

**ZAVISNOST SILE MIŠIČA OD  
REŽIMA RADA I STANJA  
MIŠIČA**

---

# Ekstrafuzalna i intrafuzalna mišićna vlakna

- Spoljašnja sila u vidu spoljnog tereta ili težine segmenata tijela na krajevima mišićnih pripoja definiše odgovarajuće unutrašnje opterećenje koje direktno mijenja i dužinu mišića.
- Ta sila proporcionalno utiče i na promjenu dužine ekstrafuzalnog mišićnog vlakna (ekstrafuzalna mišićna vlakna izazivaju skraćenje mišića, dok intrafuzalna obezbjeđuju informaciju o stanju mišića i nalaze se između ekstrafuzalnih vlakana)
- Ovu serijsku vezu redosleda događaja prati paralelna veza redosleda u kojoj promjene u mišićnoj dužini utiču na senzacije u tzv. intrafuzalnim vlaknima.

- Pojava mišićne sile u ektrafuzalnom vlaknu direktno se prenosi na tetive, čiji se tetivni organ pobuđuje kao refleksija - odraz na promjenu tonusa u samom mišiću.
- Intrafuzalna vlakna kao receptorni aparat mišićnog vretena i tetivni organ kao receptorni aparat serijski vezanog tetivnog aparata suprotno utiču na stimulaciju osnovnih modulatora mišićne sile tzv. a-motornih neurona.
- Pobuđena intrafuzalna vlakna, takođe, pobuđuju  $\alpha$ -motoneurone i taj stimulus je označen sa + oznakom, dok pobuđeni tetivni organ utiče suprotno, tj. na kočenje pobuđivanja (inhibira)  $\alpha$ -motoneurona, čime se ostvaruje djelimični balans - zaštita od preopterećenog mišićnog skraćanja.



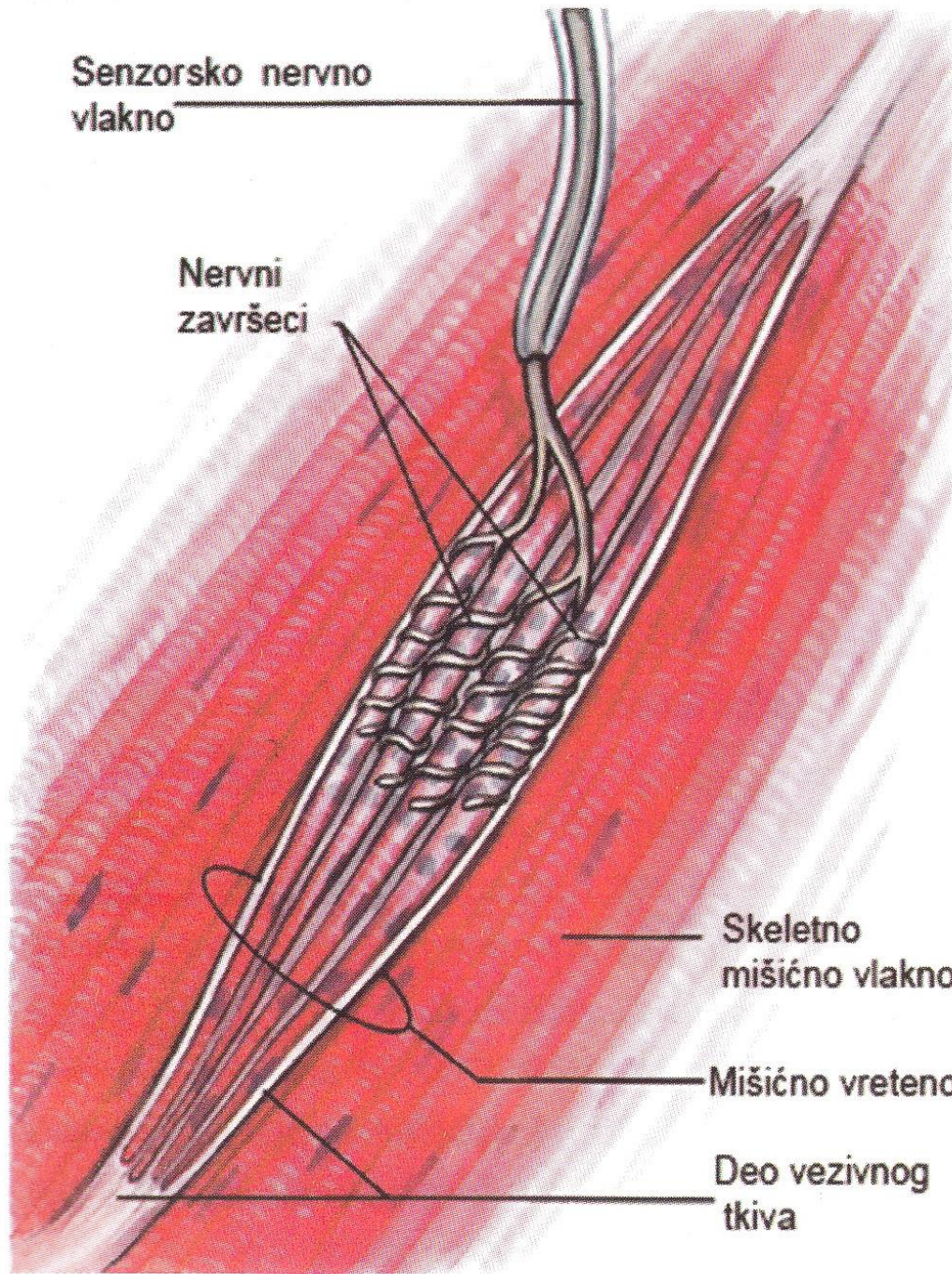
Senzorsko nervno  
vlakno

Nervni  
završeci

Skeletno  
mišićno vlakno

Mišićno vreteno

Deo vezivnog  
tkiva





# Aktivno i pasivno stanje i režim rada mišića

- Mehaničke osobine mišića najviše zavise od stepena njegove aktivacije izazvane eferentnim nervnim impulsima.
- Zbog toga se, u opštem slučaju, može govoriti o aktivnom i pasivnom stanju mišića.
- U prvom slučaju mišić je do izvjesnog stepena aktiviran nervnim impulsima, dok u drugom slučaju (sa izuzetkom minimalne nervne aktivnosti odgovorne za mišićni tonus) njih nema.
- Uz to, pošto stepen njegove aktivacije može da varira u širokim granicama, može se govoriti i o maksimalnoj aktivaciji mišića, kada je stepen nervne ekscitatorne aktivnosti maksimalan.

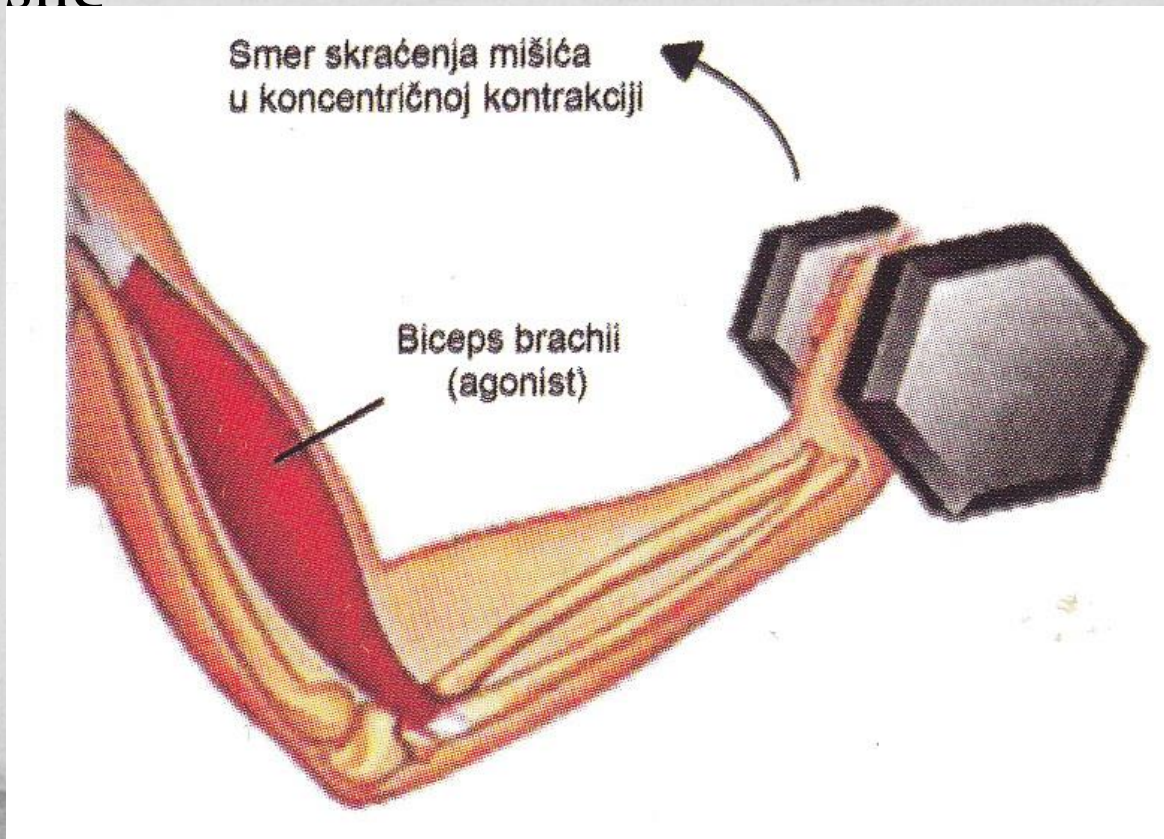
- Pošto se biomehanika čovjekovog kretanja pretežno bavi voljnim pokretima, ovaj slučaj se obično naziva maksimalnom voljnom aktivacijom, koja dovodi do maksimalne voljne kontrakcije.
- Kada se govori o maksimalnoj voljnoj aktivaciji, treba imati na umu da nervni sistem može istovremeno da aktivira samo dio motornih jedinica mišića, kao i da je frekvencija njihovih eferentnih impulsa manja od one koja izaziva maksimalnu tetaničku kontrakciju.



- Osim toga, maksimalna voljna aktivacija zavisi i od uslova u kojima djeluju mišići.
- Mišićna sila, snaga, rad i dr. mogu vježbanjem povećati, ne samo na račun pramena u samom mišiću, već i na račun povećanja maksimalne voljne aktivacije mišića.
- Zbog toga se kaže da efekti treninga imaju mišićnu i neuralnu komponentu treninga.
- Generalno, smatra se da je kod netreniranih osoba povećanje mišićne sile ili snage tokom prvih nekoliko nedjelja intenzivnog vježbanja izazvano neuralnom komponentom treninga (povećanjem maksimalne voljne aktivacije), a nakon toga pretežno mišićnom komponentom treninga (povećanjem fiziološkog poprečnog preseka ili funkcionalnim promjenama mišićnih ćelija).

# Tri osnovna režima rada mišića:

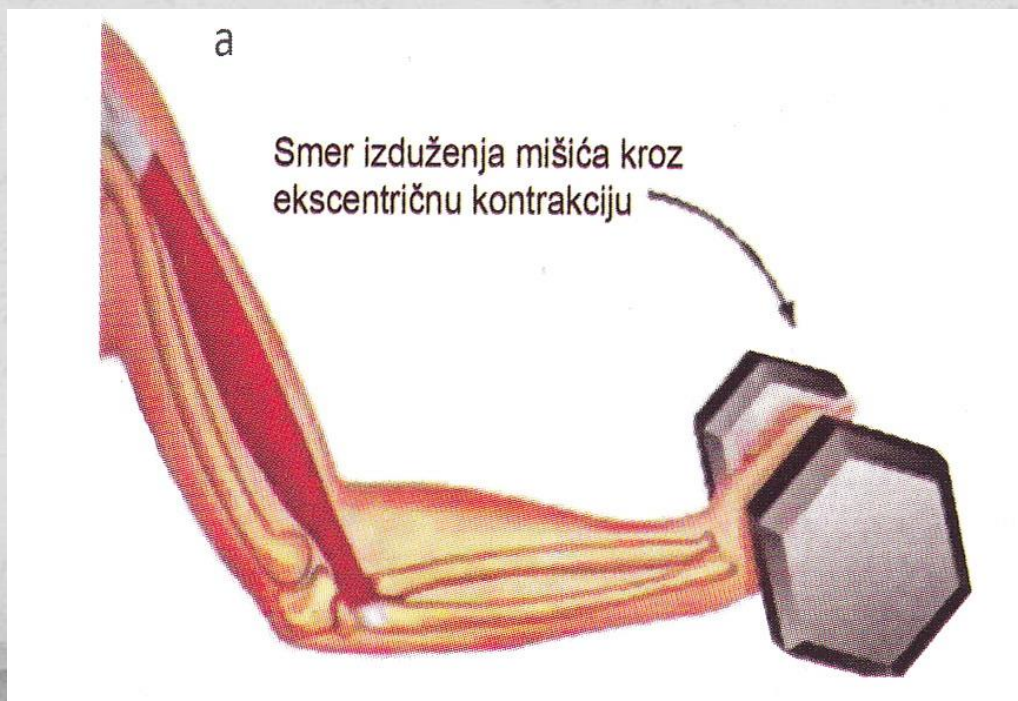
- **Koncentrična kontrakcija**
- -mišić se skraćuje, tj. pokret se vrši u smjeru djelovanja njegove sile





# Ekscentrična kontrakcija

- mišić se izdužuje, jer preovlađuju druge sile koje djeluju u suprotnom smjeru od smjera djelovanja mišića



# Izometrijska kontrakcija

- mišić ne mijenja dužinu, jer je njegova sila kompenzovana silama suprotnog smjera, pa zbog toga nema pokreta.





- I kod koncentrične i kod ekscentrične kontrakcije imamo određeni rezultat djelovanja mišića koji je vidljiv golim okom i koji nam pomaže da razumijemo šta se tu u stvari događa. Imajući u vidu gore pomenuto da mišići jednim dijelom svoju silu ispoljavaju promjenom svoje dužine, a pošto u ovom slučaju nemamo promjenu dužine, možemo zaključiti da mišić svoju silu ispoljava samo povećanom aktivacijom, tačnije, povećanjem svog tonusa.
- Zapravo, napetost u mišiću raste sve do nivoa koji je potreban da bi se mišić suprotstavio spoljnom opterećenju.

- Postoje različiti primjeri za režime rada mišića.
- Na primjer, prilikom podizanja tijela u zgib na vratilu, ekstenzori u zglobu ramena i fleksori u zglobu lakta djeluju u režimu koncentrične kontrakcije, a pri njegovom spuštanju u režimu ekscentrične kontrakcije.
- Naime, u prvom slučaju njihova sila savladava gravitacionu silu (tj. težinu tijela) i zbog toga se oni skraćuju, a u drugom ih dejstvo gravitacione sile izdužuje, jer u ovom slučaju mišićna sila samo usporava brzinu spuštanja tijela.



- Režim izometrijske kontrakcije se, prije svega, javlja u različitim stavovima, izdržajima i, uopšte, u statičkim uslovima.
- S druge strane, u većini cikličnih kretanja (trčanje, hodanje, vožnja bicikla, itd.) mišići naizmjenično prelaze iz režima ekscentrične u režim koncentrične kontrakcije i obrnuto, a izometrijski režim postoji samo u trenucima ovih prelaza.
- Važno je pomenuti i da u ovim kretanjima mišići naizmjenično prelaze iz aktivnog u pasivno stanje i obrnuto.

# Uticaj režima rada mišića na njegovu silu

- Sila koju mišić razvija na svojim pripojima tj. mišićna sila ne nastaje kao posljedica jednog jedinog fiziološkog procesa ili mehaničkog fenomena, već kao rezultat sabiranja više nezavisnih komponenti.
- Za razumijevanje mehaničkih osobina mišića važno je razumjeti osobine tih komponenti.
- Pored toga, sile koje ove komponente razvijaju se razlikuju, kako po svojoj zavisnosti od režima kontrakcije i stepena aktivnosti mišića, tako i po svojoj anatomskoj lokaciji.



# Komponente mišićne sile

- **1. Aktivna komponenta mišićne sile** nastaje kao rezultat interakcije aktinskih i miozinskih niti (filamenata mišićnog vlakna) i intenzitet joj linearno raste sa brojem njihovih međusobnih kontakata.
- Prema tome, ona nastaje u mišićnim vlaknima, a ime je dobila po tome što se razvije samo u aktivnom stanju mišića.
- Slika aktivacije mišića upravo ilustruje mehanizam razvijanja sile aktivne komponente pod dejstvom njene aktivacije.
- Veoma je važno zapaziti da, nezavisno od režima mišićnog rada, aktivna komponenta djeluje isključivo u smislu skraćanja mišića.

# *Pasivna komponenta mišićne sile*

- potiče od svojstava vezivno-potpornog tkiva mišića koje se opire prekomjernom izduživanju.
- Locirana je kako unutar samog mišića, tako i u mišićnim fascijama i tetivama.
- Zbog toga se ova sila javlja samo pri većim dužinama mišića (približno tek pri srednjim dužinama), dok pri manjim može da se zanemari. S druge strane, pri maksimalnim dužinama mišića pasivna komponenta može da bude znatno veća i od aktivne komponente pri maksimalnoj voljnoj aktivaciji i da, u nekim slučajevima, izazove oštećenje, ili čak prekidanje mišića i tetiva.
- Često se kaže da čovjek može da savlada daleko manje sile nego što može da ih održi. I ova komponenta djeluje samo u smislu skraćivanja mišića. Izrazito se povećava sa brzim uvećavanjem dužine u završnim amplitudama kada postoji izražena interakcija viskozne i pasivne komponente.



## *Viskozna komponenta mišićne sile*

- nastaje kao posledica viskozni svojstava mišica i kao i aktivna komponenta, locirana je u mišićnim vlaknima.
- Naime, mišićno tkivo se u izvjesnom smislu ponaša kao fluid, jer se pri međusobnom klizanju aktinskih i mizinskih filamenata javlja unutrašnje trenje.
- Zbog toga se mišić suprotstavlja promjeni svog oblika unutrašnjom mehaničkom silom (u ovom slučaju suprotstavlja se promjeni dužine mišića).
- Iz navedenog sledi da će viskozna komponenta mišićne sile postojati samo ako se dužina mišića mijenja (tj. u režimu koncentrične i ekscentrične kontrakcije), i da će se povećavati sa povećanjem brzine mišićnog skraćivanja i izduživanja. Pod viskoznošću (ili unutrašnjim trenjem) u mehanici se podrazumijeva trenje u unutrašnjosti fluida.
- Da bi se razumijela ova pojava, važno je pomenuti da viskozna sila zavisi od brzine proticanja fluida, odnosno, u ovom slučaju, od brzine promjene dužine mišića.

- Osim toga, za razliku od prethodne dvije komponente sile, viskozna komponenta može da djeluje u oba smjera.
- Ako neka spoljna sila izdužuje mišić, ona se tome opire i djeluje u smjeru skraćivanja, a ako se mišić pod dejstvom aktivne i/ili pasivne komponente skraćuje, viskozna komponenta se opet tome opire i djeluje silom u smjeru izduživanja.



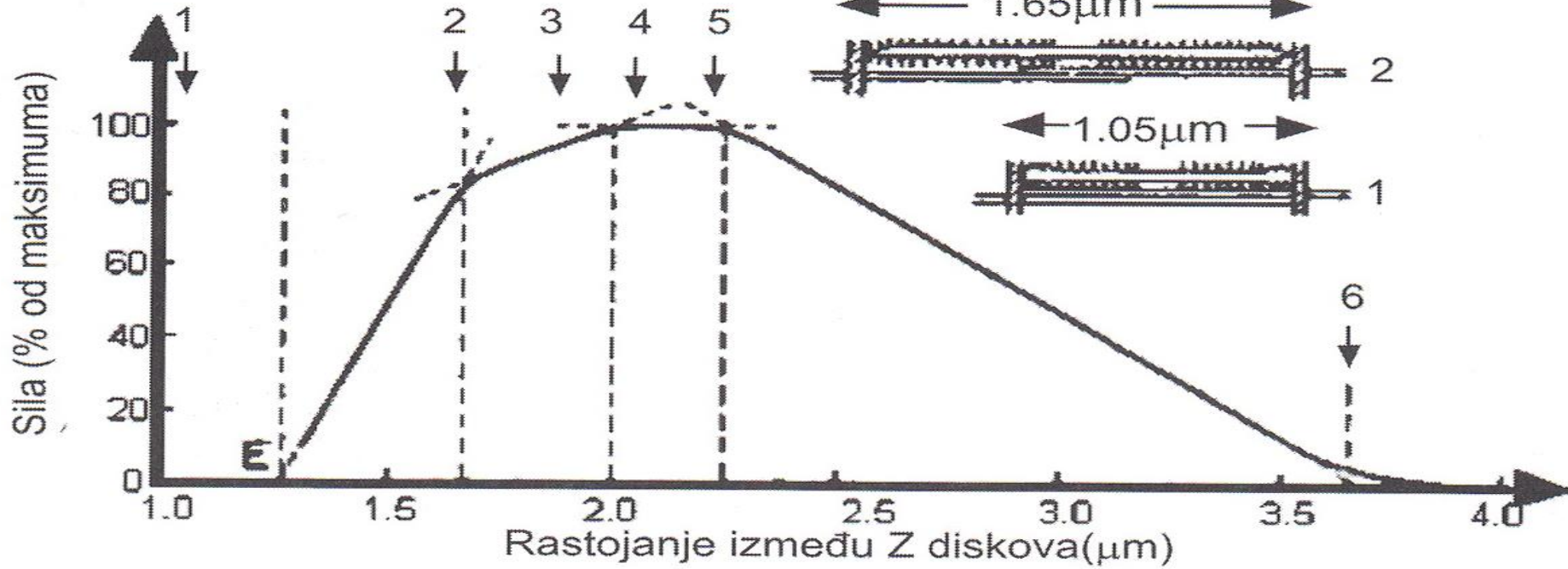
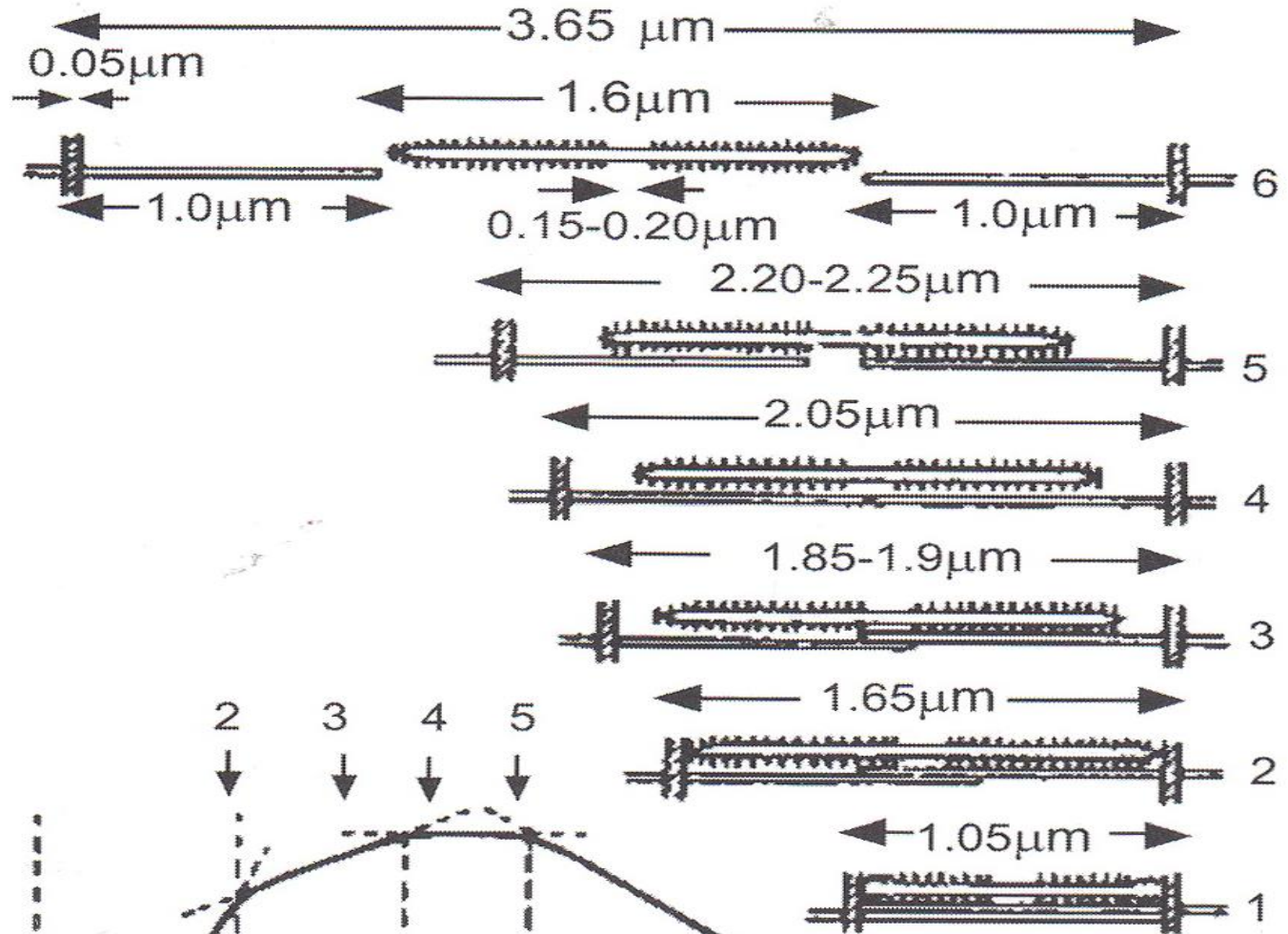
# *Zavisnost sile mišića od njegove dužine, relacija sila-dužina*

- U prethodnom razmatranju bilo je riječi samo o maksimalnoj izometrijskoj sili koju mišić razvija pri svojoj srednjoj ili nekoj drugoj zadatoj dužini.
- Međutim, pri pokretima se dužina mišića mijenja i, kako je to pokazano u svim eksperimentima, te promjene utiču na njegovu silu.
- Eksperimenti su pokazali da skeletni mišić može da se skрати ili izduži za  $\frac{1}{3}$  svoje srednje fiziološke dužine. To znači da je odnos minimalne i maksimalne dužine mišića (ne računajući tetive) 1:2. Ovo važi za vretenaste mišiće, dok je za peraste taj odnos nešto manji.

- Kada na tijelo ili neke njegove segmente ne djeluju spoljašnje i unutrašnje sile (ili kada su one kompenzovane, na primjer pri opuštenom položaju tijela koje „lebdi” u vodi) zglobovi se spontano postavljaju u tzv. fiziološki položaj.
- Momenti mišićnih sila koje, ipak, postoje zahvaljujući tonusu i vezivnom tkivu mišića su u njemu izjednačeni, pa se dužina mišića u tom položaju naziva srednjom fiziološkom dužinom.



- Zavisnost sile od dužine mišića pokazuje veoma slično ponašanje za slične mišiće, naziva se relacijom sila - dužina.
- Važno je primijetiti da aktivna komponenta mišićne sile pri istom stepenu aktivacije razvija najveću silu pri srednjoj dužini mišića.
- Ta pojava se objašnjava optimalnom interakcijom aktinskih i miozinskih filamenata i veličina tog svojstva određuje veličinu aktivnu komponenta mišićne sile.



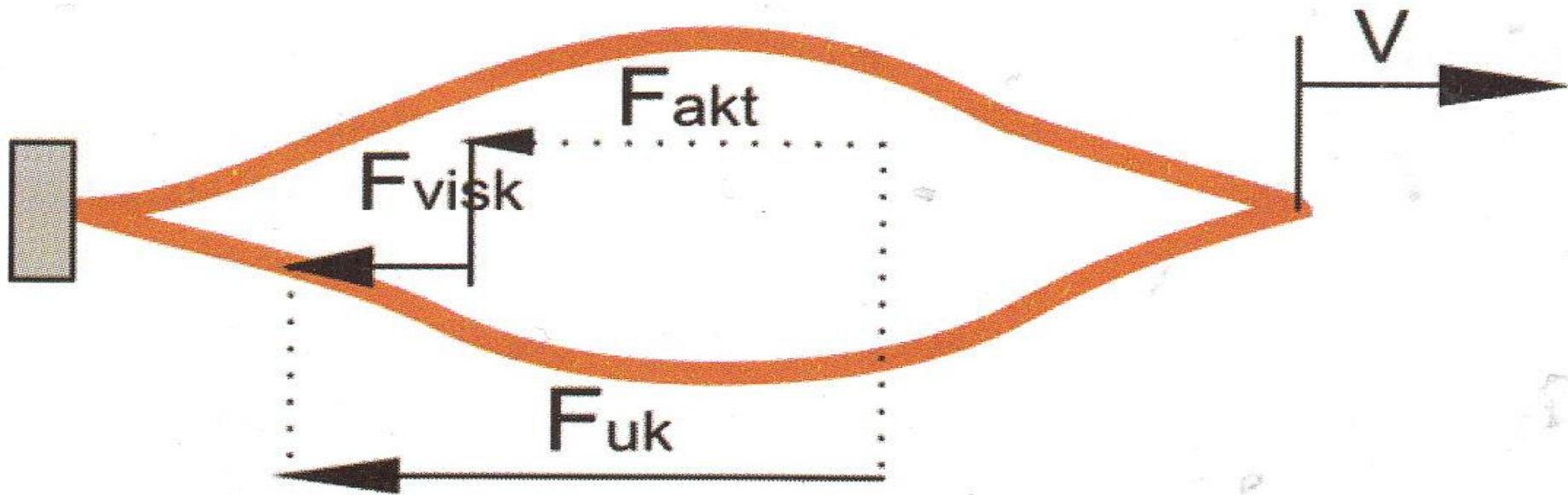
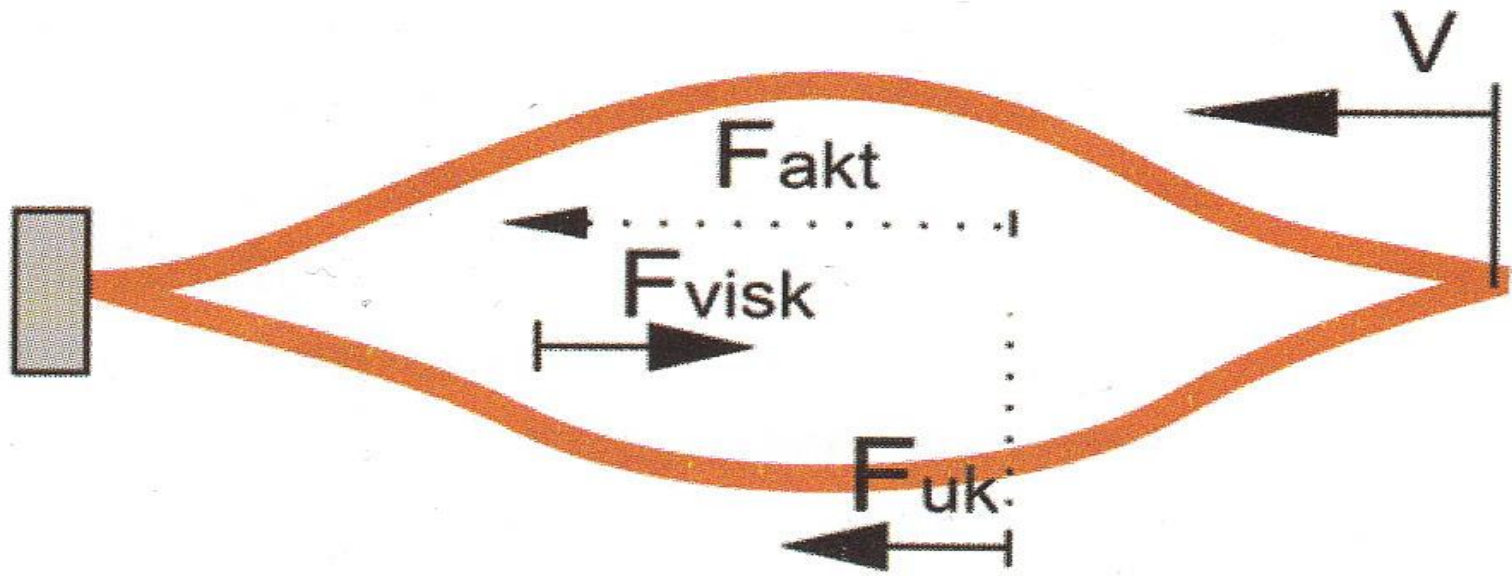


# Zavisnost sile mišića od brzine njegovog skraćanja, relacija sila - brzina

- Drugi, možda najvažniji i u literaturi najčešće pominjani mehanički faktor od koga zavisi mišićna sila, jeste brzina skraćanja mišića.
- Uzrok tome je već pomenuta viskozna komponenta mišićne sile kojom se on suprotstavlja promjeni svoje dužine.
- Smjer dejstva viskozne komponente je uvijek suprotan smeru promjene mišićne dužine, a intenzitet sile ove komponente raste s brzinom promjene dužine mišića.
- Na osnovu navedenog odmah se može donjeti zaključak od fundamentalnog značaja za biomehaniku mišićne kontrakcije, ali i za analizu pokreta.

- Pošto i aktivna i *pasivna komponenta mišićne sile djeluju isključivo u smjeru skraćenja mišića*, a viskozna komponenta uvijek suprotno smjeru promjene dužine, može se pokazati da je mišićna sila pri ekscentričnoj kontrakciji veća nego pri koncentričnoj usled istog smjera svih komponenti.
- Osim toga, navedena razlika će se povećavati s povećanjem brzine izduženja, odnosno, skraćenja mišića.
- Ovaj zaključak važi pri konstantnom stepenu aktivacije mišića.





# Zavisnost sile mišića od stepena njegove aktivacije, relacija sila-vrijeme

- Čovjek može neposredno da upravlja samo aktivnom komponentom mišićne sile.
- Ona nastaje na spojevima aktinskih i miozinskih filamenata prilikom depolarizacije membrane mišićnog vlakna, izazvanoj impulsima koji stižu duž motornog nerva.
- Ovi impulsi skoro istovremeno stižu u sva vlakna jedne motorne jedinice.
- Već je rečeno da ukupna sila aktivne komponente mišića zavisi od frekvencije aktivacije mišića.
- Uopšteno govoreći, sa povećanjem stepena aktivacije mišića raste sila aktivacije njegove aktivne komponente, a time i ukupna sila mišića.



# *Elastičnost mišića*

- Svojsvo mišića da se skrati nešto brže nego što mu to obezbjeđuje mišićna sila i to u trenutku izrazito brzog i ne velikog izduženja.
- Svojstvo mišića koje se sve češće spominje u literaturama a koja se dosta povezuje sa svojstvom elastičnosti jeste izdužljivost mišića.
- Za izdužljivost se može reći da spada u plastične deformacije, gdje se po prestanku djelovanja sile mišić vraća do određene mjere prvobitnom položaju ali ne i do prvobitnog položaja.

- Pokreti čovjeka su u mnogim slučajevima ciklični (trčanje, plivanje, veslanje), pa mišići naizmjenično prelaze iz ekscentričnog u koncentrični režim i obrnuto.
- Mišiće izdužuju spoljne sile i njihov mehanički rad se delom akumulira u mišiću u obliku energije elastične deformacije, gdje moramo uzeti u obzir i elasticitet tetiva.
- U situacijama gdje se prikazuje skok u smeč, skok u vis i skok u dalj, može se konstatovati sljedeće: pri pokretima saskok-od-skok, u prvoj fazi pokreta ekstenzori u zglobovima nogu deluju u ekscentričnom režimu protiv gravitacione sile i sile inercije.
- Pri tome se njihove tetive pod dejstvom velikih sila istežu i akumuliraju u sebi znatnu energiju.
- Ta energija se tijelu vraća u sljedećoj, koncentričnoj fazi, i ona tada povećava odrazni impuls i visinu odskoka.



***HVALA NA PAŽNJI !***