičkom lancu je dejstvo

mišića pregibača u zglobu lakta gde se ruka nalazi u normalnom položaju, tj. opuštena niz telo, ali prstima oslonjena na neku čvrstu podlogu. U tom položaju, ako dejstvuju mišići pregibači u zglobu ramena (antefleksori) oni će izvršiti pregibanje u zglobu ramena ali sa smanjenom amplitudom. Istovremeno će se u zglobu korena šake izvršiti opružanje. Ovo opružanje u zglobu korena šake nije posledica dejstvovanja opružaća šake nego je to posredno dejstvo antefleksora u zatvorenom kinetičkom lancu (sl. 40).

Zavisno od toga, da li je jedan kraj zatvorenog kinetičkog lanca opterećen ili nije, posredno dejstvo jednog mišića na susedne karike istog lanca može biti drugačije. Ako se ispitanik nalazi u sedećem položaju na stolici, tako da stopala ne budu opterećena ničim osim težinom potkolenice i buta, zatvoreni kinetički lanac će se prostirati od karlice do stopala tj. od oslonca na sedalu do oslonca na tlu. U tom položaju se kontrahuju mišići opružaći u skočnim zglobovima. Pošto stopalo nije opterećeno, dejstvo opružaća u skočnim zglobovima će biti sa centralnim osloncem, što znači da će se pripoj na petnim kostima približiti ka pripojima na potkolenicama. Podizanjem peta od tla vrši se pregibanje u zglobovima kolena i u zglobovima kukova, tj. koncentričnom kontrakcijom mišića opružaća u skočnim zglobovima se posredno izvršilo pregibanje u zglobovima kolena i zglobovima kukova (sl. 41).

Ako se ispitanik nalazi u ispadu strance, karlica više ne nalazi čvrsti oslonac i može da se pomera. Drugi kraj zatvorenog kinetičkog lanca će predstavljati stopalo druge noge. Ako se još izvrši i otklon na stranu noge u ispadu, još će se više opteretiti stopalo. Ako sada dejstvuju mišići opružaći u skočnom zglobu noge u ispadu koncentričnom kontrakcijom, zbog opterećenja na tom stopalu neće dejstvovati centralnim nego perifernim osloncem.

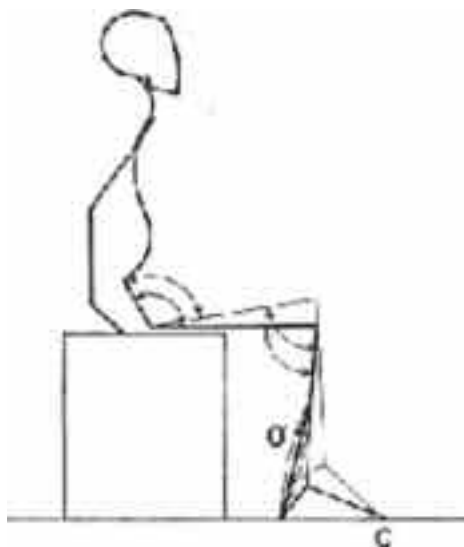
Time će centralni pripoj na potkolenici biti pomeren nazad. Za njim će se pokrenuti potkolenica, za potkolenicom ostali deo tela u smeru drugog kraja kinetičkog lanca. Ovo pomeranje će se izvršiti i putem opružanja u zglobu kolena i u zglobu kuka. Opružanje u zglobu kolena i u zglobu kuka opterećene noge se nije izvršilo pod dejstvom mišića opružaća u zglobu kolena i u zglobu kuka, nego posredno pod dejstvom mišića opružaća u skočnom zglobu iste noge (sl. 42).

Dvozglubni mišići zadnje lože buta iako tipični pregibači u zglobu kolena, u specifičnim uslovima zatvorenog kinetičkog lanca, mogu neposredno da učestvuju u opružanju u zglobu kolena (prema Ivanjickom). Do ove pojave dolazi samo u slučaju da je karlica gornjom ivicom jako nagnuta napred i da kinetički lanac od stopala do karlice bude zatvoren na oba kraja. Takvih položaja ima prilikom veslanja u sportskom čamcu, vožnji biciklom niskog starta i sl. Sila dvozglubnih mišića zadnje lože buta (M), prema pravilu o razlaganju na paralelne sile, se razlaže na jednu komponentu koja dejstvuje u centru zgloba kolena (M_1) i na drugu komponentu koja dejstvuje u centru skočnog zgloba (M_2). Zbir obe ove sile jednak je rezultanti (M). Intenzitet ovih dveju sila je određen tako da proizvod jedne sile (M_1) i njenog kraka (r_1) bude jednak proizvodu druge sile (M_2) i njenog kraka (r_2). Ukoliko bi se sile M_1 i M_2 složile, dobila bi se rezultanta koja bi bila jednaka sili M i dejstvovala bi po istoj napadnoj liniji po kojoj dejstvuje sila M (sl. 43). Ako je karlica nagnuta gornjom ivicom napred, tad je obrtni moment dvozglubnih mišića zadnje lože buta, u odnosu na zglob kuka, veći od obrtnog momenta iste sile, ali u odnosu na zglob kolena. Ustvari, sila je ista samo su kraci različiti. Krak u odnosu na zglob kuka je veći ako je karlica nagnuta napred. Ako se karlica nalazi u normal-



Sl. 40 U zatvorenom kinetičkom lancu se može posebnim dejstvom mišića antefleksora u zglobu ramena izvršiti opružanje u zglobu korena šake: A - mišići antefleksori, C - zatvoreni kraj kinetičkog lanca u perifernom predelu

nom položaju, onda je krak u odnosu na zglob kolena veći. U slučaju kada je krak u odnosu na zglob kuka veći, kao što je slučaj u analiziranom primeru, komponenta koja dejstvuje u centru zgloba kolena (M_1) se razlaže na svoje komponente, tzv. potkomponente. Dejstvo ovih potkomponenti dolazi do dinamičkog izražaja pošto je zglob kolena jedna karika unutar zatvorenog kinetičkog lanca i njegovo pomeranje



Sl. 41 U zatvorenom kinetičkom lancu posrednim dejstvom mišića opružaća u skočnim zglobovima se može izvršiti pregibanje u zglobovima kolena i zglobovima kukova: O - mišići opružaći u skočnim zglobovima, C - zatvoreni kraj kinetičkog lanca u perifernom predelu

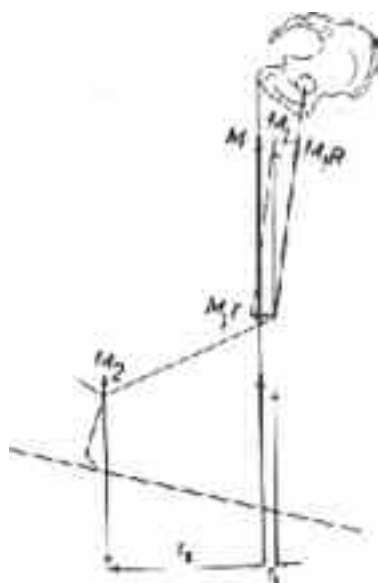
nije toliko ograničeno, kao što je to slučaj sa zglobom kuka i skočnim zglobom, koji se nalaze u predelu zatvorenih krajeva kinetičkog lanca. Komponenta koja dejstvuje na centar skočnog zgloba (M_2) ne dolazi do dinamičkog izražaja, pošto biva neutralisana odgovarajućom silom veze, bilo da se radi o osloncu na odupiračima u sportskom čamcu, ili na pedali bicikla, ili preko eksera trkačkih cipela na sportskoj stazi itd. Međutim, potkomponente komponente M_1 dolaze do izražaja. Potkomponenta koja dejstvuje prema centru zgloba kuka (M_{1R}), tj. radijalna potkomponenta, rasterećuje pritisak na sedište, šta više, usled snažnog dejstva dvozglonih mišića zadnje lože buta, može



Sl. 42 U zatvorenom kinetičkom lancu posrednim dejstvom lancu mišića opružaća u skočnom zglobu se može izvršiti opružanje u zglobu kolena i u zglobu kuka: O - mišići opružaći u skočnom zglobu

da dođe do odvajanja sedalnog predela od oslonca, dok druga potkomponenta, koja dejstvuje upravno na prvu potkomponentu, predstavlja tangencijalnu potkomponentu (M_{1T}), koja dejstvuje u smislu opružanja u zglobu kolena, a pošto u tom delu kinetičkog lanca ne postoji nikakva sila veze, odnosno sila reakcije čvrste podloge, biće izvršeno aktivno opružanje u zglobu kolena a što je posledica dejstva

dvozglonih mišića zadnje lože buta koji važe kao tipični pregibači u zglobu kolena.



Sl. 43 Položaj sistema karlica - but - potkolenica - stopalo u kome se uz pomoću dvozglonih mišića zadnje lože buta može izvršiti u opružanje u zglobu kolena

Prema navedenim primerima očigledno je da se dejstvo u kinetičkim lancima, kako u otvorenim tako i zatvorenim, usložnjava, ali se zato pojavljuju nove mogućnosti. Složena kretanja čovečijeg aparata za kretanje, naročito kretanja pomoću kojih se postižu vrhunska sportska dostignuća, izvode se u uslovima postojanja kinetičkih lanaca. Zavisno od toga kako će pojedinac uspeti da u datim vremenskim intervalima postavi delove svoga aparata za kretanje i uključi određene sile sa određenim intenzitetom, zavisi i kvalitet kretanja odnosno rezultat u sportu. Time se tumači zašto pojedinci, koji poseduju psihomotorne osobine slabijih kvaliteta, čiji je aparat za kretanje nepovoljnije konstruisan za dato kretanje, postižu bolje rezultate od onih koji imaju kvalitetnije psihomotorne osobine i povoljniju konstrukciju aparata za kretanje, samo zato što umeju bolje da složne kretanje koje je aktuelno.

5. BIOMEHANIKA LOKOMOTORNOG SISTEMA ČOVEKA

- ✧ TEŽIŠTE TELA, POVRŠINA OSOLONCA, STABILNOST TELA
- ✧ RAVNOTEŽNI POLOŽAJI
- ✧ USPOSTAVLJANJE KRETANJA

Lokomotorni sistem omogućuje čoveku da se kreće u prostoru. Elementi lokomotornog sistema su kosti, zglobovi i mišići. Kosti i zglobovi su pasivni, dok su mišići aktivni elementi, i to skeletna muskulatura, koja predstavlja jedini element aparata za kretanje koji poseduje vlastitu motoriku. Prilikom kretanja, organizam je izložen dejstvu spoljašnjih (gravitaciona sila) i unutrašnjih sila kojima mišići deluju na kosti za koje su vezani. Kosti se pod dejstvom ovih sila ponašaju kao poluge. Te poluge su zglobovima povezane za sisteme.

Da bi se na čovečji aparat za kretanje mogle primeniti mehaničke zakonitosti, prethodno je potrebno upoznati anatomiju čovečijeg aparata za kretanje. Funkcionalna anatomija proučava aparat za kretanje s aspekta njegove mehaničke celishodnosti i u raznim položajima, kada se, za razliku od normalnog položaja tela, pojedini delovi aparata za kretanje pomeraju u prostoru, u odnosu na ostale delove istog aparata.

Biomehanička analiza jednog kretanja se ne može izvesti, ukoliko se predhodno ne odredi veličina i smer dejstva unutrašnjih sila (sila mišića), pa je stoga neophodno, pre tumačenja osnovnih prin-

cipa biomehanike, objasniti osnovne karakteristike sastavnih delova aparata za kretanje (kosti, zglobovi, mišići), u okviru funkcionalne anatomije.

TEŽIŠTE, POVRŠINA OSLOMCA I STABILNOST TELA

Svako materijalno telo se satoji od velikog broja najmanjih čestica koje Zemlja privlači silom, koja se zove zemljina teža. Zbog malih dimenzija čestica, smatra se da su sve ove sile međusobno paralelne i usmerene vertikalno naniže, ka središtu Zemlje. Rezultanta svih ovih paralelnih, vertikalnih, sila je težina tela, a njena napadna tačka težište tela.

Ako se težak predmet obesi za jednu tačku, on će se umiriti u stabilnoj vrsti ravnoteže, tj. težište tog predmeta će se nalaziti vertikalno ispod tačke vešanja. Ako se na tom predmetu obeleži napadna linija sile teže, pa se isti predmet ponovo obesi za neku drugu tačku, koja se nalazi na periferiji tog predmeta, on će se ponovo umiriti u stabilnoj vrsti ravnoteže. Ako se obeleži napadna linija sile teže, ona će se seći sa predhodno nacrtanom napadnom linijom sile teže, tako da će se težište tog predmeta nalaziti u presečnoj tački ukrštanja tih napadnih linija sile teže na istom predmetu. Ako se taj predmet obesi o bilo koju tačku, sve dobijene napadne linije sile teže će se seći u jednoj tački, u težištu tog predmeta.

Težina tela se može predstaviti vektorski, jer je potpuno određena intenzitetom (izmerena težina), pravcem (pravac vertikale), smerom (naniže), i napadnom tačkom (težištem). Za razliku od ostalih sila, koje se mogu proizvoljno pomerati po napadnoj liniji, sila teže se ne može pomerati po svojoj napadnoj liniji, jer bi se onda desilo da to telo ostane bez težine, što je suprotno opštem iskustvu.

Prilikom određivanja ravnoteže na polugama, naglašeno je da će se ravnotežni položaj održati samo u slučaju ako zbir obrtnih momenata bude jednak nuli odnosno kada rezultanta svih dejstvujućih sila bude prolazila kroz tačku oslonca ili tačku vešanja. Pošto se težište tela nalazi na napadnoj liniji rezultante svih dejstvujućih sila, neophodno je odrediti tu rezultantu. Kod proučavanja sistema sila mogu se izdvojiti dva osnovna statička zadatka:

- a) Zameniti sistem sila jednom silom čije je dejstvo jednako dejstvu svih sila zajedno (rezultanta sistema sila).
- b) Ispitati uslove koji omogućavaju ravnotežu dotičnog sistema sila koje dejstvuju na telo tako da ono miruje.

Određivanje rezultante sistema paralelnih sila, koje dejstvuju u jednoj ravni, može se izvesti na više načina:

1. Planom sila
2. Neposrednim slaganjem
3. Verižnim poligonom
4. Analitičkim putem

Za određivanje tačke težišta nije dovoljan plan sila. Napadna tačka težine tela se određuje slaganjem paralelnih sila, analitičkim putem i verižnim poligonom. Plan sila se koristi pri određivanju težišta tela verižnim poligonom.

Da bi se odredilo težište sistema sila, neophodno je poznavati težine pojedinih delova tog sistema i napadne tačke tih težina (sila).

ODREĐIVANJE TEŽIŠTA TELA SLAGANJEM PARALELNIH SILA. Ako se posmatra sistem paralelnih sila (sl. 44) gde dejstvuju sile F_1 , F_2 , i F_3 , prvo se pro-

nađe rezultanta prve dve sile koja će se nalaziti na liniji koja spaja napadne tačke navedenih dveju sila. Rezultanta predstavlja zbir tih dveju sila, a njena napadna tačka će biti udaljena od napadne tačke prve sile za toliko više od napadne tačke druge sile za koliko je prva sila manja od druge sile, tako da ostanu ispunjeni uslovi o ravnoteži ($F_1 \times f_1 = F_2 \times f_2$). Na taj način je određena napadna tačka nove sile ($F_{1,2}$) koja se nalazi na liniji koja spaja napadne tačke prve dve sile. Nova sila predstavlja prve dve sile tako da se one više ne uzimaju pri daljem slaganju sila. U nastavku slaganja paralelnih sila uzima se nova sila ($F_{1,2}$) i slaže se na isti način kao i prve dve sile sa trećom silom (F_3). Napadna tačka rezultante dobijene posle slaganja sve tri sile, nalazi se na liniji koja spaja napadnu tačku nove sile ($F_{1,2}$) sa napadnom tačkom treće sile (F_3), i deli tu liniju recipročno srazmerno silama koje deluju na njenim krajevima. Veličina sile, dobijene slaganjem sve tri sile, jednaka je zbiru sve tri sile ($F_1 + F_2 + F_3 = F_{1,2,3}$). Ukoliko se određuje težište tela sistema više sila, slažu se sve sile s tim da svaka sila posebno bude samo jednom uzimana u obzir.

ODREĐIVANJE TEŽIŠTA TELA ANALITIČKIM PUTEM. Ovim se načinom može odrediti veličina, pravac, smer i napadna tačka sistema sila F_1 , F_2 i F_3 , ako se isti proizvoljno stavi u koordinatni sistem O_{xy} (sl. 45). Poznavajući mesto napadnih tačaka datih sila, svaka sila se može razložiti na dve komponente, koje su paralelne sa koordinatnim osama. Prema momentnom pravilu, moment rezultante će biti jednak zbiru momenata svih sila u datom sistemu.

Prvo se određuju momenti u odnosu na jednu osu. Moment sile F_1 biće $F_1 \times x_1$ (sila puta najkraće rastojanje od napadne

tačke sile do ose y). Na isti način se određuje i momenti druge dve sile u odnosu na ordinatu. Kako je zbir momenata jednak momentu rezultante treba podeliti zbir svih momenata sa zbirom veličina svih sila, tj. sa težinom datog sistema, da bi se izračunala veličina rastojanja težišta sistema od ordinate. To rastojanje se određuje paralelnom linijom sa ordinatom. Na toj liniji (A) se nalazi težište sistema.

Dalje se za iste sile traže momenti, ali u odnosu na drugu osu, na apscisu. Kada se saberu dobijeni momenti u odnosu na x -osu i podeli se dobijeni zbir težinom sistema, dobiće se rastojanje težišta sistema od apscise. To se rastojanje određuje paralelnom linijom sa apscisom. Na toj liniji (B) se nalazi težište (TT) sistema. Kako se težište istog sistema mora istovremeno nalaziti i na liniji A, koja je upravna na liniju B, težište sistema će se nalaziti u presečištu tih linija (A, B).

Težište tela se računskim, (analitičkim putem) izračunava na sledeći način:

$$x_t = [(F_1 \times x_1) + (F_2 \times x_2) + (F_3 \times x_3)] / F_1 + F_2 + F_3$$

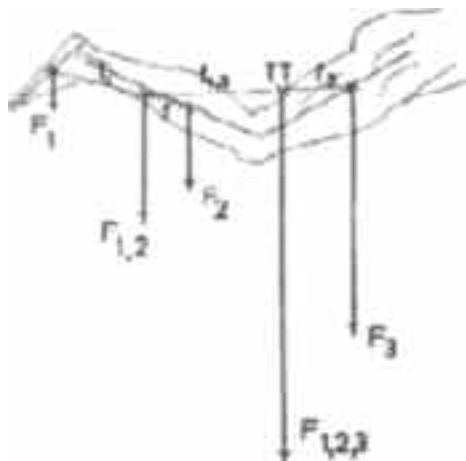
gde x_t predstavlja rastojanje od koordinatnog početka 0 do linije A koja se pruža paralelno sa osom y . Na isti način se izračunava i rastojanje linije B od ose x :

$$y_t = [(F_1 \times y_1) + (F_2 \times y_2) + (F_3 \times y_3)] / F_1 + F_2 + F_3$$

Presekom linija A i B određuje se težište datog sistema u ravni njegovog dejstva, odnosno u ravni koordinatnog sistema. O_{xy} .

Počeci određivanja težišta čovečjeg tela datiraju od srednjeg veka. Korišćena je metoda balansiranja. Smrznuti leš je pomeran na izbalansiranoj podlozi sve dok nije postignuta ravnoteža. Tada je utvrđe-

no da se u položaju normalnog uspravnog stava težište tela nalazi vertikalno iznad karlične ose a horizontalno ispred gornje ivice drugog krsnog pršljena odnosno oko 1,5 cm ispod promontorijuma. Tako je merenjem težine tela, određena rezultanta svih paralelnih sila a balansiranjem je određena i njena napadna tačka.



Sl. 44 Određivanje težišta tela slaganjem paralelnih sila

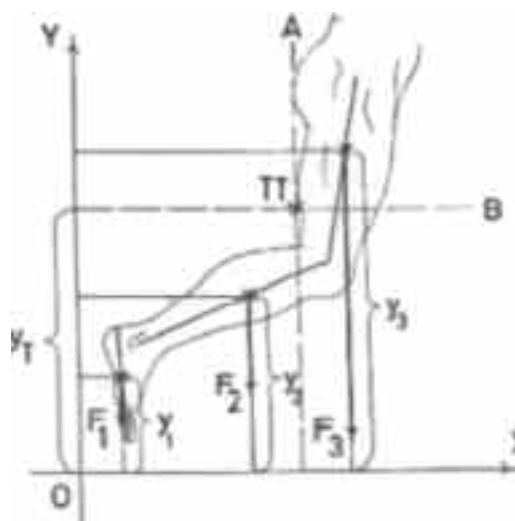
Napadna tačka sile teže nije postojana tačka. Ona predstavlja centar svih masa. Čim se pomeri makar i najmanji, odnosno najlakši deo tela, pomera se u određenoj srazmeri i težište tela. I najmanji pokret grudnog koša prilikom disanja, svaki srčani otkucaj, svaka preraspodela unutrašnjih tečnosti, izazivaju promenu položaja težišta tela.

Da bi se u svakom trenutku mogao odrediti položaj težišta tela, neophodno je raspomagati:

1. Fotografskim snimkom željenog položaja u sagitalnoj ravni,
2. Fotografskim snimkom istog položaja u frontalnoj ravni,
3. Telesnom težinom snimane osobe, izmerene neposredno pre snimanja,
4. Tablicama za određivanje težine pojedinih delova tela i

5. Tablicama pomoću kojih se određuju rastojanja težišta pojedinih delova tela od centra proksimalnog zgloba.

Fišer (Fischer) i Braune (Braune), a kasnije Bernštejn (Bernstein), su metodom odvajanja pojedinih kompaktnih delova čovečijeg tela, i metodom vešanja utvrdili da se težište pojedinog kompaktnog dela tela nalazi na osi tog dela tela tj. na liniji koja spaja centre dva susedna zgloba, i da je težište uvek bliže proksimalnom zglobu, pošto su proksimalni delovi teži. Primećena je izvesna zakonitost položaja težišta pojedinih delova tela u odnosu na proksimalni zglob, koja se može primeniti na svaki ljudski organizam. Navedeni autori su ta rastojanja težišta kompaktnih delova tela od proksimalnog zgloba dali u priloženoj Tabeli 1.



Sl. 45 Određivanje težišta tela pomoću koordinatnog sistema

Praktično, težište glave u profilu se označava na gornjoj ivici sluhovodnog kanala, odnosno na tom nivou, ako se glava nalazi u nekom drugom položaju trup predstavlja rastojanje od centra zgloba kuka do centra potiljačnog zgloba, dužina stopala se meri od zadnje ivice petne kosti do vrha drugog prsta, težište šake u polusavijenom položaju se nalazi u predelu metakarpofalangealnog zgloba drugog prsta.

Podaci prikazani tablicom neće biti adekvatni za svaku konstituciju, pol i uzrast. Ovakvo eventualno odstupanje neće dovesti do bitnih promena ako se radi o kinogramu kretanja, pošto će se greška ponavljati u svim položajima jednog kinograma tako da će krivulja putanje, dijagram brzine i sl. odgovarati realnim vrednostima, s tim da će u prostoru biti pomerena neznatno više ili niže od stvarne linije.

Kada se navedenim načinom odrede napadne tačke (težišta) sile

teže pojedinih delova tela, neophodno je odrediti i sile koje dejstvuju na te tačke. Te sile su ustvari težine pojedinih delova tela. Pomenuti autori, odvajajući na leševima pojedine kompaktne delove tela, mereći ih i upoređujući njihovu težinu sa težinom celog tela, utvrdili su i u ovom slučaju određenu zakonitost, da je odnos između jednog dela tela i težine celog tela podjednak kod svih ljudi. Prema tome, dovoljno je znati telesnu težinu da bi se mogla odrediti težina bilo kog kompaktnog dela tela. Koeficijente, kojima treba pomnožiti telesnu težinu da bi se dobila težina određenog dela tela, autori su dali u Tabeli 2.

Ako se izdvoji jedan trenutak (kadar) iz kretanja koje je snimljeno kinokamerom na poseban način, prvo se uz poznavanje lokacije centara zglobova odrede ose (biomehantičke poluge) pojedinih delova tela. Mereći dobijene dužine i množeći ih odgovarajućim koeficijentom određenim u tablici za određivanje napadnih tačaka sile teže, određuju se posebno težišta za svaki kompaktni deo tela. Kada su određene napadne tačke, neophodno je odrediti i sile koje dejstvuju na njih.

Svaka sila se posebno određuje proizvodom telesne težine sa određenim koeficijentom iz tablice za određivanje težine pojedinih delova tela. Kada su poznate sile i njihove napadne tačke, može se jednim od navedenih načina odrediti i položaj težišta celog tela u ravni koja je upravna

	Fišer - Braune	Bernštejn
Glava	-	-
Trup	0,40	0,44
But	0,44	0,386
Potkolenica	0,42	0,413
Stopalo	0,44	-
Nadlakat	0,47	0,466
Podlakat	0,42	0,412
Šaka	-	-

Tabela 1 Koeficijenti rastojanja težišta pojedinih delova tela od centra proksimalnog zgloba

na osu objektiva kamere. Da bi se odredilo težište tela i u prostoru, svaki trenutak kretanja treba da bude istovremeno snimljen i drugom kamerom, čija je ravan snimanja upravna na ravan snimanja prve kamere. Ako je istovremeno zabele-

žena i brzina hoda kamere, odnosno snimljen sa kretanjem i precizni hronometar, može se odrediti i brzina i ubrzanje bilo koje tačke kinograma u bilo kome trenutku, koji je snimljen.

RAVNOTEŽNI POLOŽAJI

POVRŠINA OSLO NCA .
Pomenut je nekoliko puta termin "tačka oslonca", koji po svojoj suštini može biti samo teoretski

tretiran. Svaki dodir bilo kog dela tela sa čvrstom podlogom može se izraziti samo većom ili manjom površinom.

Zato se u biomehaničkim istraživanjima najčešće spominje novi termin "površina oslonca". Ako se sastave sve granične dodirne tačke tela (ili nekog sistema sastavljenog od više tela) uokviriće se površina oslonca odnosno poligon oslonca (sl. 46 i 47).

Ravnotežni položaji se izračunavaju u okviru statike ali su vezani i za težište tela. Obično se spominju 4 razna ravnotežna položaja. U zavisnosti od položaja težišta u odnosu na tačku obrtanja oko koje se telo okreće razlikujemo:

1. Indiferentni položaj
2. Stabilni položaj
3. Labilni položaj
4. Ograničeno labilni

Sl. 48 prikazuje pomenute položaje sa kuglom, paralelopipedom i gimnastičkom vežbom. O indiferentnom položaju govori se onda kada osa obrtanja prolazi kroz težište. Telo koje se obrće oko svog težišta, prilikom bilo kog okretanja ne menja svoje ravnotežno stanje. I u novom položaju ostaje u ravnoteži. (U slučaju kugle na sl. tačka obrtanja je u dodirnoj tački sa podlogom). U ovom slučaju alge-

Deo tela	Fišer - Braune	Bernštejn	
		Muški	Ženski
Glava	0,0706	0,0672	0,0812
Trup	0,4270	0,4630	0,4390
But	0,1158	0,1221	0,1286
Potkolenica	0,0527	0,0465	0,0484
Stopalo	0,0179	0,0146	0,0129
Nadlakat	0,0336	0,0265	0,0260
Podlakat	0,0228	0,0182	0,0182
[aka	0,0084	0,0070	0,0055

Tabela 2 - Koeficijenti za određivanje težina pojedinih delova tela

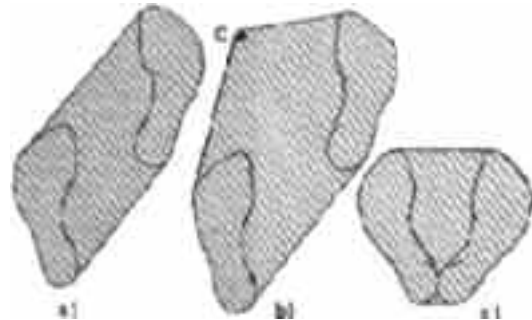
barski zbir momenata obrtanja na osi jednak je nuli.

$$M_1 + M_2 + \dots + M_n = 0$$

odnosno,

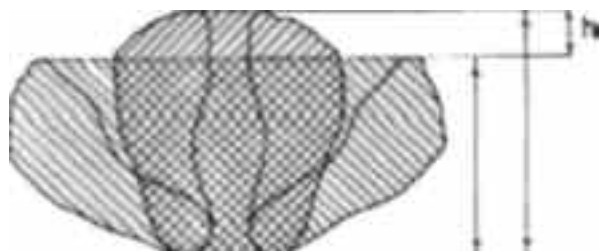
$$\Delta M = 0$$

Težište vežbača u prednjem uporu na vratilu poklapa se sa obrtnom osom, znači nalazi se u indiferentnom ravnotežnom položaju. Isto to pokazuje i paralelopiped koji je pričvršćen u težištu.



Sl. 46 Površina oslonca: a) u iskoračnom stavu, b) u iskoračnom stavu uz oslonac štapom (C), i c) u stavu spetnom

Ako se dobro razmisli onda se i kugla nalazi u istom položaju bez obzira što se obrtna tačka u dodiru sa tлом ne poklapa sa težištem kugle. Ipak je ovo indiferentni položaj za kuglu, jer bilo kakvo pomeranje na ravnoj podlozi ne menja energetski nivo (W_n). Ovo može da prikaže i gimnastičar pri pravljenju koluta na zemlji.



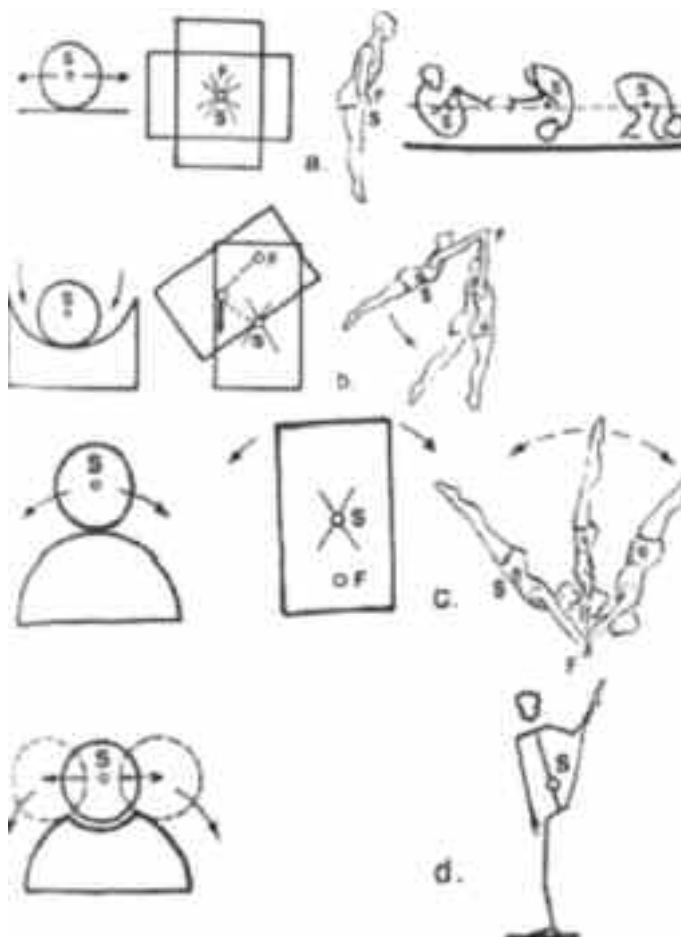
Sl. 47 Povećavanje površine oslonca u sagitalnoj ravni prilikom postavljanja uzdužnih osa stopala iz divergentnog u paralelni položaj: h - povećanje površine oslonca u sagitalnoj ravni

O stabilnom ravnotežnom položaju govori se onda kada se tačka obrtanja nalazi ispod težišta i to u vertikali. Ukoliko neka sila pomeri telo iz ovog položaja ono će se vratiti u isti položaj usled nastalih obrtnih momenata. Ovo stanje prikazuje vežbač pri njihanju na vratilu i dr. U sva tri pomenuta slučaja potencijalna energija u položaju ravnoteže je manja, nego u bilo kom promenjenom položaju. U labilnom ravnotežnom položaju težište se nalazi vertikalno iznad obrtne tačke. Položaj vežbača pri stavu o šakama na vratilu odgovara ovom položaju. U slučaju kugle prikazan je položaj sa najvećom potencijalnom energijom i najmanja sila može lako da promeni ovaj položaj tela koje posle njihanja, a usled trenja i otpora vazduha, lako prolazi u stabilni ravnotežni položaj. Ako neka druga sila u tome ne pomogne, telo ne može ponovo da dođe u ravnotežni položaj.

Ograničeno labilni položaj u sportskim vežbama, pokretima nije nepoznat. Ovo potvrđuje i položaj kugle i vežbača u položajima pokazanim u primerima.

Dobrim osećajem mišića i dobrom koordinacijom položaja uz rad mišića vežbač može da ostane duže u pomenutom položaju. Ovi položaji najviše se pojavljuju u sportskoj gimnastici.

Sigurnost ravnotežnog položaja



Sl. 48

(stabilnost) je pojam koji se vezuje za prethodne pojmove. Na geometrijsko telo prikazano na sl. 49 deluje sila teže. Ona iznosi $G = m \times g$. Na telo u osloncu deluje sila potpora K (reakcije). Međusobno dejstvo ovih sila na sl.:

a) U ovom položaju $G = -K$ i vektorski zbir $G + K = 0$. Znači stabilni ravnotežni položaj.

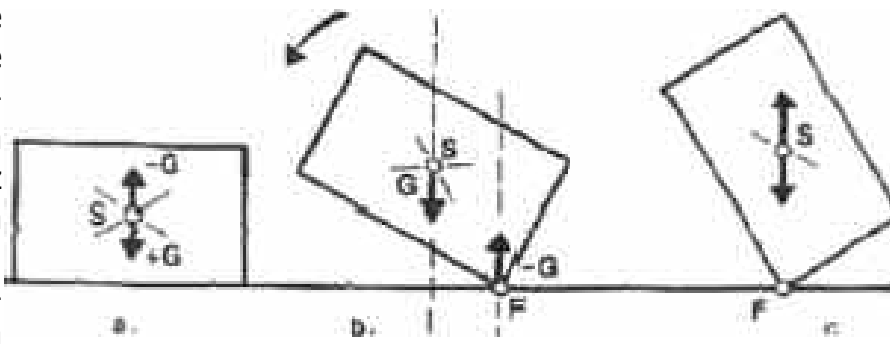
b) U ovom položaju telo je okrenuto oko jednog

temena. U ovom slučaju $-K$ deluje u obrtnoj tački (F) i silom težine G koja deluje iz težišta (S) a istog je intenziteta, stvara spreg sila, koji teži da vrati telo u stabilni položaj ravnoteže.

c) U ovom položaju geometrijskog tela obe sile G i $-K$ deluju po istom pravcu koji prolazi kroz težište tela, a u različitim smerovima i telo se nalazi u labilnom ravnotežnom stanju. Najmanja bočna sila stvara moment inercije posle koje dolazi do obrtanja tela (sl. 50)

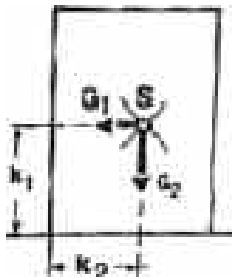
Sigurnost ravnotežnog položaja (stabilitet) može se odrediti i geometrijskim putem. Meru sigurnosti ravnotežnog položaja daje veličina ugla α (sl. 51). Ugao otklona je ugao za koji treba pripremiti telo oko obrtne tačke F , da bi težište (S) došlo na vertikalu iznad te tačke.

Drugačije rečeno, α je ugao koji zatvara normala povučena iz težišta prema podlozi i prava povučena između



sl. 49

težišta i obrtne tačke. U sportskoj gimnastici postoje statički položaji kada uglovi koje zatvara normala spuštenu iz težišta na tlo i prave povučene sa ivica potporne površine ne daju istu veličinu za obe strane. (sl. 52, 53). Što je razlika između uglova α_1 i α_2 veća održavanje tog položaja zahteva veće opterećenje sistema mišića i opterećenja. Ako su uglovi isti α_1 i α_2 dovoljna je relativno mala aktivna sila za održavanje položaja (vaga, stoj na glavi i ruci) α_{max} daje maksimalnu sigurnost održavanje položaja.

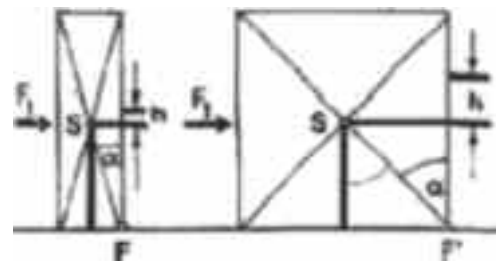


Sl. 50

Dinamična sigurnost ravnotežnog položaja (prikazana na sl. 54) zavisi od veličine sile otklona, od mesta napadne tačke te sile i od veličine (širine) oslonca. Ukoliko se jedno telo želi izbaciti iz ravnotežnog položaja pomoću sile G_2 koja deluje sa bočne strane, onda napadnu tačku te sile treba dovesti u takav nagib tela, da pravac rezultante sile (vektor) sa silom težine G_1 bude van površine oslonca. Na sl. 87 se vidi da sila D_x čija je napadna tačka iznad težišta (S) u tome i uspeva. Može se takođe uočiti da sila G_2 lakše obara telo ako je težina tela manja, širina potpora uža i napadna tačka sile viša. Zato

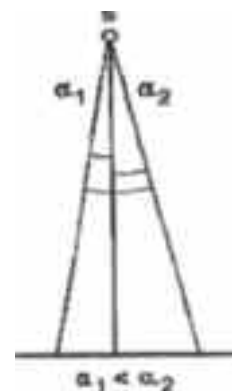
neke gimnastičke sprave (sank, konj) velike težine, širokih nogu moraju se pričvrstiti za podlogu

mehanizmom. Skijaš se takođe stalno bori protiv sila obaranja i održavanja ravnotežnog položaja. U tome uspeva širenjem nogu i spuštanjem svoga težišta. U zavisnosti od pada staze, brzine spuštanja, otpora vazduha i uslova klizanja skija, mora stalno da koriguje razmak između



Sl. 51

skija, položaj tela napred-nazad, bočno i gore-dole. Zato je skijanje veoma teška disciplina. sl. 55 pokazuje korekciju položaja skijaša u zavisnosti od promene uslova u toku spuštanja.

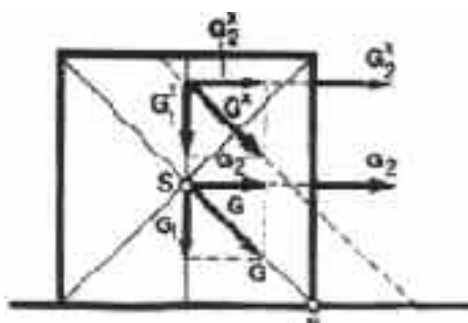


Sl. 53

USPOSTAVLJANJE KRETANJA

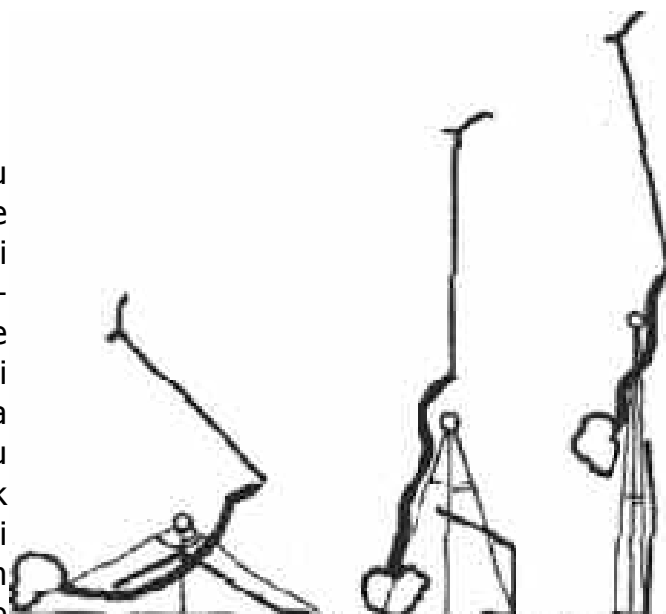
Za razliku od analize stavova i položaja gde je osnovni cilj bio da se sačuva ravnotežni položaj u uslovima gde se pomeraju samo delovi tela, dok sve vreme postoji kontakt sa čvrstim osloncem, koji se ne

napušta, u ovom delu biomehanike će se analizirati uzroci (sile) koji mogu jedno telo ili sistem više tela pokrenuti na najefektniji način. To znači da će se u ovom delu biomehanike analizirati ne uslovi koji omogućavaju održavanje ravnoteže, nego uslovi koji omogućavaju gubitak ravnoteže na određeni način. Polazeći od načina na koji treba da se naruši ravnotežni položaj, i zavisno od toga šta se želi tim kretanjem postići, sva se kretanja vrše u labilnoj, stabilnoj i indiferentnoj vrsti ravnoteže, pa se prema tome i uspostavljanje kretanja vrši iz labilne, stabilne i indiferentne vrste ravnoteže.



Sl. 54

Kod čoveka su najčešći polazni položaji u labilnoj vrsti ravnoteže. Za uspostavljanje kretanja u labilnoj vrsti ravnoteže postoji određeni princip. Princip uspostavljanja kretanja iz labilne vrste ravnoteže se sastoji u tome da se dve osnovne sile, sila mišića i sila teže, izvedu iz dosa-



Sl. 52

dašnjeg ravnotežnog dejstva. To se može učiniti promenom obrtnog momenta sile mišića, čiji se intenzitet može neposredno i svesno određivati. Da bi se iz labilne vrste ravnoteže uspostavilo kretanje, neophodno je pojačati mišićnu silu tako da se na strani dejstva sile mišića poveća moment sile i uspostavi kretanje u smeru dejstva realizovane sile mišića, ili se pak, intenzitet sile mišića smanji tako da sila teže sada deluje većim obrtnim momentom, pa će nastati kretanje u smeru dejstva sile teže. Ukoliko se samo uspostavljeno kretanje ne bi dopunilo novim pokretima, usledio bi pad u novi ravnotežni položaj. Zato se najčešće kretanje i uspostavi, ali se i tako uspostavljeno kretanje nastavi. Ako tako nastavljeno kretanje i dalje zadržava karakter kretanja u labilnoj vrsti ravnoteže, onda se dopunskim pokretima, pojedini delovi tela pomeraju u smeru već uspostavljenog kretanja tako da se tim delovi-

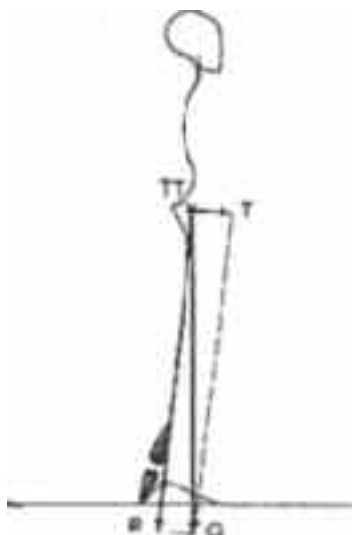


Sl. 55

ma tela uspostavi kontakt sa površinom oslonca ispod težišta tela. Pomeranjem u datom smeru javlja se nova sila, sila inercije, koja se koristi, uz dodatno dejstvo određenih mišićnih impulsa, za održavanje kretanja u navedenom smeru, prilikom čega se dozvoljava izlaženje projekcije težišta tela van površine oslonca, ali samo

uz pravovremeno "podmetanje površine" oslonca ispod padajućeg težišta.

Kao primer za uspostavljanje kretanja iz labilne vrste ravnoteže može da se koristi uopštena analiza uspostavljanja kretanja iz normalnog uspravnog stava. Normalni uspravni stav je najčešći polazni stav u labilnoj vrsti ravnoteže, a najčešće se uspostavlja kretanje napred, nazad i u stranu.



Sl. 56 Uspostavljanje kretanja iz normalnog uspravnog stava u smeru napred: TT - težište tela, G - težina tela, R - radijalna komponenta sile teže G, T - tangencijalna komponenta sile teže G

Za uspostavljanje kretanja napred iz normalnog uspravnog stava, postojeća ravnotežna sila se narušava distrakcijom mišića opružaca u skočnim zglobovima. Na taj se način stopala "odvezuju" od ostalog tela, pošto u tom položaju, kada se stopala celim površinama oslanjanju na tlo a skočni zglobovi nisu nikakvom kontrakcijom fiksirani, stopala suštinski imaju bolji kontakt sa tлом nego sa potkolenicama. U tom slučaju se površina oslonca ostalog tela svodi na oslonac distalnih okrajaka kostiju potkolenica na skočnim kostima. Kako vertikalna, spuštena od težišta tela u normalnom uspravnom stavu prolazi ispred centara skočnih zglobova, u slučaju distrakcije mišića opružaca u skočnim zglobovima, sila teže (G) će aktivno dejstvovati po komponentama (sl. 56). Komponenta pritiska (R) će dejstvovati

prema centralnom delu linije koja spaja centre skočnih zglobova, a komponenta kretanja (T) u smeru koji je upravan na smer dejstva komponente pritiska, i u smeru njenog dejstva će se uspostaviti kretanje, čiji će intenzitet biti određen intenzitetom komponente kretanja. Distrakcijom mišića opružaca u skočnim zglobovima je ustvari otklonjena samo sila, koja je do sada neutralizovala stalnu tendenciju sile teže da izvrši pregibanje u skočnim zglobovima.



Sl. 57 Uspostavljanje kretanja iz normalnog uspravnog stava u smeru nazad: M - sila mišića opružaca u skočnim zglobovima, R - radijalna komponenta, T - tangencijalna komponenta sile mišića

Za uspostavljanje kretanja nazad iz normalnog uspravnog stava, dovoljna je jača kontrakcija mišića opružaca u skočnim zglobovima, jača od one sile, kojom je do tog trenutka sila teže držana kao potencijalna sila, koja je uvek u stanju, ako bi joj se omogućilo aktivno dejstvo, da izvrši pregibanje u skočnim zglobovima. Kako je stopalo fiksirano celom površinom za tlo, mišići opružaci u skočnim zglobovima će dejstvovati perifernim osloncem (sl. 57), tako da će se izvršiti plantarna fleksija neobaranjem stopala, nego pomeranjem potkolenica nazad. Kako je ostali deo tela vezan za potkolenice, za potkolenicama će se pomeriti ceo otvoreni kraj kinetičkog lanca u smeru nazad. Ovo se kretanje uspostavlja u smeru dejstva tangencijalne komponente (T), dok je intenzitet kretanja jednak intenzitetu iste komponente

te. Druga komponenta sile mišića (M) djeluje prema centru skočnog zgloba i predstavlja komponentu pritiska (R).

Za uspostavljenje kretanja u stranu iz normalnog uspravnog stava dovoljno je jače odupiranje jednom nogom, čime će se karlica na strani te noge podići na viši nivo tako da će se kičmeni stub nagnuti na suprotnu stranu.

Nagibom kičmenog stuba, odnosno celog gornjeg dela tela u stranu pomera se težište tela u stranu toliko da vertikala, spuštена od težišta tela, pada van poligona oslonca pa će sila teže da djeluje sa momentom, razlažući se na radijalnu komponentu (R), kojom će biti određen pritisak na tlo, i na tangencijalnu komponentu (T), kojom će biti određen smer i intenzitet uspostavljenog kretanja u stranu (sl. 58).

Koristeći isti princip uspostavljenja kretanja u stranu, isto se može izvršiti i odvajanjem jedne noge od tla (sl. 59). Kako u normalnom uspravnom stavu vertikala spuštена od težišta tela seče napola liniju koja spaja centre skočnih zglobova, posle odvajanja jedne noge od tla, vertikala više neće da prolazi preko poligona oslonca, nego će prolaziti sa unutrašnje strane skočnog zgloba stajne noge. U tom slučaju sila teže djeluje sa obrtnim momentom pa će se njeno dejstvo ispoljiti u dejstvu njenih komponenti: komponenta pritiska (R) će djelovati prema centru oslonca, koji se nalazi u centru poligona oslonca stajnom nogom, a komponentom kretanja (T) će biti određen smer i veličina uspostavljenog kretanja u stranu.

Osnovni principi uspostavljanja kretanja iz labilne vrste ravnoteže su:

1. Smanjiti površinu oslonca tako da težište tela ne bude više iznad površine oslonca.
2. Promenom intenziteta mišićnog

dejstva narušiti ravnotežu između obrtnog momenta sile mišića i obrtnog momenta sile teže u korist jedne ili druge sile, uz sprečavanje kompenzatornog kretanja drugih delova tela.

Ako je kretanje takve naravi, da posle uspostavljanja kretanja treba i dalje održavati kretanje u labilnoj vrsti ravnoteže, neophodno je održavati nagib tela u smeru kretanja. Kvantitativno, nagib tela u smeru kretanja je proporcionalan brzini kretanja.

Za uspostavljanje kretanja iz stabilne vrste ravnoteže neophodno je određenim silama i na određeni način pomeriti težište tela tako da se ono ne nalazi vertikalno ispod tačke vešanja. Čim se centralna tačka vešanja više ne nalazi na napadnoj liniji sile teže, formira se krak sile teže, odnosno uspostavi se kretanje koje se vrši po zakonima kretanja klatna. Sistem delova tela će se kretati (njihati) sve dok trenje u hvatištu i otpor sredine ne neutrališu energiju, kojom je telo bilo pokrenuto iz stabilne vrste ravnoteže.

Kao najjednostavniji primer uspostavljanja kretanja iz stabilnog ravnotežnog položaja se može uzeti opšta analiza uspostavljanja kretanja iz visa slobodnog.

Slobodan vis je najčešći polazni položaj za uspostavljanje kretanja iz stabilne vrste ravnoteže. Iz slobodnog visa se može uspostaviti kretanje u sagitalnoj, frontalnoj i horizontalnoj (u odnosu na telo) ravni. Najjednostavniji je primer uspostavljanje kretanja iz visa slobodnog u sagitalnoj ravni.

Za njihanje sa malim amplitudama (sa malim otklonima od ravnotežnog položaja, tzv. elongacijama) dovoljna je malo brže izvedeno pregibanje u zglobovima kukova. Pošto su ruke fiksirane a noge

predstavljaju otvoreni kraj kinetičkog lanca, mišići pregibači u zglobovima kukova, u sadejstvu sa mišićima trbušnog zida će koncentričnom kontrakcijom sa centralnim osloncem svojom tangencijalnom komponentom (T) pomeriti otvoreni kraj kinetičkog lanca (donji deo tela) u smeru napred, dok će drugom komponentom (R) izvršiti pritisak u zglobovima kukova (sl. 60). Radijalna komponenta (R) će delimično učestvovati u smislu kompenzatornog potiskivanja karlice u suprotnom smeru, međutim, s obzirom da je gornji deo tela fiksiran za nepokretnu osu (vratilo) i da se pokret vrši brže od početnog ubrzanja sile teže, u dinamičkom smislu ova kompenzacija u suprotnom smeru je kvantitativno uvek manja od kretanja u smeru pokreta otvorenog kraja kinetičkog lanca.



Sl. 58 Uspostavljanje kretanja iz normalnog uspravnog stava u stranu: TT - težište tela, G - sila teže, jednaka težini tela, R - radijalna komponenta sile teže, T tangencijalna komponenta sile teže

Pomeranjem donjeg dela tela u smeru napred i gore, srazmerno se pomera i težište tela u istom smeru, čime se ono izvodi iz ravnotežnog položaja. Izraz ovakvog narušavanja ravnotežnog položaja biće uspostavljanje kretanja iz stabilne vrste ravnoteže, odnosno uspostavljanje njihanja.

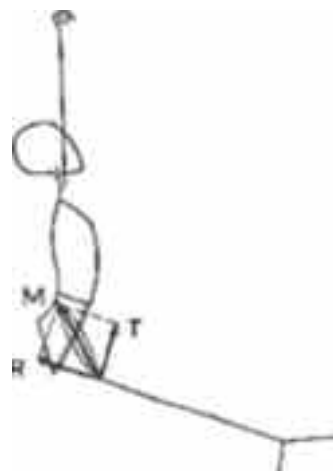
Posmatrano sa dinamičkog gledišta, fleksija je najpovoljniji pokret za uspostav-



Sl. 59 Uspostavljanje kretanja iz normalnog uspravnog stava u stranu: TT - težište tela, G - sila teže, jednaka težini tela, R - radijalna komponenta sile teže, T tangencijalna komponenta sile teže

ljanje kretanja gde je slobodan vis polazni položaj, upravo zbog najveće amplitude kretanja. Da bi se uspostavilo kretanje sa većom amplitudom, bilo bi neophodno pravovremeno izvršiti nekoliko fleksija u zglobovima kukova, kako bi se sumiranjem tih pokreta pojačalo njihanje. Takav način povećavanja amplitude kretanja bi bio neracionalan, pošto duže traje i zahteva veći broj kontrakcija istih mišićnih grupa.

Zato se za uspostavljanje kretanja u stabilnoj vrsti ravnoteže u sagitalnoj ravni koristi nešto složenije, ali zato racionalnije



Sl. 60 Uspostavljanje kretanja iz visa slobodnog: M - sila mišića pregibača u zglobovima kukova, R - radijalna komponenta sile mišića, T tangencijalna komponenta sile mišića

kretanje. Pored pregibanja u zglobovima kukova i slabinskom delu kičmenog stuba vrši se i pokret retrofleksije u ramenim zglobovima. Pregibači u zglobovima kukova i u zglobovima slabinskog dela kičmenog stuba dejstvuju koncentričnom kontrakcijom i sa centralnim osloncem, dok mišići opružači u zglobovima ramena (retrofleksori) dejstvuju koncentričnom kontrakcijom i sa perifernim osloncem. Istovremenim dejstvom navedenih mišićnih grupa težište tela će se pomeriti delimično napred a u velikoj meri naviše (sl. 61). U drugoj fazi ovog kretanja se pomoću koncentričnog dejstva antagonista navedenih mišićnih grupa težište tela udaljava od ose obrtanja, time se povećava krak obrtnog momenta sile teže (sl. 62).

Na osnovu navedenog se može zaključiti osnovni princip uspostavljanja kretanja iz stabilne vrste ravnoteže:

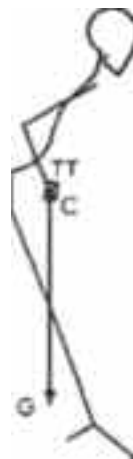
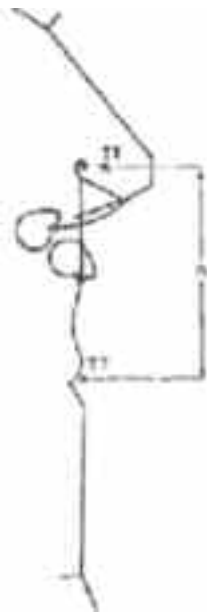
1. Podići težište tela na što veću visinu
2. Tako podignuto težište tela udaljiti što više od fiksne tačke

Za uspostavljanje kretanja u indiferentnoj vrsti ravnoteže sopstvenim unutrašnjim silama, neophodno je da se privremenim izvođenjem iz indiferentne vrste ravnoteže neka spoljna sila, posredno preko mišićnih sila, dovede u mogućnost aktivnog dejstvovanja. Kada se tom spoljašnjom silom saopšti početna energija kretanja, ponovno se pomoću mišićnih sila telo dovodi u indiferentnu vrstu ravnoteže, tako da se kretanje nastavlja, ali sada u indiferentnoj vrsti ravnoteže.

Primer za uspostavljanje kretanja iz indiferentne vrste ravnoteže se može izabrati iz grupe kovrtljaja, od kojih je najjednostavniji kovrtljaj nazad iz upora prednjeg na vratilu.

Uspostavljanje kretanja iz upora prednjeg u smeru nazad. Upor prednji na

vratilu, sa malom fleksijom (pregibom) u slabinskom delu kičmenog stuba i u zglobovima kukova, sa malim sklekrom (sl. 63), je položaj u indiferentnoj vrsti ravnoteže, gde se težište tela vežbača nalazi u osi obrtanja. Iz tog položaja se kretanje uspostavlja na sledeći način: koncentričnom kontrakcijom mišića opružača u zglobovima kukova i u zglobovima slabinskog dela kičmenog stuba, jer obe grupe sinergista dejstvuju sa centralnim osloncem i koncentričnom kontrakcijom mišića opružača u zglobovima laktova i pregibača (antefleksora) u zglobovima ramena, pošto obe navedene mišićne grupe dejstvuju sa perifernim osloncem, težište tela se od fiksne tačke udaljava u smeru gore i nazad. Kvantitativno, ovaj se pokret može regulisati intenzitetom mišićnih kontrakcija, a ukoliko je isti pokret izvršen prevelikim intenzitetom, moguće ga je regulisati dejstvom mišića antagonista. Udaljavanjem težišta tela od ose obrtanja formira se obrtni moment sile teže, koja istog trenutka postaje aktivna sila i dejstvuje u smislu obrtanja sistema oko ose obrtanja. Kada je na taj način saopštena dovoljna energija kretanja, otprilike kada se težište tela nalazi na istom nivou sa osom obrtanja, koncentričnom kontrakcijom mišića pregibača u zglobovima kukova i u zglobovima slabinskog dela kičmenog stuba i koncentričnom kontrakcijom mišića pregibača u zglobovima laktova i mišića opružača (retrofleksora) u zglobovima ramena, vežbač ponovo dovodi svoje telo u položaj indiferentne vrste ravnoteže. Pošto energija kretanja odnosno obrtanja već postoji, obrtanje se dalje nastavlja, sada u indiferentnoj vrsti ravnoteže, sve dok se ta energija silom trenja u hvatištu, otporom vazduha i eventualno formiranim momentom sile teže sa suprotnim smerom, ne bude neutralisana. Da bi se izveo kovrtljaj nazad iz upora prednjeg, neophodno je da težište tela bude mišićnim dejstvom dovedeno u poziciju T_1 , da dejstvom sile teže pređe put do T_2 , i da se ponovo mišićnim



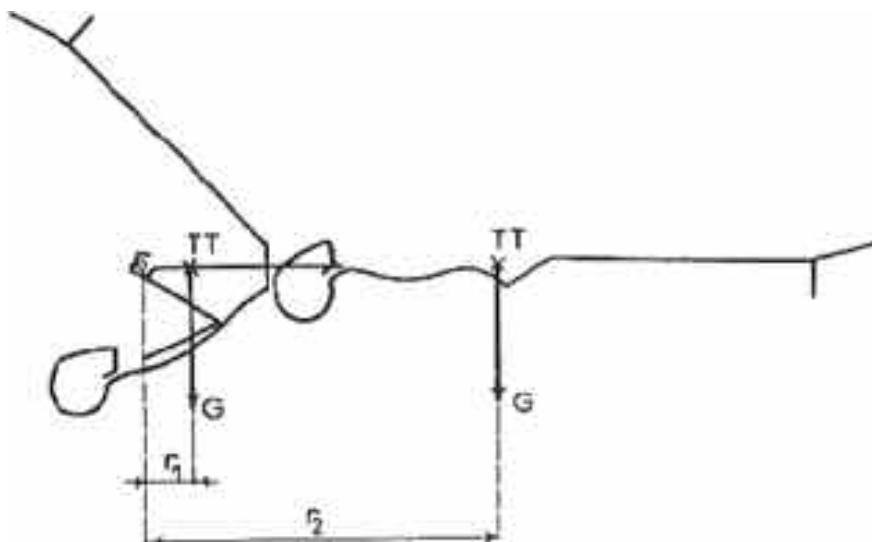
Sl. 61 Uspostavljanje kretanja iz visa slobodnog: TT - težište tela, h - visina, na koju je podignuto težište tela iz polaznog položaja

dejstvom, sada dejstvom antagonista dovede u položaj T_3 , u kome je održavano izometrijskom kontrakcijom mišića, dok je sila teže osnovni uzrok kretanju, koje nastaje nakon dovođenja težišta tela u poziciju T_3 (sl. 64).

Osnovni princip uspostavljanja kretanja u indiferentnoj vrsti ravnoteže se može formulisati:

Sl. 63 Položaj upora sa pregibom i sklekom, kao polazni položaj za uspostavljanje kretanja iz indiferentne vrste ravnoteže: TT - težište tela, G - sila teže, jednaka težini tela, C - fiksna tačka (tačka obrtanja)

1. Pomoću unutrašnjih sila, u saradnji sa spoljašnjim silama, narušiti indiferentnu vrstu ravnoteže i time omogućiti aktivno dejstvo sile teže
2. Posle uspostavljenog kretanja pod dejstvom sile teže, ponovno uključiti unutrašnje sile i dovesti telo u položaj indiferentne vrste ravnoteže i održati taj položaj



Sl. 62 Nastavak uspostavljanja kretanja iz visa slobodnog: TT - težište tela, G - sila teže, jednaka težini tela, r_1 - krak sile teže posle podizanja težišta tela na visinu h, r_2 - krak sile teže posle udaljavanja tela od fiksne tačke



Sl. 64 Uspostavljanje kretanja u indiferentnoj vrsti ravnoteže: TT_1 , TT_2 , TT_3 - položaji tačke težišta tela vežbača u fazi saopštavanja energije kretanja za kretanje u indiferentnoj vrsti ravnoteže

6. KINEMATIKA LOKOMOTORNOG APARATA

- ❖ OSNOVNE KINEMATIČKE VELIČINE LOKOMOCIJE
- ❖ KINEMATIČKE METODE ISTRAŽIVANJA
- ❖ OSNOVNE KINEMATIČKE ŠEME SLOŽENIH POKRETA
- ❖ OPŠTA PODELA SLOŽENIH KRETANJA
- ❖ PRAVOLINIJSKA KRETANJA
- ❖ KRIVOLINIJSKA KRETANJA
- ❖ CENTRALNA KRETANJA
- ❖ OSCILACIJE

U kinematici se ispituje kretanje geometrijskih tela sa oblikom i zapreminom i ne vodi se računa o materijalnosti tih tela, ali se uvodi nov pojam - vreme i strogo se vodi računa o vremenskim intervalima u kojim se vrše pojedina kretanja.

KINEMATIČKE METODE ISTRAŽIVANJA

Princip kinematičkih metoda istraživanja podrazumeva objektivno beleženje promene mesta tela u prostoru i vremenu i utvrđivanja toka menjanja brzine i ubrzanja. To se radi uz primenu metoda diferencijacije uz korišćenje ranije izmerene promene vremena do koje dolazi u toku prelaženja staze. Postoje, takođe, metode kojima se proces menjanja brzine i ubrzanja meri i beleži direktno. U atletici se, isto tako, često koriste jednostavne metode kojima se meri samo prosečna brzina koja se postiže na određenom delu staze, ili se meri samo dužina staze ne uzimajući u obzir dimenzije vremena.

OSNOVNE KINEMATIČKE ŠEME SLOŽENIH POKRETA

KRETANJE MATERIJALNE TAČKE. Pod kretanjem tačke podrazumeva se promena položaja te tačke u prostoru u odnosu na neku drugu tačku ili drugo telo. Ako se posmatra kretanje tačke u odnosu na nepokretno telo, onda je reč o apsolutnom kretanju, a ako se posmatra kretanje tačke u odnosu na neku tačku ili telo u kretanju, reč je o relativnom kretanju.

Za vreme kretanja, jedna pokretna tačka (u programu ovog udžbenika to je najčešće težište tela ili pojedinog dela

tela) se u toku vremena poklapa sa nizom tačaka u prostoru. Vezivanjem tih tačaka obrazuje se linija ili putanja odnosno trajektorija pokretne tačke. Ovako obrazovane putanje mogu da budu predstavljene ravnim ili krivim nizom tačaka a mogu ležati ili u ravni (dve dimenzije) ili u prostoru (tri dimenzije).

Ako je posmatrana tačka istovremeno i početna tačka putanje, odnosno polazni položaj i ako je poznat put koji pređe ta tačka u poznatim vremenskim intervalima, može se postaviti zavisnost između pređenog puta (s) i proteklog vremena (t). Ova se zavisnost može izraziti jednačinom koja predstavlja zakon puta. Da bi se tačno moglo odrediti kretanje jedne tačke u prostoru, treba poznavati zakon puta i polazni položaj tačke. Neophodno je pomenuti da zakon puta pokazuje samo kako se jedna tačka kreće po putanji, međutim, jednačina zakona puta nije i jednačina putanje.

Podela kretanja se može izvršiti na više načina, zavisno od toga koja je podela najaktuelnija. Niz tačaka u prostoru sa kojima se poklapa posmatrana pokretna tačka, može da obrazuje pravu i krivu liniju. Prema obliku ovog niza (putanje) kretanja se mogu podeliti na pravolinijska i krivolinijska kretanja.

Pravolinijsko kretanje se vrši prilikom slobodnog pada ili vertikalnog hica. Sistem delova čovečijeg tela sopstvenim silama ne vrši pravolinijska kretanja ali se obično teži da se nizom krivolinijskih pokreta saopšti telu pravolinijski smisao kretanja. Krivolinijsko kretanje može da bude kružno, tj. kada se sistem materijalnih tačaka kreće oko određene tačke, kao što su na primer kovrtljaji u programu vežbanja na spravama, može da bude parabolčno tj. kada se tačka ili sistem materijalnih tačaka kreće po paraboli (slično kao kod skokova, preskoka, bacanja i sl.).

Nabrojane vrste krivolinijskih kretanja mogu imati putanje različitih oblika i zato su zakoni kretanja tačke ili sistema materijalnih tačaka po tim linijama različiti.

U odnosu na brzinu, kretanja se mogu podeliti na jednolika i nejednolika.

Jednoliko kretanje nastaje ako jedna tačka ili sistem materijalnih tačaka u istim vremenskim intervalima prelazi isti put. U složenim kretanjima čoveka postoji tendencija uspostavljanja jednolikog kretanja sa težnjom da se za relativno najkraće vreme pređe (trčanjem, hodanjem, plivanjem, vožnjom na biciklu i sl.) određeno rastojanje.

Nejednoliko kretanje nastaje ako se dužine deonica pređenog puta, u istim vremenskim intervalima, ili povećavaju ili smanjuju. Ako se dužine deonica u istim vremenskim intervalima povećavaju, onda se govori o ubrzanom kretanju, a ako se dužine deonica smanjuju, radi se o usporenom kretanju. Ubrzano kretanje nastaje od trenutka polaska (starta) do postizavanja relativno konstantne brzine kretanja za određenu (sportsku) disciplinu, dok usporeno kretanje nastaje od trenutka kada nema više potrebe za daljim kretanjem (npr. prolazak kroz cilj) pa do konačnog zaustavljanja.

Brzina kretanja (v) se može predstaviti kao put (s) pređen u jedinici vremena (t), što se može prikazati jednačinama:

$$s = v \times t$$

$$v = s/t$$

$$t = s/v$$

Priraštaj brzine u jedinici vremena se naziva ubrzanjem (a) pa se na osnovu toga može preciznije odrediti vrednost brzine kretanja kod jednako ubrzanih kretanja:

$$v = a \times t$$

odakle je ubrzanje:

$$a = v/t$$

Osobine određenog kretanja se mogu i grafički predstaviti tzv. kinematičkim dijagramima. Osnovni kinematički dijagram je dijagram brzine (v) i vremena (t). Kod jednolikog kretanja (sl. 65) je put (s) izražen površinom paralelograma ($v \times t$). Kod jednako ubrzanog kretanja (sl. 66) put je predstavljen površinom trougla:

$$s = \frac{1}{2} (v \times t)$$

i ako se u navedenu jednačinu zameni nje vrednost brzine ($v = a \times t$) dobija se:

$$s = \frac{1}{2} (a \times t^2)$$

Naznačene jednačine su osnovne kinematičke jednačine jednolikog i jednako ubrzanog kretanja po pravoj. Pomoću ovih jednačina se određuju osnovni podaci - krajnja brzina, pređeni put i proteklo vreme.

Put kod jednako ubrzanog kretanja sa početnom brzinom predstavljen je površinom trapeza, odnosno zbirom površine paralelograma i površine trougla (sl. 67):

$$s = v_0 t + \frac{1}{2} a t^2$$

Put kod jednako usporenog kretanja sa početnom brzinom (v_0), predstavljen je površinom trapeza, odnosno razlikom površine paralelograma ($v_0 \times t$) i površine trougla (sl. 68):

$$s = v_0 t - \frac{1}{2} a t^2$$

Dijagram brzine i vremena je glavni kinematički dijagram zato što se iz njega mogu odrediti sva tri kinematička elementa:

1. Brzina (v) kao ordinata dijagrama,
2. Ubrzanje (a) kao tangens ugla koji tangenta dijagrama zaklapa sa apscisnom osom, i
3. Put (s) kao površina omeđena dijagramom.

Uloga svih dijagrama je da se njima grafički prikažu sve osobine kretanja. Dijagrami ne predstavljaju putanje nego samo zavisnost između pojedinih kinematičkih elemenata.

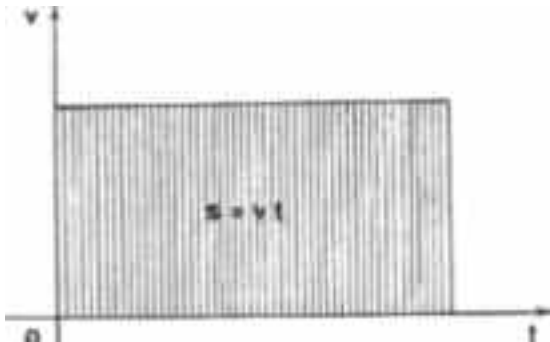
OPŠTA PODELA SLOŽENIH KRETANJA

Sva kretanja čoveka se mogu podeliti u dve velike grupe: ciklična i aciklična (jednoaktna) kretanja.

Ciklična kretanja su ona koja se u relativno istim vremenskim intervalima ponavljaju. Na primer, kod hodanja se ponavlja stalno jedan dvokorak, što znači da bi taj dvokorak trebalo da bude ono osnovno kretanje (ciklus), koje se ponavlja. Osim hodanja, u ciklična kretanja spada i trčanje, hodanje i trčanje na smučkama, hodanje i brzo klizanje na klizalj-kama, vožnja biciklom, itd. Navedena kretanja se odvijaju uz korišćenje relativno čvrstog oslonca. Postoje i ciklična kretanja koja se odvijaju uz korišćenje otpora nekog fluida. Takva su kretanja plivanje, veslanje itd.

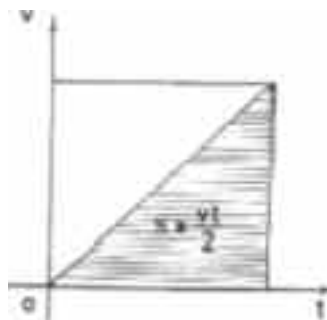
Iako svaki ciklus cikličnog kretanja predstavlja specifično povezan niz prostih pokreta, u odnosu na aciklična kretanja, ciklična kretanja predstavljaju manje složena kretanja. Ukoliko složeno kretanje nije potpuno korektno savladano, pa u toku njegovog izvođenja postoji tehnička

greška, onda se kod cikličnih kretanja ta greška svakim ciklom ponavlja, što se sumirano odražava na rezultat kretanja.



Sl. 65 Grafički prikaz puta kog jednakog kretanja (površina paralelograma)

Ciklična kretanja predstavljaju najracionalniju soluciju tamo gde živi organizam, koristeći unutrašnje sile kao osnovne pokretačke sile, treba da pređe veća prostorna rastojanja, koja se ne mogu savladati jednoaktnim kretanjem. Iz toga proizilazi da su ciklična kretanja po svojoj složenosti jednostavnija od acikličnih kretanja, da se mogu koordinaciono lakše savladati, a poenta u postizanju dobrog rezultata sve više zavisi od osposobljenosti i koordinacije unutrašnjih organa (srce, pluća, jetra itd), što je rastojanje koje se savladava jednim cikličnim kretanjem veće.



Sl. 66 Grafički prikaz puta kod jednako ubranog kretanja (površina trougla)

Svaki ciklus cikličnog kretanja se u odnosu na aktivnost deli na aktivni period (period odupiranja kod hodanja, trčanja, klizanja, koturanja, smučanja; propulzivni period kod plivanja, veslanja itd.) i na period pripremanja za akciju (period zamaha kod hodanja, trčanja; period klizanja kod klizanja, smučanja; period kotrljanja kod koturanja; retropulzivni period kod plivanja, veslanja itd.). Svaki period se

dalje, radi sadržajnije analize kretanja, deli na faze. Tako se na primer kod hodanja period odupiranja deli na fazu zadnjeg odupiranja i na fazu prednjeg oslonca. Razgraničenje između ovih dveju faza se vrši u trenutku vertikalne stajne noge, tj. u trenutku kada se težište tela nalazi vertikalno iznad centra oslonca. Period zamaha se deli na fazu zadnjeg zamaha i na fazu prednjeg zamaha. Ove su faze odvojene trenutkom vertikalne slobodne noge, tj. u trenutku kada se težište zamajne noge nalazi vertikalno ispod centra zgloba kuka zamajne noge.



Sl. 67 Grafički prikaz puta kod jednako ubranog kretanja sa početnom brzinom (zbir površina paralelograma i trougla)

Aciklična kretanja spadaju u drugu grupu složenih kretanja. Za vreme izvođenja acikličnih (jednoaktnih) kretanja, pokreti se ne ponavljaju kao u slučaju cikličnih kretanja, nego se mogu ponoviti slični pokreti ali sa drugom namenom, sa raznim brzinama i u različitim ravnima,



Sl. 68 Grafički prikaz puta kod jednako usporenog kretanja sa početnom brzinom (razlika površina paralelograma i trougla)

kao što je slučaj kod troskoka, bacanja kladiva, pirueta i sl. U aciklična kretanja spadaju skokovi, bacanja, preskoci, smučarski i klizački likovi, vežbe na spravama itd. Svako jednoaktno kretanje se radi pojednostavljenja, analize kretanja, deli na odgovarajuće faze. Tako se skokovi dele na pripremnu fazu, fazu odraza, fazu leta i fazu doskoka. Bacanja se dele na pripremnu fazu, fazu prestizanja sprave, fazu maksimalnog napona i fazu održavanja ravnoteže. Složenija kretanja, kao što su preskoci preko gimnastičkih sprava, dele se na više faza (faza zaleta, faza pripreme za odraz, faza prvog odraza, faza prvog leta faza drugog odraza, faza drugog leta i faza doskoka).

Karakteristično za aciklična kretanja je celina kretanja koje ima svoj početak i svoj završetak, bez tendencije ponavljanja pokreta.

Jednoaktna se kretanja primenjuju tamo gde se želi sa relativno malim utroškom energije postići veća brzina kretanja odnosno domet sopstvenog tela ili određene sprave (skokovi, bacanja), ili pak da se izvede složeno kretanje sa strogo određenom formom (skokovi u vodu, figure na tlu, vežbe na spravama i sl.).

Ukoliko se za vreme izvođenja jednog acikličnog kretanja pojavi greška u tehnici izvođenja, onda se postiže slab rezultat ili se aciklično kretanje ne može potpuno izvesti.

Valja pomenuti da su kretanja, koja su izvedena neposredno pomoću unutrašnjih sila, gde je jedan kraj poluge pričvršćen u zglobu a drugi je pokretan, po pravilu krivolinijska kretanja. Mišićnim se silama ne može izvesti pravolinijsko kretanje, ali se može nizom krivolinijskih kretanja dati jednom telu pravolinijski smisao kretanja.

PRAVOLINIJSKA KRETANJA

Jednostavnom mišićnom kontrakcijom je nemoguće pomeriti pokretni mišićni pripoj najkraćim putem, tj. pravolinijski. Pravolinijsko kretanje bi se moglo uspostaviti samo složenim mišićnim dejstvom, kada je rezultanta svih dejstvjućih mišićnih sila usmerena vertikalno u antigravitacionom smeru. Ukoliko bi rezultanta sa vertikalom zatvarala ugao, onda bi sila teže u fazi leta dejstvovala tako da kretanje težišta tela ne bi bilo pravolinijsko. Pravolinijsko kretanje, u uslovima gravitacionog dejstva, može se uspostaviti samo po pravcu vertikale, u jednom i u drugom smeru. Pravolinijska kretanja su vertikalni hitac i slobodan pad.

KRIVOLINIJSKA KRETANJA

U složenim kretanjima čoveka impulsi sile se najčešće saopštavaju pod određenim uglom u odnosu na vertikalnu, tako da će dejstvo sile teže biti uvek pod uglom na pravac impulsa sile. Kretanje koje nastaje je složeno kretanje. Na težište tela ili sistema više delova dejstvuje sila koja proizvodi jednako kretanje (impuls sile), ako se posmatra jedno kretanje u uslovima bez otpora vazduha, i sila koja proizvodi jednako ubrzano kretanje (sila teže). Slaganjem ta dva kretanja dobije se krivolinijsko kretanje. U krivolinijska kretanja materijalne tačke se ubrajaju horizontalni i kosi hitac.

CENTRALNA KRETANJA

Ako na jedno telo dejstvuje jedna sila koja proizvodi jednoliko kretanje, a istovremeno na to telo dejstvuje i druga sila koja proizvodi nejednoliko kretanje, a

smer dejstva jedne sile se nalazi pod uglom u odnosu na smer dejstva druge sile, nastaje složeno kretanje. Iako na jedno telo dejstvuju istovremeno dve sile koje proizvode dva pravolinijska kretanja, ali zbog toga što dejstvuju međusobno pod uglom i zbog toga što je jedno kretanje jednoliko a drugo nejednoliko, složeno kretanje, koje je posledica ovakvog dejstva, će biti krivolinijsko. Kod krivolinijskog kretanja brzina u svakoj tački kretanja ima pravac tangente na putanju a smer kretanja je u smeru porasta luka na krivoj liniji, tj. u smeru, u kome bi tačka nastavila pravolinijsko i jednoliko kretanje, ako bi na nju prestale da dejstvuju sile.

Najprostije krivolinijsko kretanje je kružno kretanje. Ako je brzina kretanja po kružnoj putanji konstantna, onda se to kretanje zove jednoliko kružno, ili centralno kretanje. Ako se vrednost brzine kretanja menja u jedinici vremena, onda je to nejednoliko kružno kretanje, koje može biti ubrzano ili usporeno.

Obrasci izvedeni za pravolinijska kretanja se primenjuju i kod centralnih kretanja, s tom razlikom, što se kod centralnih kretanja uvode novi pojmovi, kao što su uglovna brzina i uglovno ubrzanje.

OSCILACIJE

U složenim kretanjima čoveka najčešća značajna oscilovanja se sreću u slučajevima kada se telo ili sistem više tela nalazi fiksiran za nepokretnu tačku, tako da se može vršiti kretanje pi principu klata.

7. DINAMIKA LOKOMOTORNOG APARATA

✧ NJUTNOVI ZAKONI, PODELA SILA I UNUTRAŠNJE SILE

Predmet mehanike su sile i uticaji sile. Ona se odnosi na silu mišića, kostiju i njihovih veza sa spoljašnjim opterećenjima. Praktično, takva opterećenja ili sile mogu biti posledica sile teže koja deluje na delove tela, ali mogu biti posledica suprotstavljanja sili teže određenog dela tela.

Postoji mnogo primera u praksi. Mišićni test zavisi od umešnosti trenera ili profesora da primeni različite testove snage kako bi odredio sposobnost sportiste ili učenika da se suprotstavi silama. Spoljašnje sile se primenjuju i u strečing vežbama. Sportista ili učenik može nositi odgovarajuća opterećenja, može se pomagati dodatnim spravama ili se pridržavati za njih.

Treneru ili profesoru je potreban tačan broj svih sila sa kojima radi (koje postoje). On prepoznaje značaj (uticaj) takvih faktora kao što su poluge, težišta tela i delova tela i njihov odnos prema tački oslonca, položaju tela i pokretu. Međutim, trener - profesor će biti najefikasniji, a posao će mu biti interesantniji ako bude jasno razumeo principe mehanike koji se pojavljuju u njegovom poslu.

Ceo predmet mehanike obuhvata dve osnovne oblasti:

1. *Statika*, koja se bavi proučavanjem tela u mirovanju ili u

ravnoteži kao rezultat dejstva spoljašnjih sila

2. *Dinamika*, koja se bavi proučavanjem tela u pokretu. Dinamika se dalje može podeliti na kinematiku i kinetiku.

Kinematika je nauka o kretanju pošto se ona bavi promenom položaja, brzinama i ubrzanjima u svim oblicima kretanja. Ona se ne bavi silama koje učestvuju (u nekom pokretu) već samo opisivanjem kretanja. Kinetika se bavi telima u pokretu i silama koje učestvuju u kretanju. Kao primer, Eberhart i saradnici, su u njihovoj diskusiji o ljudskoj lokomociji, radili prvo sa kinematikom kretanja i opisali promene mesta segmenata tela u tri glavna plana, obuhvatajući fleksiju i ekstenziju buta i noge, rotaciju karlice, itd. Zatim su razmotrili kinetiku kretanja, analizirali snage mišića kao i silu gravitacije i silu reakcije podloge, sve koje su neophodne za pogon tela i kontrolu segmentalnih premeštanja.

Osnovni zakoni koji učestvuju u oblasti statike, kinematike i kinetike su formulisani početkom osamnaestog veka. Njih je formulisao engleski matematičar Isak Njutn. Principi (zakoni) su veoma jednostavni i mogu se odmah razumeti ali njihova primena za rešavanje problema može biti veoma teška. Da bi uprostiti pristup problemima, pronađen je poseban metod.

U statici je sila definisana kao vektor, odnosno kao uzrok, koji može da promeni stanje mirovanja ili kretanja tela. U statici je sila uzeta kao osnovni element i ne vodi se računa o samoj materijalnosti tela. Međutim uvođenjem osnovnih jedinica dužine, vremena i mase, izraženi su i osnovni pojmovi o prostornim oblicima, o materijalnosti tela i o vremenu u kome se navedene promene dešavaju.

U dinamici se prema navedenom, sila

ne uzima kao osnovni element, nego se definiše pomoću navedenih elemenata (prostor-masa-vreme). Definicija sile u dinamici je data u čuvenom delu I. Njutna "Matematički principi prirodne filozofije" u obliku tri aksioma.

Prvi aksiom: Svako telo ostaje u stanju mirovanja ili jednolikog i pravolinijskog kretanja dok pod dejstvom sila ne bude prinuđeno da to svoje stanje promeni.

U prvom Njutnovom zakonu, koji je deo definicije sile, ukazuje se na mogućnost postojanja sile. Ovaj se aksiom naziva princip inercije. Galilej je još pre Njutna (1610. god.), došao do zaključka da se tela kreću pod uticajem sila. Da bi se neko telo pokrenulo iz stanja mirovanja, ili da bi se stanje kretanja promenilo, na to telo treba dejstvovati silom. Uzrok, zbog koga telo miruje ili se kreće pravolinijski i konstantnom brzinom, Galilej je nazvao inercijom. Na osnovu toga se inercija shvata kao otpor promeni stanja mirovanja ili kretanja, koji potiče od materijalnosti tela.

Sva su tela inertna, ali nisu podjednako inertna. Eksperimentima je dokazano da je inercija zavisna od materijalnosti tela, i to direktno proporcionalno. Što je veća masa neke materije, tim je inertnost te materije veća. U dinamici se pojam mase uzima kao mera inercije tela.

Prilikom svojih eksperimenata, Galilej je zapazio da jedna određena sila saopštava određenom telu uvek isto ubrzanje. Na osnovu ovih Galilejevih ispitivanja Njutn je postavio svoj drugi zakon kretanja.

Drugi zakon: Promena kretanja je proporcionalna sili koja dejstvuje na telo i vrši se u pravcu sile.

Drugi Njutnov aksiom se naziva još i princip ekvivalencije i na osnovu njega je Dalamber (d'Alembert) izveo svoj poznati princip.

Pod promenom kretanja se podrazumeva proizvod mase i ubrzanja (m, a), što se identifikuje kao sila (F). Prema tome, sila je definisana proizvodom mase (skalara) i ubrzanja (vektora), pa i sama sila se predstavlja kao vektor, čiji se smer poklapa sa smerom ubrzanja.

Pošto je sila uzrok promeni stanja kretanja tela, odnosno uzrok postojanju ubrzanja, a masa mera inercije tela, između mase i sile mora da postoji određeni odnos, koji se izražava jednačinom:

$$F = m \times a$$

što znači da je proizvoljna sila (F) uvek jednaka proizvodu mase (m) i ubrzanja (a), koje je saopšteno dotičnoj masi usled dejstva sile.

Iz navedenog izraza proizilazi da je sila srazmerna masi i ubrzanju i da se meri njihovim proizvodom. Taj izraz je osnovna jednačina dinamike. Po ovom se principu vrše sva kretanja. Na bazi ovog principa se mogu upoređivati mase (dve mase će biti jednake ako im ista sila, pod istim uslovima, saopštava jednako ubrzanje).

U ovom drugom Njutnovom aksiomu sadržan je i prvi aksiom - princip inercije. Ako je ubrzanje jednog tela jednako nuli, onda iz osnovne jednačine dinamike - pošto masa ne može biti jednaka nuli - proizilazi da je sila (F) jednaka nuli. A kada je ubrzanje jednog tela jednako nuli, onda je brzina kretanja stalna i telo će se kretati pravolinijski jednolikom brzinom, sve dok drugom silom ne bude prinuđeno da to svoje stanje promeni.

Sila (F) je aktivna sila, a promena kretanja predstavlja silu, po veličini jednaku aktivnoj sili, samo sa suprotnim smerom, i naziva se inercijalnom silom. Na osnovu te jednačine je Dalamber izveo svoj čuveni princip da je zbir aktivne i inercijalne sile jednak nuli:

$$F + (m \times a) = 0$$

odnosno da aktivna sila i inercijalna sila u toku kretanja stoje u ravnotežnom odnosu. Pomoću Dalamberovog principa svaki dinamički problem se može svesti na statički problem, koji ispituje ravnotežu sila pri kretanju.

U prirodi postoje uzajamna dejstva pojedinih tela. Ako prvo telo dejstvuje na drugo, može se reći da i drugo dejstvuje na prvo. Njutn je ovo pravilo izrazio u svom trećem principu.

Treći aksiom: Dejstvu (akciji) je uvek jednako protivdejstvo (reakcija) ili dejstva dvaju tela jednog na drugo uvek su jednaka i suprotno su usmerena.

Treći Njutnov zakon se naziva zakon akcije i reakcije i njime se dopunjuje prvi Njutnov zakon. Da bi postojala sila, mora postojati i izvor sile, odnosno neko telo koje dejstvuje tom silom. Treći Njutnov princip dovodi do novog pojma - težine tela. Planeta Zemlja privlači sva tela, bez obzira na mase tih tela, prema svom središtu istim ubrzanjem. To ubrzanje sile zemljine teže (g) iznosi nešto manje od deset metara u sekundi. Na geografskoj širini 45° ono iznosi $980,62 \text{ cm/s}^2$.

Kao i svaka sila, težina tela (G) se može izračunati. Izražava proizvodom mase i ubrzanja sile teže:

$$G = m \times g$$

odnosno, masa kao mera inercije tela se može izraziti:

$$m = G/g$$

Njutnovim aksiomima se tačno definiše sila. Principom inercije se pokazuje mogućnost postojanja sile, principom ekvivalencije se ukazuje na mogućnost merenja odnosno upoređivanja sile, a principom akcije i reakcije se ukazuje na

izvor sile, bez koga sila ne može da postoji.

Podela sila se može izvršiti na više načina, zavisno od toga šta je u datom trenutku aktuelno. Sile se mogu podeliti na aktivne i pasivne. Ako se kretanje vrši u smeru dejstva jedne sile, a samo kretanje je posledica dejstva te sile, takva sila je aktivna sila, pošto se pod njenim dejstvom vrši kretanje. Kada se kretanje vrši u smeru suprotnom od dejstva jedne sile, koja nije dovoljno velika po intenzitetu u odnosu na aktivnu silu, koja diktira smer kretanja, tada se takva sila naziva pasivnom silom, koja utiče na brzinu kretanja ali ne i na smer. Ako se iz čučućeg položaja vrši uspravljanje do uspravnog stava, onda je sila mišića aktivna sila, pošto se kretanje vrši u smeru njenog dejstva, dok je sila teže pasivna sila, koja teži da izvrši kretanje u suprotnom smeru, ali se takvo kretanje ne ostvaruje, pošto je intenzitet sile mišića veći od intenziteta sile teže. Ako se iz stava vrši spuštanje u čučuću položaj, onda je sila teže aktivna sila, jer se kretanje vrši u smeru njenog dejstva, dok je realizovana sila mišića pasivna sila koja dejstvuje u suprotnom smeru, ali se kretanje ne vrši u smeru dejstva mišića, pošto je sila teže po intenzitetu veća od sile mišića, čiji se intenzitet može određivati po želji relativno velikim rasponom.

U analizi složenih kretanja čoveka, gde je sila mišića osnovna sila kojom se reguliše kretanje čovečijeg tela, sile se dele na unutrašnje i spoljašnje. Spoljašnje sile, sa kojima se za vreme kretanja čoveka mora računati su: sila teže, sila otpora sredine (otpor vazduha, otpor vode), sila reakcije čvrste podloge (sila teže), sila inercije, sila elasticiteta, reaktivne sile, aerodinamične sile i dr. Jedina unutrašnja sila sa gledišta biomehanike je sila mišića, postignuta mišićnom kontrakcijom. Valja napomenuti da se posredno, pomoću mišićne kontrakcije mogu izazvati elastične

sile kako distrahiranih antagonista, tako i mišićnih tetiva, ligamenata i zglobnih čaura. Iako se te sile javljaju unutar aparata za kretanje, one ne mogu biti kategorisane kao unutrašnje sile, pošto nemaju kontraktivne karakteristike, a i pošto su posredna posledica dejstva drugih sila.

Reč je o sistemu sila ako na jedno telo dejstvuju više sila ođednom. Ako navedene sile dejstvuju u jednoj ravni onda je to ravan sistem, a ako dejstvuju u sve tri dimenzije, onda je to prostoran sistem. Ako sve sile dejstvuju duž iste napadne linije, bez obzira na smer dejstva, one obrazuju sistem kolinearnih sila. Ako su sve sile međusobno paralelne, onda je to sistem paralelnih sila. Sistem paralelnih sila može da dejstvuje u ravni i u prostoru.

1. POJAM I ZNAČAJ PREDMETA	1
RAZVOJ "NAUKE O POKRETU"	2
BIOMEHANIČKI PRINCIPI I METODE ISTRAŽIVANJA	3
2. KOSTI I ZGLOBOVI	6
MEHANIČKE OSOBINE KOSTIJU	9
ZGLOBOVI	10
VRSTE POKRETA U ZGLOBOVIMA	12
MEHANIČKE OSOBINE ZGLOBOVA	13
3. MIŠIĆI	15
VRSTE MIŠIĆA	17
FUNKCIONALNE KARAKTERISTIKE MIŠIĆA	18
MIŠIĆNA SILA KAO VEKTOR	20
OBLIK I VRSTE MIŠIĆNE KONTRAKCIJE	21
RAD MIŠIĆA	24
OBRTNI MOMENT SILE MIŠIĆA	24
ZAMOR MIŠIĆA	26
DEJSTVO MIŠIĆA U PRIRODNIM USLOVIMA	27
4. OSNOVNI POKRETI	28
SISTEMI POLUGA	33
KINETIČKI LANCI	34
5. BIOMEHANIKA LOKOMOTORNOG SISTEMA ČOVEKA	41
TEŽIŠTE, POVRŠINA OSLOMCA I STABILNOST TELA	42
RAVNOTEŽNI POLOŽAJI	46
USPOSTAVLJANJE KRETANJA	49
6. KINEMATIKA LOKOMOTORNOG APARATA	55
KINEMATIČKE METODE ISTRAŽIVANJA	55
OSNOVNE KINEMATIČKE ŠEME SLOŽENIH POKRETA	55
OPŠTA PODELA SLOŽENIH KRETANJA	57
PRAVOLINIJSKA KRETANJA	59
KRIVOLINIJSKA KRETANJA	59
CENTRALNA KRETANJA	59
OSCILACIJE	60
7. DINAMIKA LOKOMOTORNOG APARATA	60
