



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Živčno-mišični sistem

Razvoj kadrov v športu
2016-2022

Anatomija

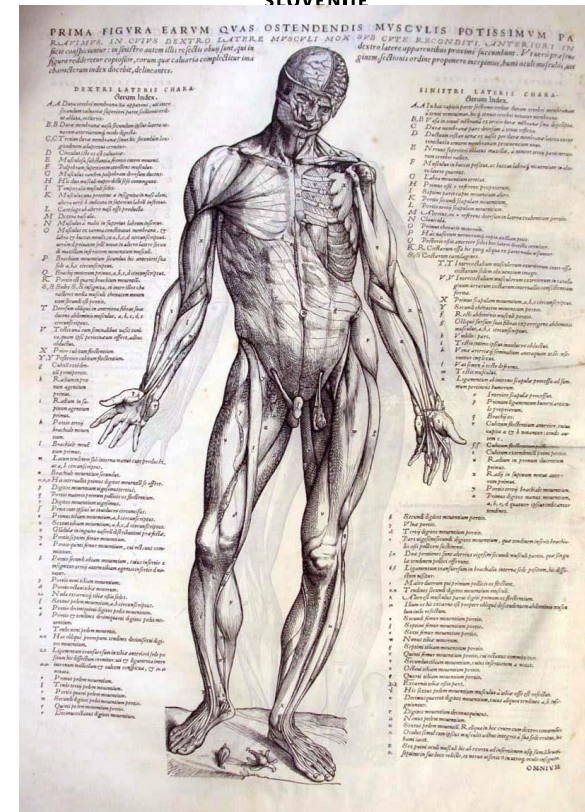
- Anatomija – gr. **Anatemnō**
- Razčlenjujem, raztelešam, razrezujem
- Anatomsi so razkosali truplo, da bi se učili o zgradbi in sestavi telesa in posameznih delov
- Klavdij Galen (129 n.št.) – zdravnik in anatom
- Andreas Vesalius (1541-1564) – avtor sodobne anatomije v delu *O zgradbi človeškega telesa*
- Makroskopska anatomija (večje od 1 mm)
- Mikroskopska anatomija (histologija, citologija)
- Molekularna anatomija



SLOVENIJA



OLIMPIJSKI KOMITE
SLOVENIIE



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Živčni sistem



- Osrednji živčni sistem
 - Možgani in hrbtenjača
 - Nadzorni središči za vse živčne impulze v telesu
- Periferni živčni sistem
 - Vsa živčna vlakna in nitja, ki niso v možganih ali hrbtenjači
 - Samo spremljajo ukaze in ne obdeluje nobenih podatkov
- Živčni sistem nadzoruje mišično dejavnost (gibanje) in dejavnost notranjih organov (prav tako upravlja hormonski sistem)
- Senzorično-motorična integracija živčevja



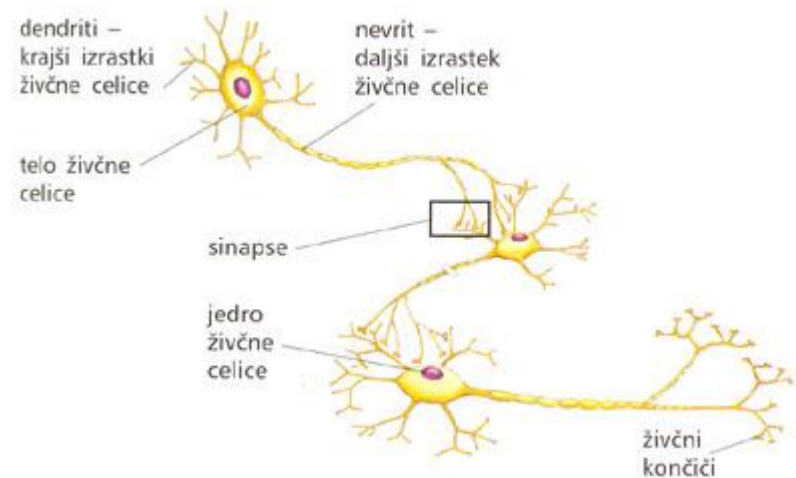
Živčni sistem

- Živčevje je hierarhično urejen sistem – odziv na dražljaje je organiziran po zahtevnosti. Npr.
 - Hrbtenjača – enostavni refleksi – ritmično gibanje (hoja)
 - Možgansko deblo – nadzor mišičnega tonusa
 - Centri v možganski skorji – zapleteni zavestni gibi
- Živčevje sestavljajo:
 - Živčne celice
 - Celice glije



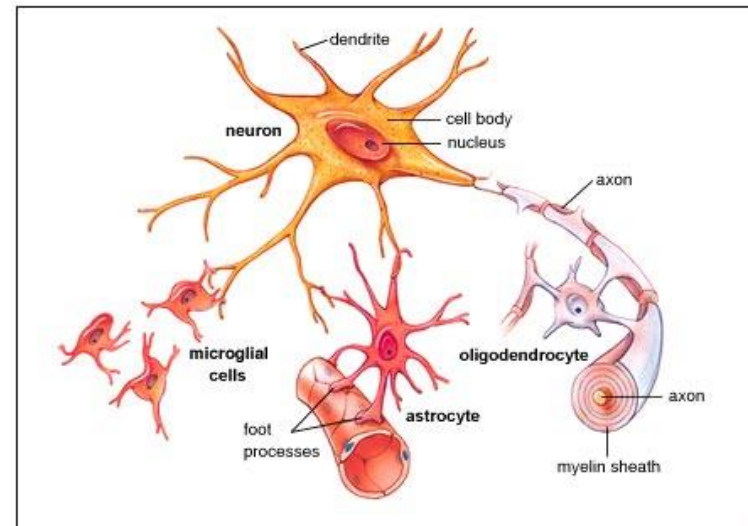
Živčne celice

- Živčne celice – nevroni so povezani v nevronske mreže
- Zadolžene za prenos impulzov
- Omogočajo prenos, sprejemanje in pošiljanje sporočil drugim živčnim mrežam ali organom (npr. mišice)



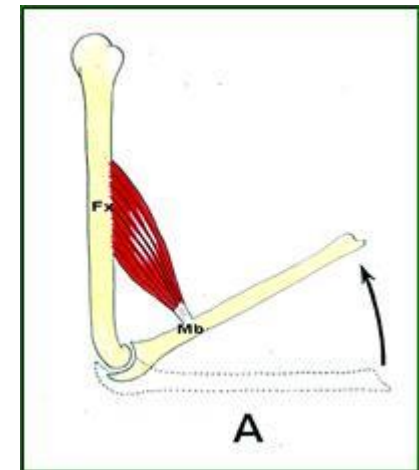
Celice glije

- Podpora nevronom v možganih
- Mediatorji med nevroni in kapilarno oskrbo
- Prenašajo hrano (glukozo) in gradbene snovi (amino kisline...) v nevrone za produkcijo energije in proizvodnjo strukturnih proteinov in neurotransmiterjev (živčnih prenašalcev)
- Sodeluje pri izgradnji mielinske ovojnice aksonov
- Zagotavljajo ustrezno koncentracijo neurotransmiterjev
- Enako vlogo kot imajo celice glije v možganih imajo Schwanove celice v obrobnem (motoričnem) živčevju



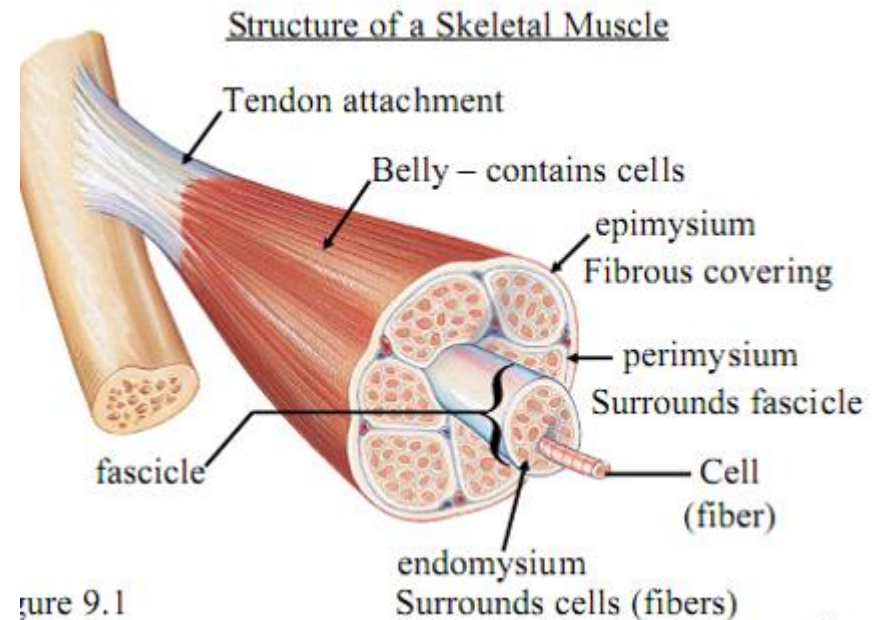
Mišica

- 400 skeletnih mišic
- 40-50% celotne telesne mase
- Pretvorba kemične v mehansko energijo
 - Skeletne mišice so pripete na najmanj dve različni kosti, ki sta gibljivi v sklepu
 - Krčenje mišice – sprememba položaja kosti
 - Ob vsakem sklepu vedno vsaj dve mišici (mišični skupini)
 - Agonist – izvaja gibanje
 - Antagonist
 - Delovanje obeh mišic uravnava živčni sistem – medmišična koordinacija



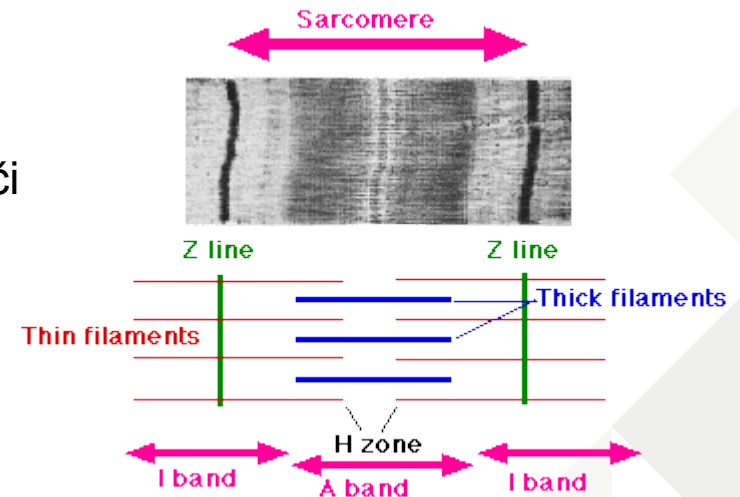
Sestava

- Več mišičnih vlaken je združenih v primarni snop, ki ga obdaja vezivo – endomysium
- Primarni snopi se združujejo v sekundarne, ki jih ovija zunanja mišična ovojnica – perimysium externum
- Sekundarni snopi se združujejo v mišico, ki jo ovija paramysium
- Posamične mišice ali mišične skupine obdajajo vezivne ovojnice - fascie

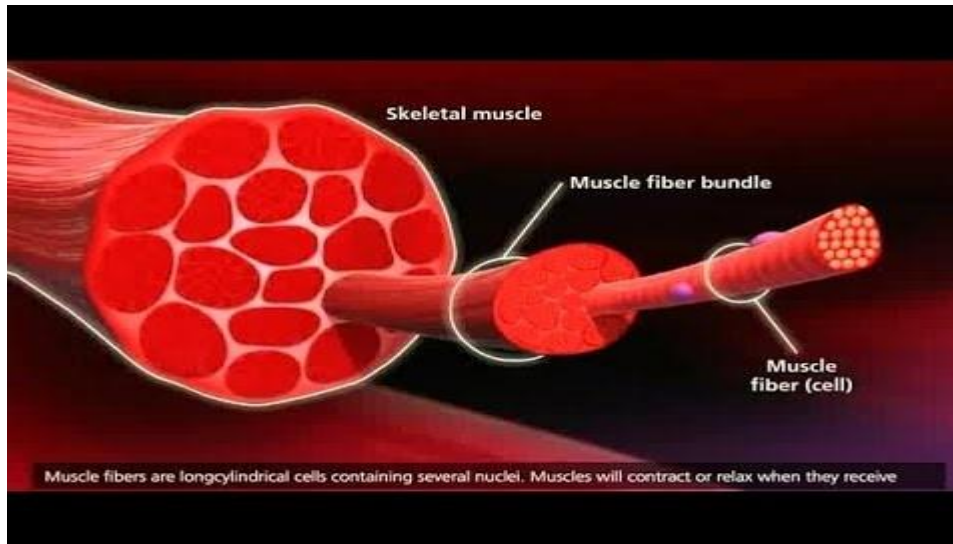


Sestava 2

- Stik živca z mišičnim vlaknom = motorična ploščica
- Miofibrile predstavljajo 80% mišičnega vlakna in potekajo vzdolž celotnega vlakna.
- Miofibrile sestavljene iz več zaporedno vezanih sarkomer
- Sarkomere so kontraktilni element in predstavljajo del mišice, kjer se generira sila in kjer se mišica krči in sprošča kot pozitivno oz. negativno opravljeno delo
 - Aktinski (tanki) in
 - miozinski (debeli) miofilamenti
- Miofilamenti z medsebojnim drsenjem in pomikanjem Z-linije skupaj ustvarjata krčenje in obratno tudi relaksacijo mišice z drsenjem in razmikanjem Z-linije nazaj v začetno stanje
- Do mišičnega krčenja pride zaradi vzpostavljanja prečnih mostičkov in potiskanja aktinskega filameta proti sredini sarkomere

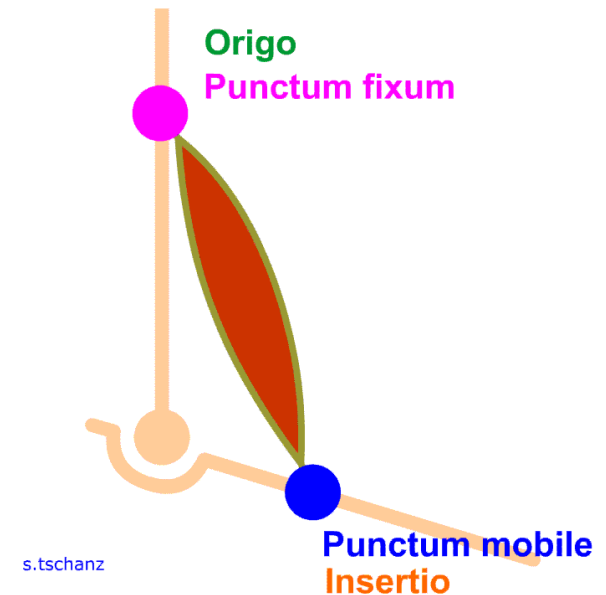


Mišična kontrakcija



Skeletna mišica

- izvor – origo:
 - ponavadi nepremična točka
 - leži proksimalno
- narastišče – insertio
 - premična točka
 - praviloma leži distalno
- Lahko je tudi obratno in je gibljiv izvor in miruje narastišče



Tipična vretenasta mišica

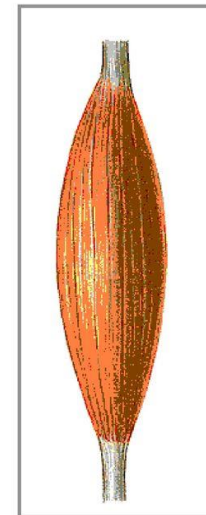
- sestava
 - Glava – caput
 - Trebuh – venter
 - Rep – cauda
 - Kita – tendo
- Oblika
 - Kratke
 - Dolge
 - Ploščate

Common structure of muscle

Origo (*origin*)

Fascia (cover)

Tendo, aponeurosis
Insertio (*insertion*)



Caput (*head*)

Venter (*belly*)

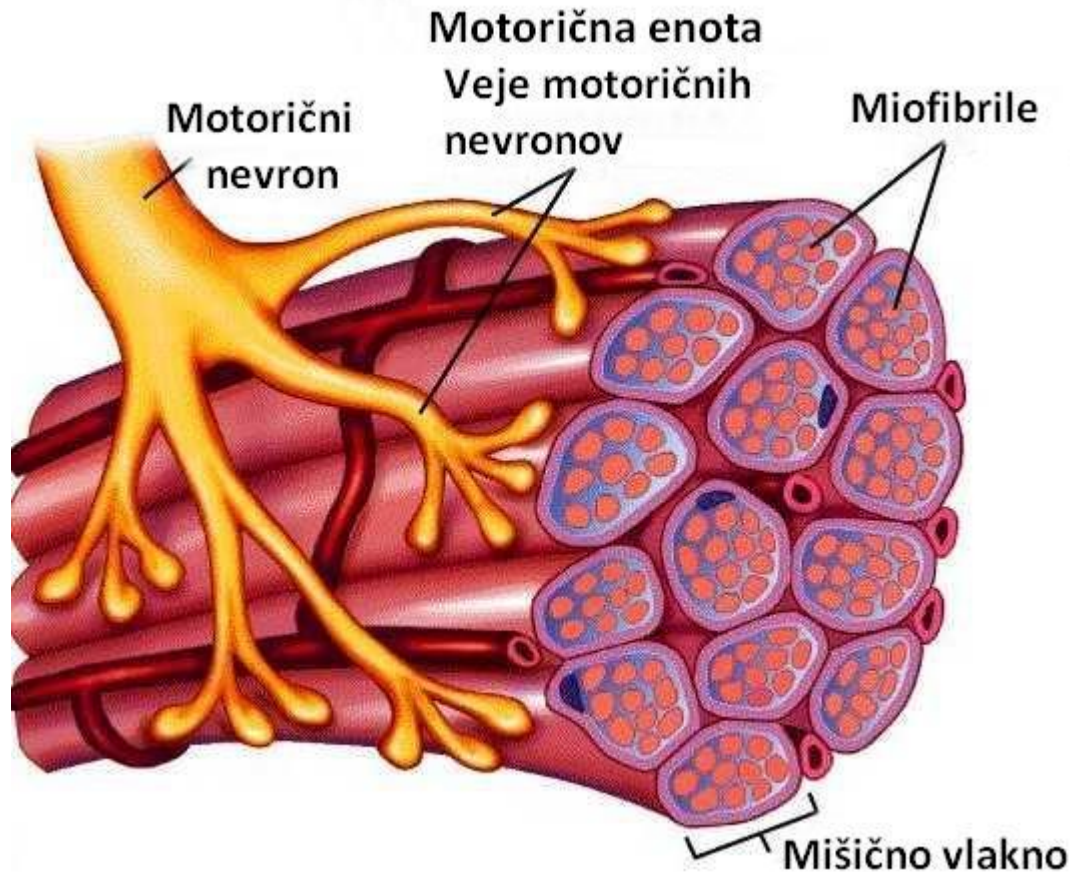
Cauda (*tail*)

Lastnosti mišice

- Vzdraženost – reakcija na dražljaj
- Prevodnost – impulzi se prevajajo po celotni dolžini mišice
- Kontraktilnost – sposobnost krčenja
- Prilagodljivost
 - Rast
 - Regeneracija



Motorična enota



Sklop motoričnega nevrona alfa in vseh skeletnih mišičnih vlaken, ki jih ta nevron oživčuje, imenujemo motorična enota.

- Oksidacijske počasne ME
- Oksidacijske hitre ME
- Glikolitične hitre ME

Tipi mišičnih vlaken



- Počasna oksidativna vlakna, tip I (~50%)
- Hitra vlakna, tip II
 - tip IIa (25%), hitra oksidativna/glikolitična (FOG)
 - tip IIx pri človeku (~25%), hitra glikolitična (FG)
 - tip IIc (1-3%)
- Odstotek posameznih mišičnih tipov mišičnih vlaken se razlikuje med mišicami, posamezniki in tipom vadbe



Struktura in lastnosti



OLIMPIJSKI KOMITE
SLOVENIJE

	Počasna oksidativna vlakna (Tip I)	Hitra oksidativna vlakna (Tip IIA)	Hitra glikolitična vlakna (Tip IIB)
Presnovne lastnosti			
hitrost krčenja	počasna	hitra	hitra
ATPazna aktivnost miozina	počasna	hitra	hitra
primarna pot sinteze ATP	aerobna	aerobna/anaerobna	anaerobna
vsebnost mioglobina	visoka	visoka	nizka
skladišče glikogena	nizko	srednje	visoko
zaporednje nabora	prvi	drugi	tretji
hitrost utrujanja	počasna	srednja	hitra
Optimalna aktivnost			
	maraton, stanje	hoja, sprint	kratkotrajni in intenzivni gibi
Strukturne lastnosti			
barva	rdeča	rdeča/rožnata	bleda
premer vlakna	majhen	srednji	velik
mitohondriji	mного	mного	malo
kapilare	mного	mного	malo



Tip vlaken pri različnih športih



Šport	Spol	Mišica	% počasnih	% hitrih
Šprint 100 m	M	Dvoglava	24	76
	Ž	mečna m.	27	73
Tek na dolge proge	M	Dvoglava	79	21
	Ž	mečna m.	69	31
Dvigovanje uteži	M	Dvoglava	44	56
		mečna m.		



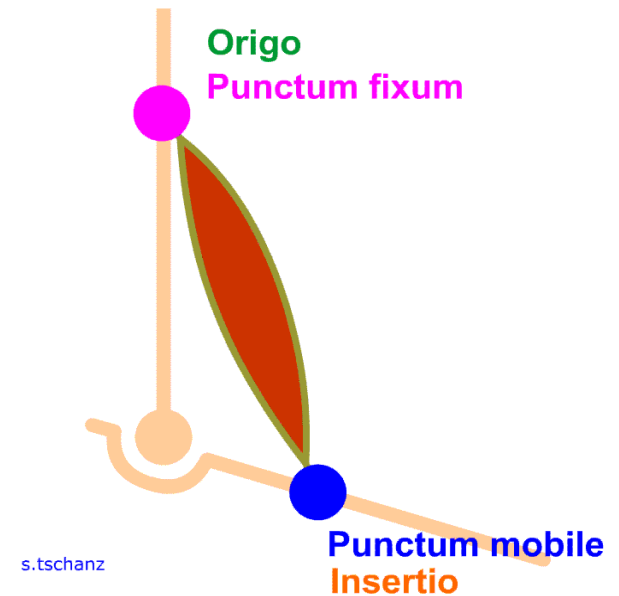
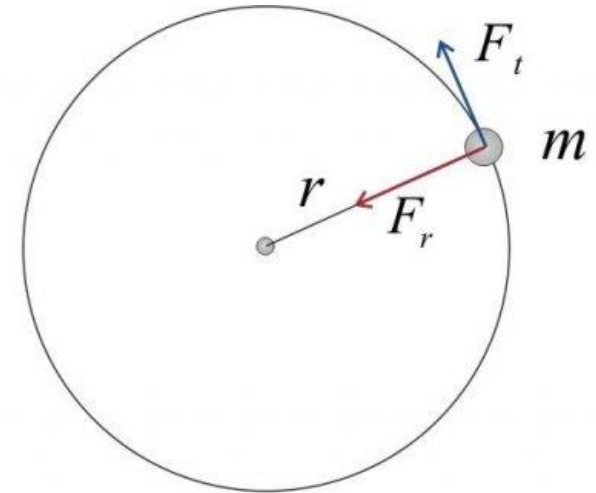
Naloge mišice

- Generator gibanja
 - Rotacija telesnih segmentov
 - Stabilizacija sklepov
- Generator toplote
- Rezervoar
 - Energijskih snovi
 - Vode...



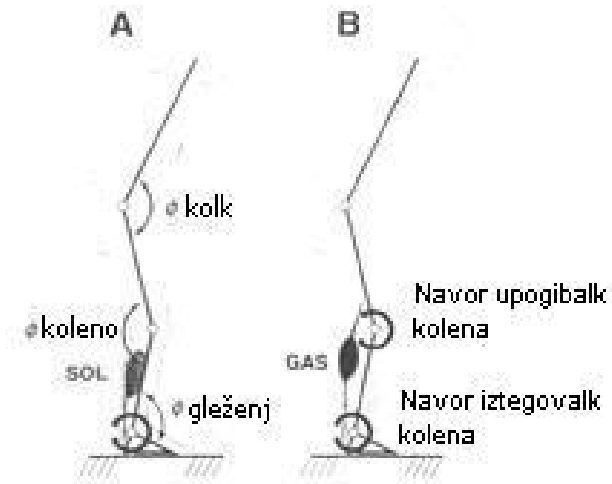
Navor v sklepu

- Mišice generirajo silo, ki deluje na segmente, na katere so pripete
- Na mišico gledamo kot na aktivator, ki generira silo na izvoru in narastišču
- Mišica razvije navor v sklepu/moment sile v sklepu
- Gibanje med segmenti si predstavljamo kot rotacijo
- Mišice povzročajo kotno pospeševanje v sklepu
- Navor = sila, ki povzroči vrtenje
- Navor = $F \times r$ (sila x ročica) Nm



Navor v sklepu

- Primer
 - enosklepna mišica: velika mečna mišica (m. soleus) – iztegovalka gležnja
 - dvosklepna mišica: dvoglava mečna mišica (m. gastrocnemius) -
- Proizvaja navor, ki povzroča iztezanje
- Iz definicij rotacij sklepov (izteg, upogib) in iz anatomskega položaja mišic ugotovimo smer navorov v sklepu
- Pri enosklepnih mišicah je funkcija skladna z anatomijo (pospešek v sklepu, preko katerega poteka, je vedno enak smeri navora, ki ga razvije)
- Pri večsklepnih mišicah lahko mišica povzroči, da se eden od sklepov preko katerega poteka, giba v nasprotni smeri navora v sklepu



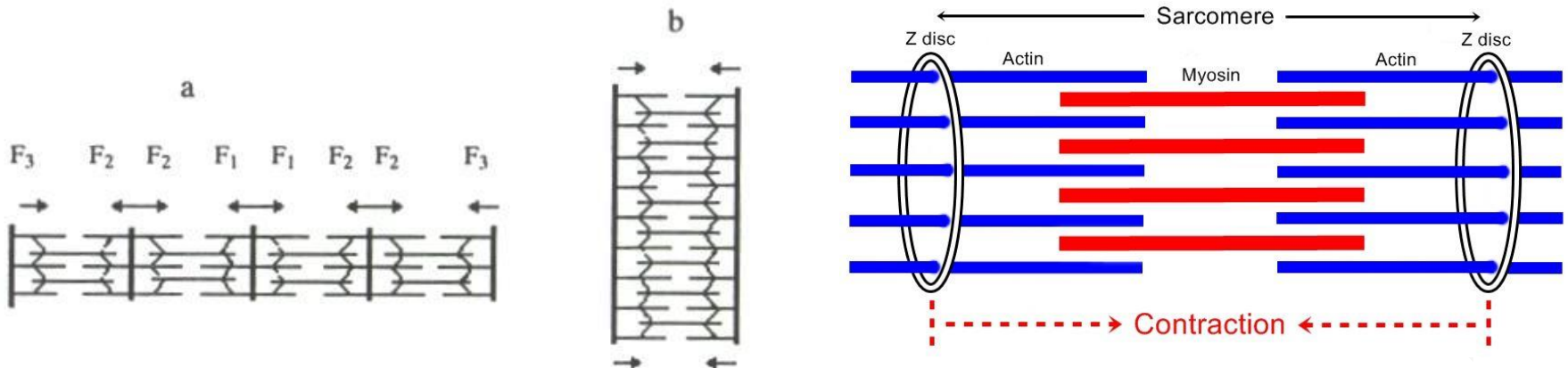
Proizvajanje sile

- Sposobnost mišice, da proizvede silo je odvisna od
 - Prečnega preseka mišice
 - Dolžine mišičnih vlaken
 - Števila mišičnih vlaken
 - Zgradbe mišice



Prečni presek mišic

- Enako število miozinskih in aktinskih filamentov
 - a) Dolga in tanka mišica – zaporedno postavljene sarkomene
 - b) Kratka in debela – vzporedno postavljene sarkomene
- b) proizvede 4 x večjo izometrično silo kot mišica a)



Dolžina mišičnih vlaken

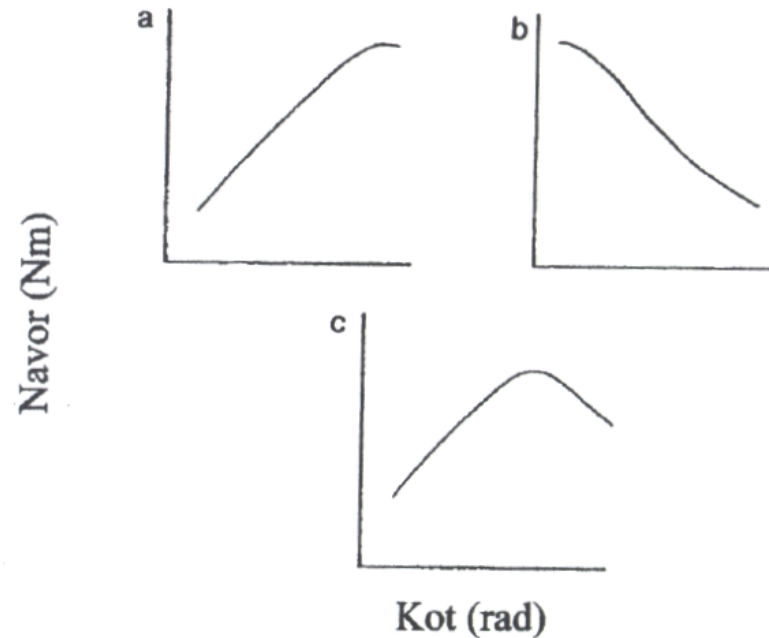


- Mišična celica razvije maksimalno silo, kadar je njena dolžina pred začetkom krčenja enaka 1,2 – kratni vrednosti njene dolžine v mirovanju
- Če je začetna dolžina mišične celice večja ali manjša od optimalne, je sila krčenja manjša
- Ker je sila v mišici posledica interakcije med aktinskimi in miozinskimi nitkami, so različne napetosti pri različnih dolžinah mišičnih celic posledica spreminjanja števila prečnih mostičev v področju prekrivanja aktinskih in miozinskih filamentov
- Sila odvisna tudi od vezivnega tkiva (pasivna sila)



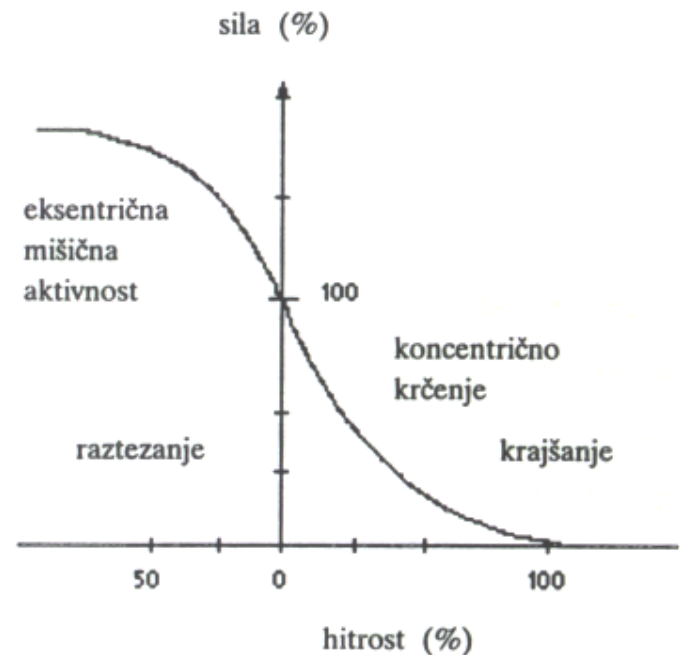
Razmerje kot - navor

- Navor = sila x ročica
- Razmerje
 - Vzpenjajoče
 - Padajoče
 - Srednje



Razmerjen sila - hitrost

- Razmerje med hitrimi in počasnimi motoričnimi enotami določa odnos sila – hitrost
- Sila, ki jo mišična celica razvije je v odvisnosti od hitrosti giba → Hitreje kot se krajša – manjša je sila, ki jo razvije
- Lastnost celice je odvisna od sodelovanja med aktinom in miozinom
- Čim večja je zunanja sila, tem manjša je hitrost, pri kateri posamezni prečni mostiček ponovi svoj cikel aktivnosti



Nevralni dejavnik maksimalne mišične moči



- Mišica – večje število motoričnih enot
- Ko je zunanja sila večja, kot jo proizvede posamezen skrček – akcijski potencial povečan s serijo skrčkov
- Tetanična kontrakcija - neprekinjeno krčenje mišice kot posledica naglo ponavljajočih se skrčkov (ponavljajoče vzburjenje)
- Mišična sila je odvisna od stopnje aktivnosti motorične enote (funkcionalna živčno-mišična enota)
- Stopnja aktivnosti je odvisna od
 - Rekrutacije motoričnih enot
 - Frekvenčne modulacije
 - Vzorca proženja akcijskih potencialov



Rekrutacija mišičnih enot



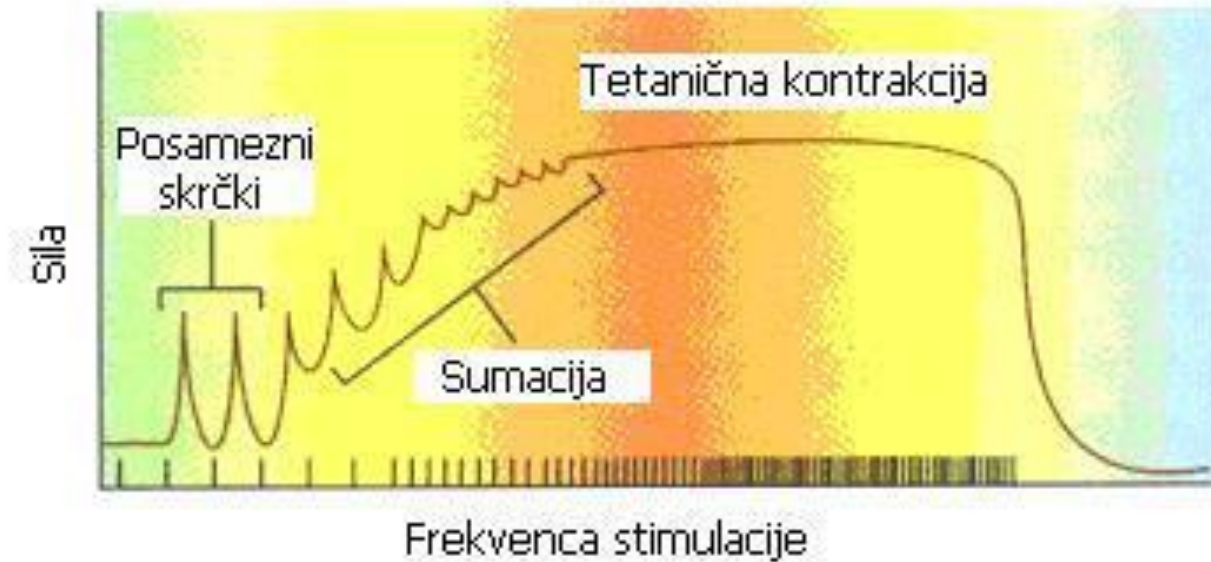
- Aktivacija motoričnih enot se zgodi v točno določenem zaporedju
- Več ME je aktivirano → večja je mišična sila
- Ko se ME aktivira ostane aktivna dokler sila ne popusti
- ME se izklapljajo v obratnem vrstnem redu, kot se aktivirajo = Hanemanov princip
- Nimamo zavestnega vpliva (praviloma)
- Pri ekscentrični reakciji – pride do aktivacije hitrih motoričnih enot, počasne pa ostanejo neaktivne
- 50 – 85 % max sile z rekrutacijo ME

Frekvenčna modulacija ME



- Poleg rekrutacije je mišična sila odvisna od povečanja frekvence proženja akcijskih potencialov (skrčkov)
- Ko je ME rekrutirana, lahko mišična sila še narašča
- Krčenje traja od 10 do 100 ms
- Delovanje novega akcijskega potenciala po končani fazi sprostitve povzroči identični mehanski odgovor kot predhodni dražljaj
- Če pride do novega dražljaja še v času kršenja, se bo napetost nadgradila nad prejšnjo... tako nastane 3-4 x večja sila od enkratnega krčenja
- Frekvenca dražljajev, ki privede do tetanične kontrakcije je pri počasnih mišicah 30Hz, hitrih 80Hz

Frekvenčna modulacija ME



Vzorec proženja akcijskih potencialov

- sila je odvisna tudi od vzorca aktivnosti akcijskih potencialov (dražljajev)
- Vzorec – čas od enega do drugega akcijskega potenciala v isti ali drugi motorični enoti
- Vzorci
 - Mišična jasnovidnost (upadanje ob mišični utrujenosti)
 - Dvojni akcijski potencial (znotraj 10 ms v eni ME)
 - Sinhronizacija motoričnih enot (ujemanje proženja med več ME)



Koordinacija gibanja

- Omogoča osrednji živčni sistem v sodelovanju z mišicami
- Koordinacija
 - Omogoča racionalno porabo energije
 - Optimizacija časovno prostorske aktivnosti
 - Sposobnost usklajenega gibanja (nepredvidljive motorične naloge)
 - Učinkovito izvajanje kompleksnih gibalnih nalog
 - Učinkovitost – kasnejša utrujenost



Koordinacija gibanja



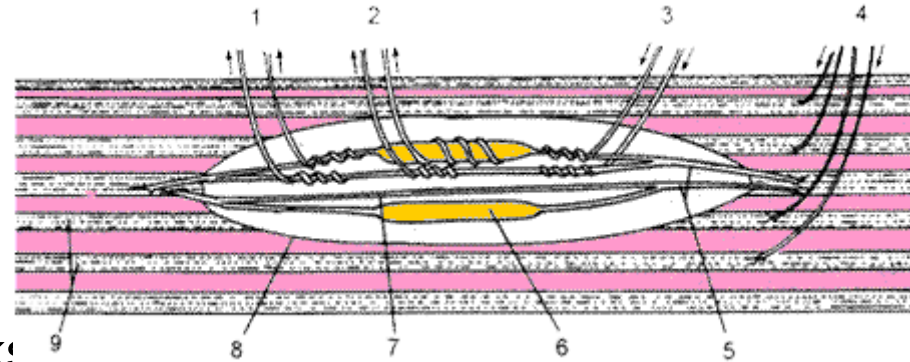
- Periferna kontrola gibanja
 - Uskladitev aktivnosti aktivacije mišic in inhibicijskih refleksov
 - Še posebej pri premagovanju ekscentrično-koncentričnih bremen
 - Velika aktivacija agonistov s pomočja alfa in gama motoričnega sistema večkrat povzroča velike sile v kitah in aktivacijo inhibicijskega refleksa
- Medmišična koordinacija
 - Koordinirana aktivnost agonistov in sproščanje antagonistov (posebej pri hitrih gibih)
 - Sinergisti – opora tistim mišicam, ki opravljajo osnovno gibanje

Koordinacija gibanja



- Proksimalno distalni princip
 - zaporedje aktivacije mišic ali gibanja segmentov pri balističnih večsklepnih akcijah
 - zaporedje vključevanja posameznih segmentov
 - Najprej proksimalni nato distalni segmenti
 - Seštevek mehanskega efekta
 - Kinetična veriga – najprej se vključujejo večje/močnejše mišice, potem šibkejše
 - Prenašanje energije po segmentih
 - Pretvorba rotacije telesnih segmentov v čim večjo izmetno hitrost oz. čim večjo hitrost težišča celotnega telesa

Mišično vreteno



- Refleks na nateg (miotatični refleks),
 - Refleks mišičnega vretena – vplivi: stopnja mišične aktivacije, hitrost raztezanja, amplituda raztezanja, začetna dolžina mišic
 - Vzporedno vpeto v mišico in sporoča podatke o hitrosti spremembe mišične dolžine (fazična komponenta) in delno o stanju mišične dolžine (tonična komponenta)
 - Mišično vreteno je oživčeno po gama motoričnih nevronih – glavna naloga ohranjanje občutljivosti mišičnih vreten na nateg
 - Če se vzdraži pošlje signal do hrbtenjače, kjer se prenese impulz na alfa nevron, ki gre v isto mišico in jo vzdraži, da se skrči
 - Koaktivacija mišičnih nevronov alfa in gama, da ostane mišično vreteno občutljivo tudi med hoteno kontrakcijo
- Disinaptična recipročna inhibicija

Golgijev kitni refleks

- Golgijev tetivni organ je proprioceptor, ki zaznava spremembe napetosti v kitah
- Pošlje signal v hrbtenjačo, kjer se razdeli v dve smeri
 - Inhibira agonista
 - Aktivira antagonist



Pliometrično gibanje

- Ekscentrično-koncentrično gibanje
- Najprej pride do aktivnega raztezanja, nato do krajšanja
- Ekscentrični del: zunanja sila je večja od sile mišice – mišična pripoja se oddaljujeta (negativna kontrakcija)
- Koncentrični del: sila mišice je večja od zunanje sile (miometrična ali pozitivna kontrakcija)
- Uporabljamo za izboljšanje mehanskih značilnosti koncentrične kontrakcije

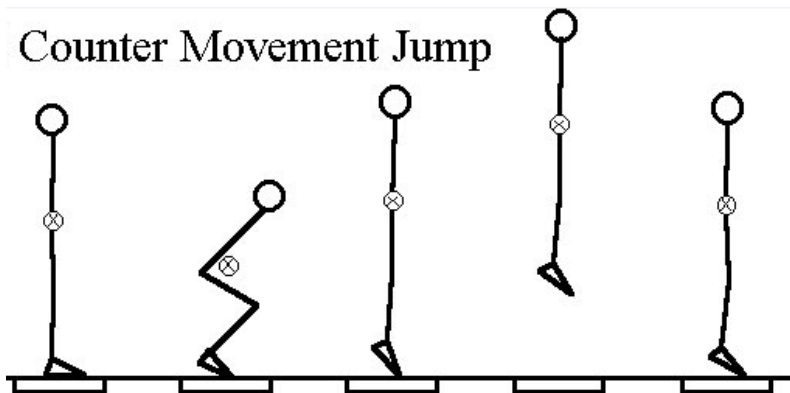
Pliometrično gibanje -2



- Prednost – več dela se proizvede, če mišico najprej raztegnemo
- Ob zadostni hitrosti bo mišica sposobna razviti večjo silo kot pri maksimalnem izometričnem naprežanju
- Izkoriščanje elastičnosti mišično-tetivnega kompleksa, ki shrani del energije
 - Večji del: tetive, aponevroza in prečni mostič
 - Manjši del: vezivna tkiva, mišične ovojnice in sakroleme
 - Omejen čas – 15-120 milisekund

Pliometrično gibanje -2

- Tri faze
 - Predaktivacija – začetna togost ob raztezanju
 - Refleksno kontrolirana faza – se pojavi približno 40 ms po začetku raztezanja
 - Zavestno kontrolirana faza – se začne približno 120 ms po začetku gibanja



Živčno mišična potenciacija



- Pretekla mišična kontraktilnost
 - Utrujenost
 - Izboljšanje mišične aktivnosti → post-aktivacijska mišična potenciacija
- Športno aktivnostjo, kjer prevladujejo vlakna tipa I (vzdržljivostni športi)
- Mišična naprežanja za produkcijo hitre moči – balistična gibanja
- Umetno povzročen električni dražljaj na periferni živec (H-refleks)

Morfološka prilagoditev na trening moči



- Povečanje prečnega preseka mišic
 - Anabolni proces – proces izgradnje (sinteza novih proteinov)
 - Transformacija satelitskih celic (dodatna jedra mišičnih celic)
 - Zaviranje katabolizma (razgradnje) živčnih vlaken pod vplivom kortizola
- Povečanje gostote kosti
 - Dviganje bremen
 - Pritisk na kosti – dražljaj, da se prične kostno tkivo zgoščevati
- Povečana količina glikogena in trigliceridov v mišicah
- Zmanjšan mišični pH pri izčrpanosti

Hipertrofija

- Hipertrofija – povečanje aktinskih in miozinskih vlaken v posamezni sarkomeri
- Hipertrofija vseh tipov vlaken
 - Tip II a najbolj nagnjen k hipertrofiji
 - Potem II b, najmanj pa I
 - Transformacija tipa II b v II a
- Sinteza kolagena – spremembe v vezivnem tkivu
- Povečanje mišične masa in sprememba v hitrosti mišičnega krčenja – sprememba v strukturi → razgradnja (katabolna faza), da bi lahko prišlo do anabolne faze

Hiperplazija

- povečanega števila mišičnih vlaken znotraj same mišice
- s formacijo novih vlaken iz satelitskih celic
- zanemarljiv delež prirastka mišične mase
- Satelitske celice – služijo kot rezervna populacija celic, ki se aktivira ob poškodbi mišičnih vlaken – poškodovani celici podarijo svojo jedro in tako pomagajo pri regeneraciji



Nevrološka prilagoditev

- Prvi prirast mišične sile je na račun živčne prilagoditve
- Izboljšanja medmišična in znotrajmišična koordinacija
- Boljša aktivacija agonistov skozi rekrutacijo, frekvenčno modulacijo in sinhronizacijo motoričnih enot
- Povečana inhibicija antagonistov in aktivacija sinergistov



Viri



- Štrucl, M. (1999) Fiziologija živčevja. Ljubljana: Medicinski razgledi.
- Šentija, D. () Fiziologija sporta. [Povezava](#).
- Bratina, A. (2009) Vpliv dodatne električne stimulacije mišice quadriceps femoris na silo reakcije podlage pri vertikalnem skoku iz počepa. Ljubljana: Fakulteta za šport.
- Milanovič, D. (2015) Training theory. Zagreb: Fakulteta za kineziologijo.
- Bresjanac, M. in Rupnik, M. () Temelji fiziologije. [Povezava](#).
- Pistotnik, B. (2011) Osnove gibanja v športu. Ljubljana: Fakulteta za šport.



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA IZOBRAŽEVANJE,
ZNANOST IN ŠPORT



EVROPSKA UNIJA
EVROPSKI
SOCIALNI SKLAD
NALOŽBA V VAŠO PRIHODNOST

Hvala za pozornost!

Projekt Razvoj kadrov v športu delno financira Evropska unija iz Evropskega socialnega sklada. Projekt se izvaja v okviru Operativnega programa za izvajanje evropske kohezijske politike v obdobju 2014-2020, prednostne osi 10: Znanje, spretnosti in vseživljenjsko učenje za boljšo zaposljivost; prednostne naložbe: 10.1: Izboljšanje enakega dostopa do vseživljenjskega učenja za vse starostne skupine pri formalnih, neformalnih in priložnostnih oblikah učenja, posodobitev znanja, spretnosti in kompetenc delovne sile ter spodbujanje prožnih oblik učenja, tudi s poklicnim svetovanjem in potrjevanjem pridobljenih kompetenc; specifičnega cilja 2: Izboljšanje kompetenc zaposlenih za zmanjšanje neskladij med usposobljenostjo in potrebami trga dela.