

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
ŠPORTNO TRENIRANJE – KONDICIJSKO TRENIRANJE

Marko Zadavec

VPLIV VADBE AKTIVACIJE NA MOČ
UPOGIBALK PRSTOV PRI MLAJŠIH
REKREATIVNIH PLEZALCIH

DIPLOMSKO DELO

Mentor: doc. dr. BOJAN LESKOŠEK
Recenzent: prof. dr. VOJKO STROJNIK
Konzultant: doc. dr. BLAŽ JEREB

Ljubljana, april 2006

ZAHVALA

Ob zaključku študija na Fakulteti za šport bi se rad iskreno zahvalil svojim staršem za popolno podporo pri študiju.

Zahvaljujem se članom in članicam ŠPK Andreja Kokalja, da so se odzvali povabilu k sodelovanju pri eksperimentu za diplomsko nalogo. Brez vas bi bilo precej težje!

Iskreno se zahvaljujem svojemu mentorju doc.dr. Bojanu Leskošku. S svojimi napotki in natančnimi korekcijami si me usmerjal pri izdelavi naloge, hkrati pa si bil vedno dosegljiv in pripravljen za dialog. Res, hvala!

Zahvaljujem se tudi doc.dr. Blažu Jerebu in prof.dr. Vojku Strojniku za recenzijo in sodelovanje.

KAZALO

1	UVOD.....	3 -
1.1	ANATOMIJA MIŠIC PODLAKTA IN OPREDELITEV GIBALNIH AKCIJ.....	4 -
1.1.1	MIŠICE PODLAKTA.....	4 -
1.1.2	PREGLED GIBALNIH AKCIJ PODLAKTA IN ROKE.....	7 -
1.2	LASTNOSTI ŽIVČNOMIŠIČNEGA SISTEMA.....	8 -
1.2.1	MIŠIČNA ZGRADBA.....	8 -
1.2.2	MOTORIČNA ENOTA.....	10 -
1.2.3	MOTORIČNI ŽIVEC (<i>motonevron</i>).....	10 -
1.2.4	MOTORIČNA KONČNA PLOŠČICA IN AKCIJSKI POTENCIAL.....	10 -
1.2.5	MIŠIČNA KONTRAKCIJA.....	12 -
1.3	MEHANIZMI AKTIVACIJE MIŠIC–REKRUTACIJA, FREKVENČNA MODULACIJA IN SINHRONIZACIJA.....	13 -
1.4	ENERGIJSKI PROCESI V SKELETNI MIŠICI.....	18 -
1.5	VRSTE MIŠIČNEGA NAPREZANJA.....	23 -
1.6	KLASIFIKACIJA MIŠIČNE UTRUJENOSTI.....	23 -
1.6.1	VPLIV KRVNEGA PRETOKA NA MIŠIČNO KRČENJE.....	25 -
1.6.2	VISOKO INTENZIVNO NEPREKINJENO IZOMETRIČNO MIŠIČNO KRČENJE.....	26 -
1.6.3	OKLUZIJA.....	27 -
2	PREDMET IN PROBLEM.....	28 -
2.1	METODE ZA POVEČANJE SILOVITOSTI MIŠIČNEGA KRČENJA.....	29 -
2.2	PREDSTAVITEV EKSPERIMENTALNE METODE.....	30 -
3	CILJI EKSPERIMENTA.....	32 -
4	HIPOTEZE.....	33 -
5	METODE DELA.....	34 -
5.1	POTEK TESTIRANJ.....	34 -
5.2	VZOREC MERJENCEV.....	35 -
5.3	VZOREC SPREMENLJIVK.....	35 -
5.4	METODE OBDELAVE PODATKOV.....	36 -
6	REZULTATI IN INTERPRETACIJA.....	37
7	ZAKLJUČEK.....	48
	LITERATURA.....	52

1 UVOD

Športno plezanje je ena izmed tistih športnih panog, kjer sta vloga lokalne mišične vzdržljivosti in moči eni izmed dejavnikov, ki ključno vplivata na športni dosežek in plezalsko učinkovitost.

Ker je pri plezanju odločilnega pomena vztrajati v naporu do vrha smeri in hkrati uspešno razreševati stenske probleme, je ravno tako pomembna komponenta plezalske uspešnosti ustrezna taktika, tehnika in motivacija ob naporu.

Te pridejo do izraza še posebej pri športnih tekmovanjih, kjer je osnovni način plezanja tako imenovano plezanje na pogled, kjer tekmovalci nimajo predhodnih informacij o smeri. Tako jim čim večja in raznovrstna motorična baza in plezalske izkušnje pomagajo pri pravilni izbiri plezalskih gibov in prvin, s čimer racionalizirajo porabo moči in si s tem omogočijo uspešno priplezati na vrh smeri.

Prav tako pa pomeni plezanje napor, ki se razlikuje od ostalih športnih naporov. Pri plezanju niso kritično obremenjene velike mišične skupine, kot je to velikokrat pri drugih športih (npr. tek, plavanje, kolesarjenje), temveč je ključni omejitveni dejavnik, kar se tiče moči in vzdržljivosti in s tem tudi kondicijske priprave, zelo specifično lokaliziran na tiste mišice in mišične skupine, ki upogibajo prste in povzročajo silo, s katero se plezalec drži v steni.

Mišice, ki upogibajo prste, so locirane v podlahti in med plezanjem izvajajo izometrične kontrakcije. Le-te so prekinjajoče z vmesnimi daljšimi oziroma krajšimi odmori, v katerih prihaja do relaksacij teh istih mišic. Ker je njihova učinkovitost krčenja ključni faktor nadaljevanja tovrstnega napora, je izredno pomembno, da jih lahko obremenjujemo čimdlje in da je čas, ko pride do izčrpanosti, zamaknjen na čimkasnejše obdobje.

Poleg mišične vzdržljivosti upogibalk prstov je prav tako velikega pomena tudi največja moč, ki so jo sposobne producirati. Še posebej to velja pri plezanju krajših smeri in balvanskem plezanju, kjer so stenski problemi sestavljeni iz nekaj gibov, ki ne zahtevajo velike lokalne vzdržljivosti, temveč produkcijo zelo velike sile v kratkem časovnem obdobju.

Ker so prsti tisti anatomski segment, s katerim opravljamo med plezanjem, so zato tudi najbolj obremenjeni. Kljub vsemu pa so tu tudi druge mišične skupine, še posebno mišične skupine zgornjih ekstremitet in ramenskega obroča, ki so prav tako zelo pomembne pri plezalski aktivnosti. Vključene so v dinamiko in statiko plezalskega gibanja, zato je iz tega vidika ravno tako zelo pomembna njihova moč in vzdržljivost, a so v primerjavi z mišicami prstov bistveno manj odločilen faktor k nezmožnosti nadaljevanja plezalskega napora.

Zato bo moje zanimanje v nadaljevanju osredotočeno na fiziološke, živčno-mehanske in biokemične procese, ki se odvijajo pri obremenjevanju mišic ob naporih najvišjih intenzivnosti. Z njimi bom poizkušal ugotoviti procese, ki se odvijajo v mišicah upogibalkah prstov med izometričnim krčenjem in ugotoviti

dejavnike, ki povzročijo njihovo utrujenost na eni strani ter izboljšanje kontraktilnih sposobnosti na drugi strani.

1.1 ANATOMIJA MIŠIC PODLAKTA IN OPREDELITEV GIBALNIH AKCIJ

1.1.1 MIŠICE PODLAKTA

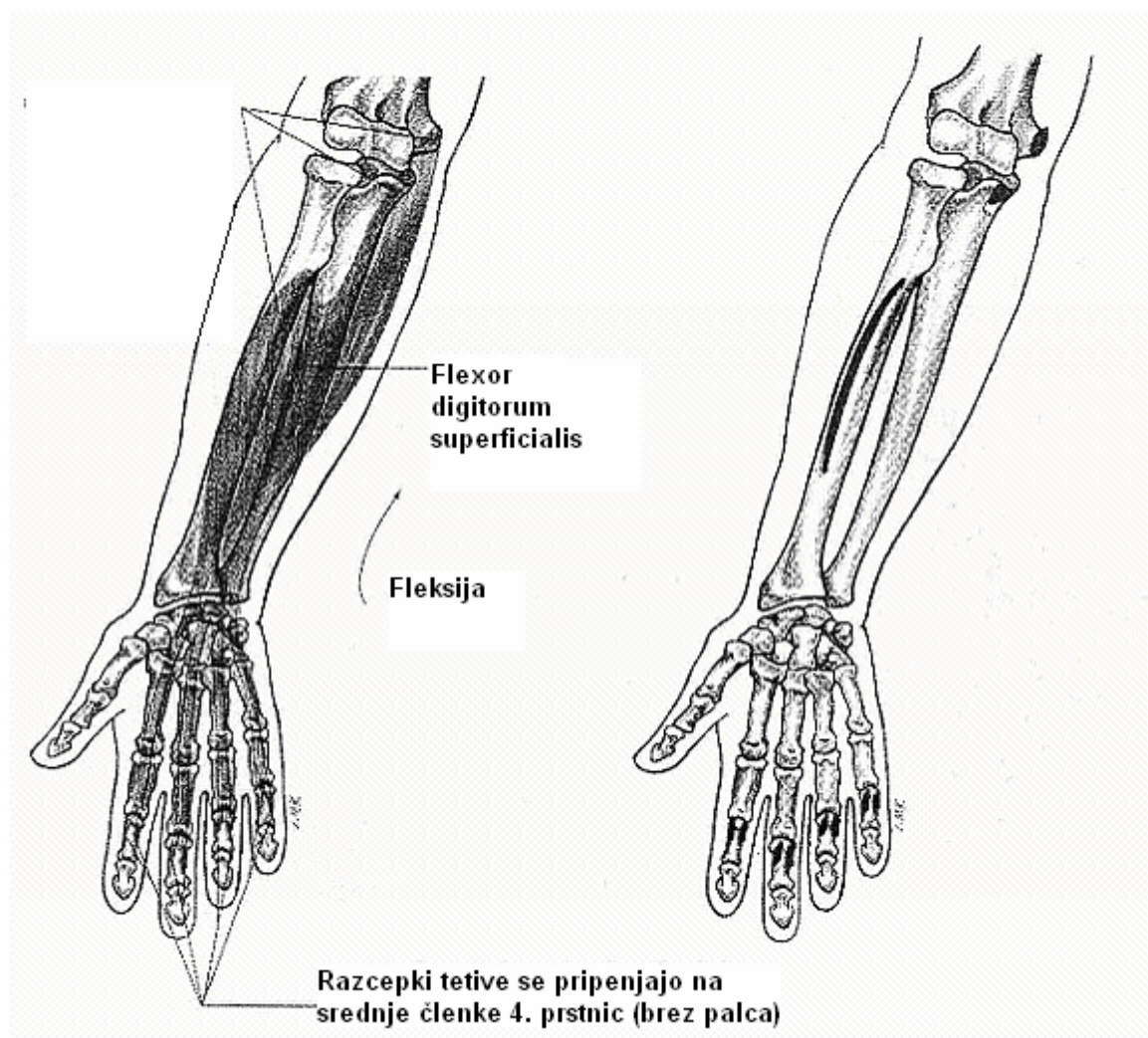
Mišice medialne skupine podlakta

Sestavlja jih osem mišic, ki imajo izhodišče na medialnem epikondilu nadlahtnice. Vse mišice upogibajo zapestje in prste, razen dveh, ki izvajata pronacijo podlakta. Nahajajo se v dveh plasteh:

a) povrhnja plast:

- koželjnična upogibalka zapestja (*m. flexor carpi radialis*) izhaja iz nadlahtnice (medialni epikondil) in se narašča na dlansko površino baze 2. in 3. dlančnice. Njena funkcija je upogib in odmik zapestja.
- dolga dlanska mišica (*m. palmaris longus*) izhaja iz nadlahtnice (medialni epikondil) in se konča v obliki široke tetive, ki ji pravimo palmarna aponevroza. Njeno narastišče je na dlanski površini vseh petih dlančnic. Njena funkcija je upogibanje zapestja.
- podlahtična upogibalka zapestja (*m. flexor carpi ulnaris*) izhaja iz nadlahtnice (medialni epikondil) in se narašča na grašek in bazo 5. dlančnice. Njena funkcija je upogibanje in primikanje zapestja.
- povrhnja upogibalka prstov (*m. flexor digitorum superficialis*) izhaja iz podlahtnice (medialni epikondil), iz kavlja podlahtnice ter iz sprednje površine koželjnice in se narašča na srednjo prstnico od 2. do 5. prsta na dlanski površini (slika 1). Njene kite so na koncu razcepljene v dvoje. Funkcija je upogibanje srednje prstnice od 2. do 5. prsta.

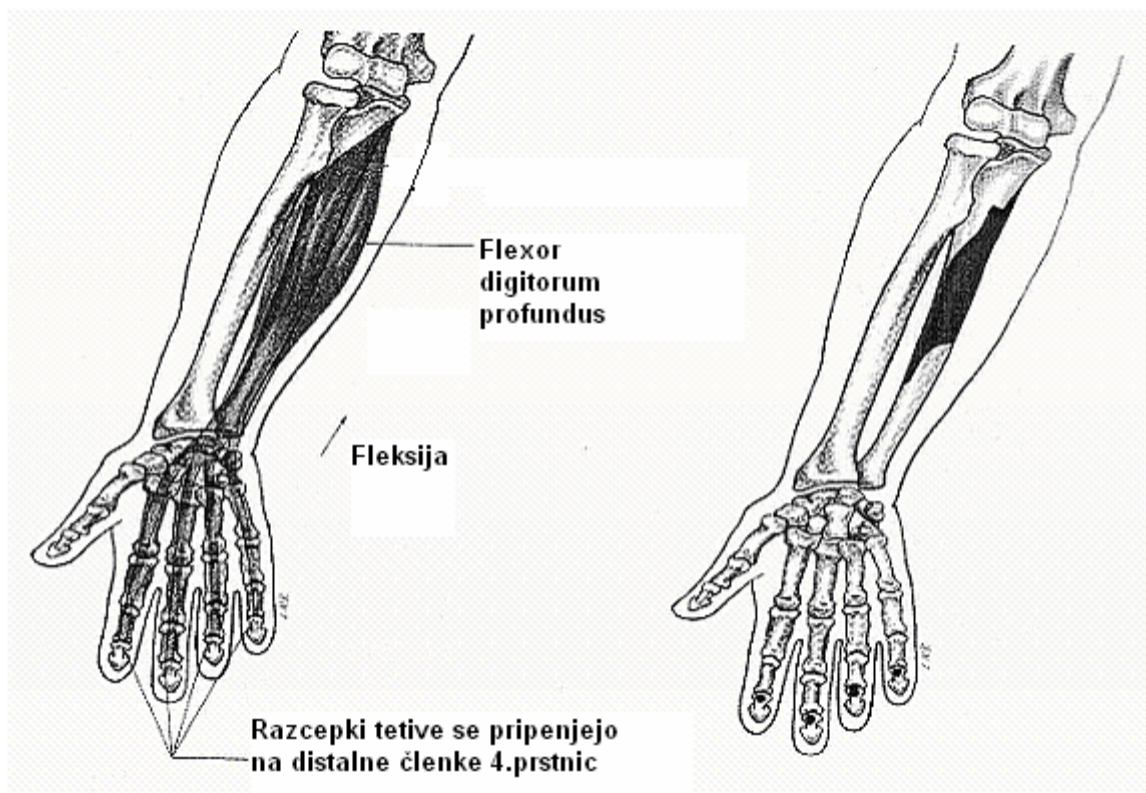
Slika 1: narastišča mišice *m. flexor digitorum superficialis* (Thompson & Floyd, 1998, stran 79)



b) globoka plast:

- globoka upogibalka prstov (*m. flexor digitorum profundus*) izhaja iz podlahtnice in se narašča na distalno prstnico od 2. do 5. prsta (slika 2). Njena funkcija je upogibanje distalne prstnice od 2. do 5. prsta.
- dolga palčna upogibalka (*m. flexor pollicis longus*) ima izhodišče na koželjnici in podlahtičnem kavljju, narašča pa se na bazo distalne palčeve prstnice.

Slika 2: narastišča mišice m. flexor digitorum profundus (Thompson & Floyd, 1998, stran 80)



Mišice lateralne skupine podlakta

Sem spadajo štiri mišice, katerih izhodišče sta lateralni epikondil in lateralni rob nadlahtnice. Vse mišice so na površini, razen supinatorja (*m. supinator*), ki se nahaja v globini.

Ekstenzorja zapestja:

- dolga koželjnična iztegovalka zapestja (*m. extensor carpi radialis longus*) ima izhodišče na lateralnem epikondilu nadlahtnice, narašča pa se na koničasti odrastek koželjnice.
- kratka koželjnična iztegovalka zapestja (*m. extensor carpi radialis brevis*) ima izhodišče na lateralnem epikondilu in lateralnem robu nadlahtnice, narastišče pa na bazi 3. dlančnice na hrbtni površini.

Mišice zadnje skupine podlakta

Njihovo izhodišče se nahaja na lateralnem robu epikondila nadlahtnice. Te mišice se nahajajo v povrhnji in globoki plasti.

Mišice povrhnje plasti:

- iztegovalka prstov (*m. extensor digitorum*) se narašča na distalne prstnice 2. in 5. prsta in ima funkcijo iztezanja prstov in roke.
- iztegovalka mezinca (*m. extensor digiti minimi*) se narašča na prstnico 5. prsta in izteza mezinec.
- podlahtnična iztegovalka zapestja (*m. extensor carpi ulnaris*) se narašča na bazo 5. dlančnice. Njena funkcija je iztezanje in primik zapestja.

Mišice globoke plasti:

- dolga palčna odmikalka (m. abductor pollicis longus) izhaja iz podlahtnice, koželjnice in medkostne opne in se narašča na bazo 1. dlančnice. Njena funkcija je odmik palca in roke.
- kratka palčna iztegovalka (m. extensor pollicis brevis) izhaja iz koželjnice in medkostne opne in se narašča na proksimalno palčevo dlančnico. Njena funkcija je iztezanje palca.
- dolga palčna iztegovalka (m. extensor pollicis longus) izhaja iz podlaktnice in medkostne opne in se narašča na distalno palčevo prstnico. Njena funkcija je iztezanje in odmik palca.
- kazalčeva iztegovalka (m. extensor indicis) izhaja iz podlahtnice in medkostne opne ter se narašča na distalno prstnico. Njena funkcija je iztezanje komolca.

1.1.2 PREGLED GIBALNIH AKCIJ PODLAKTA IN ROKE

Fleksija zapestja:

- dolga dlanska mišica (m. palmaris longus)
- podlahtnična upogibalka zapestja (m. flexor carpi ulnaris)
- koželjnična upogibalka zapestja (m. flexor carpi radialis)

Te tri mišice so najmočnejši fleksorji zapestja. Vključijo se v aktivnosti, ki zahtevajo upogibanje in stabilizacijo zapestja, posebno kadar je podlaket supinirana. Poleg tega pa pomagajo pri fleksiji komolca. Mišica palmaris longus je edini čisti fleksor zapestja zaradi centralne pozicije.

Ekstenzija zapestja:

- dolga koželjnična iztegovalka zapestja (m. extensor carpi radialis longus)
- kratka koželjnična iztegovalka zapestja (m. extensor carpi radialis brevis)
- podlahtnična iztegovalka zapestja (m. extensor carpi ulnaris)
- iztegovalka prstov (m. extensor digitorum)

Vsaka aktivnost, ki vključuje iztezanje zapestja, stabilizacijo zapestja, še posebno pri pronaciji podlakta, je v veliki meri odvisna od moči teh mišic. Poleg tega pomagajo tudi pri ekstenziji komolca.

Addukcija zapestja (primik):

- podlahtnična iztegovalka zapestja (m. extensor carpi ulnaris)
- podlahtnična upogibalka zapestja (m. flexor carpi ulnaris)

Abdukcija (odmik):

- dolga koželjnična iztegovalka zapestja (m. extensor carpi radialis longus)
- koželjnična upogibalka zapestja (m. flexor carpi radialis)
- dolga palčna odmikalka (m. abductor longus)

Fleksija prstov:

- povrhnja upogibalka prstov (m. flexor digitorum superficialis)
- globoka upogibalka prstov (m. flexor digitorum profundus)
- dolga palčna upogibalka (m. flexor pollicis longus)

Povrhnja in globoka upogibalka prstov sta edini mišici vključeni v fleksijo vseh štirih prstov (slika 1, slika 2). Obe imata pomembno vlogo pri prijemanju, torej imata ključno vlogo pri športnem plezanju. Obe tudi pomagata pri fleksiji zapestja. Dolga palčna upogibalka flektira palec, ki ima vitalno vlogo pri prijemanju, pomaga pa tudi pri upogibanju zapestja.

Ekstenzija prstov:

- iztegovalka prstov (m. extensor digitorum)
- iztegovalka mezinca (m. extensor digiti minimi)
- kratka palčna iztegovalka (m. extensor pollicis brevis)
- dolga palčna iztegovalka (m. extensor pollicis longus)
- kazalčeva iztegovalka (m. extensor indicis).

Iztegovalka prstov je edina mišica vključena v iztezanje vseh štirih prstov, pomaga pa pri ekstenziji zapestja. Kazalčeva iztegovalka je odgovorna za iztezanje kazalca, zlasti še ko so ostali prsti flektirani. Glavna funkcija iztezalke mezinca je pomoč iztezalke prstov pri ekstenziji mezinca. Dolga palčna iztegovalka izteza palec, pomaga ji kratka iztegovalka palca. Vse mišice skupaj pomagajo iztezati zapestje.

1.2 LASTNOSTI ŽIVČNOMIŠIČNEGA SISTEMA

1.2.1 MIŠIČNA ZGRADBA

Sestava mišične celice (miofibre):

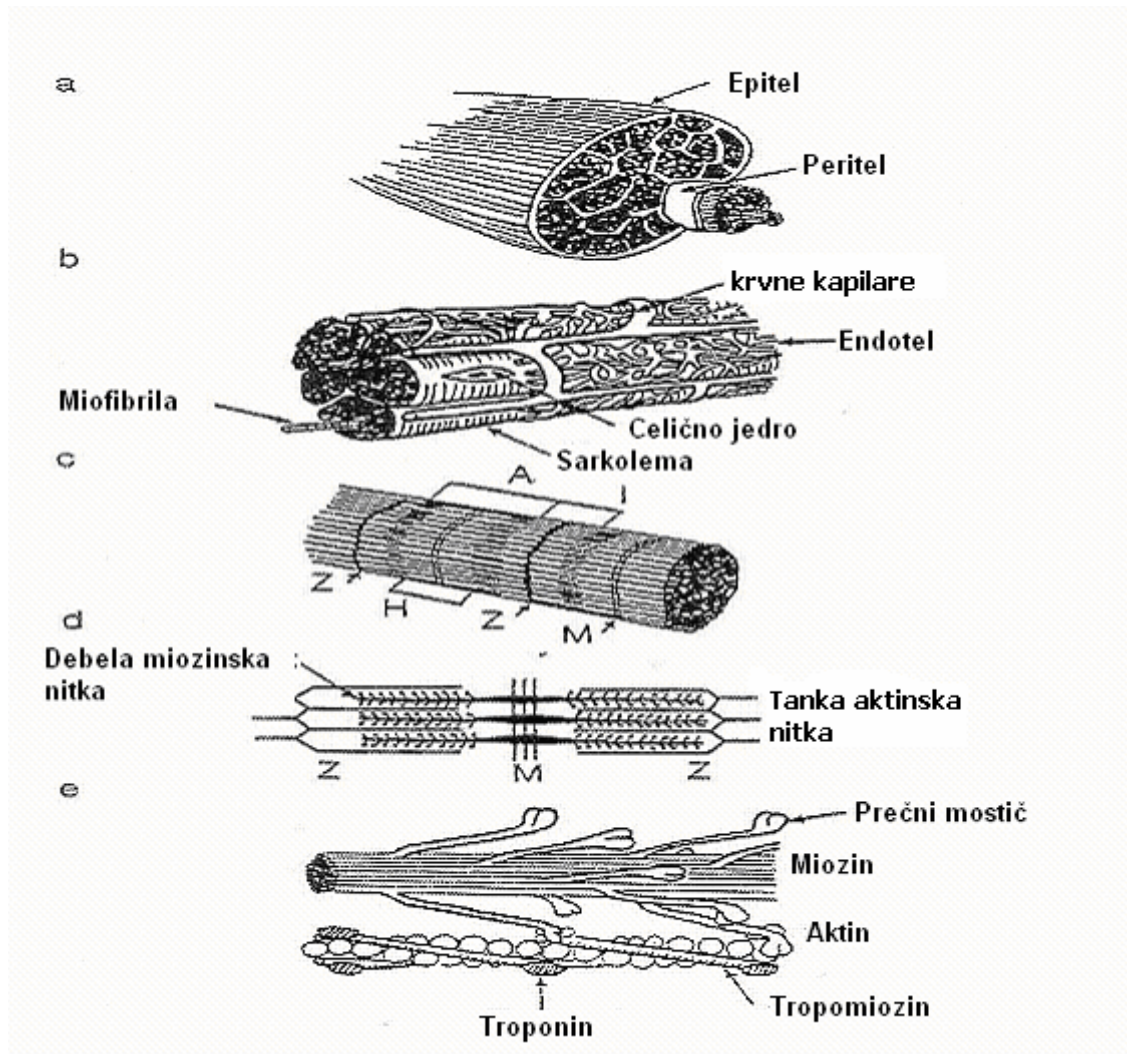
- citozol
- miofibrile
- mitohondriji
- sarkoplazemski retikulum
- golgijev aparat
- celična jedra.

Mišična celica je od zunajceličnega prostora ločena s celično membrano, imenovano sarkolema. Mišična celica vsebuje približno 75% vode in 20% beljakovin, ostalo so glikogen, trigliceridi, mioglobin, ATP, kreatin fosfat, elektroliti (kalij, natrij, kalcij, magnezij) in mikroelementi (železo, baker).

50% mišičnih beljakovin tvorijo miofilamenta aktin in miozin, strukturne beljakovine, uravnavne beljakovine in membrana, medtem ko predstavljajo encimi v citozolu in mitohondrijih preostalo polovico mišičnih beljakovin (Astrand & Rodhal, 1986).

Mišica se anatomsko deli na mišične snope, ki jih naprej razdelimo na mišična vlakna oz. celice (miofibre). Mišično vlakno sestavljajo mišična vlakenca (miofibrila). Mišično vlakence je zgrajeno iz mišičnih nitk (miofilamentov) (slika 3).

Slika 3: Zgradba skeletne mišice od celotne mišice do molekularne ravni: (a) celotna mišica, (b) skupina mišičnih vlaken, (c) miofibrila, (d) sarkomera, (e) miofilamenta aktin (tanek) in miozin (debel) (Enoka, 1994, stran 131)



Mišična vlakna lahko glede na anatomsko lego in funkcijo merijo v dolžino od 12-15 cm in prečno 0,1-0,2mm (Astrand & Rodhal, 1986). Mišični snopi in vlakna so obdana z vezivno ovojnico, ki vsebuje vezivna vlakna, ki so povezana s kolagenskimi vezivnimi vlakni v kite. Posamezno mišično vlakno je grajeno iz miofibril (dolžina 35-45 μm , širina 1-2 μm), ki jih sestavljajo miofilamenti, in sicer debele miozinske nitke in tanke aktinske nitke (Astrand & Rodhal, 1986). Vedno

se šestim aktinskim nitkam prilega ena miozinska (slika 3e). Ta razporeditev leži v sarkomeri, ki je najmanjša funkcionalna enota prečno progastih mišic (slika 3d).

1.2.2 MOTORIČNA ENOTA

Motorična enota je sestavljena iz α -motonevrona in mišičnih vlaken, ki jih ta živec s svojimi živčnimi končiči oživčuje. Število mišičnih vlaken, ki spadajo v posamezno motorično enoto, je zelo različno, in sicer od 5 do 2000 (Astrand & Rodahl, 1986).

V eni motorični enoti so mišična vlakna enega tipa (tip 1, tip 2a, tip 2b) (Astrand & Rodahl, 1986). Od velikosti motoričnega živca je odvisno, katera mišična vlakna bo inerviral (npr. hitri α -motonevron ima velik prečni presek aksona in debelo mielinsko ovojnico ter oživčuje hitra mišična vlakna tipa 2b).

Posamezni tipi mišičnih vlaken so različno porazdeljeni po posameznih mišicah. Katera vlakna bodo prevladujoča, je v veliki meri odvisno od dedne determiniranosti. Kljub temu pa za določene mišice velja, da imajo večje število določenega tipa mišičnih vlaken, pri čemer je to pogojeno z njihovo rabo in anatomsko zgradbo (npr. m. soleus surae ima pretežno počasna mišična vlakna, kar je v skladu z njeno funkcijo...neprestano ohranjanje pokončne drže in ravnotežja, hoja) (Astrand & Rodahl, 1986).

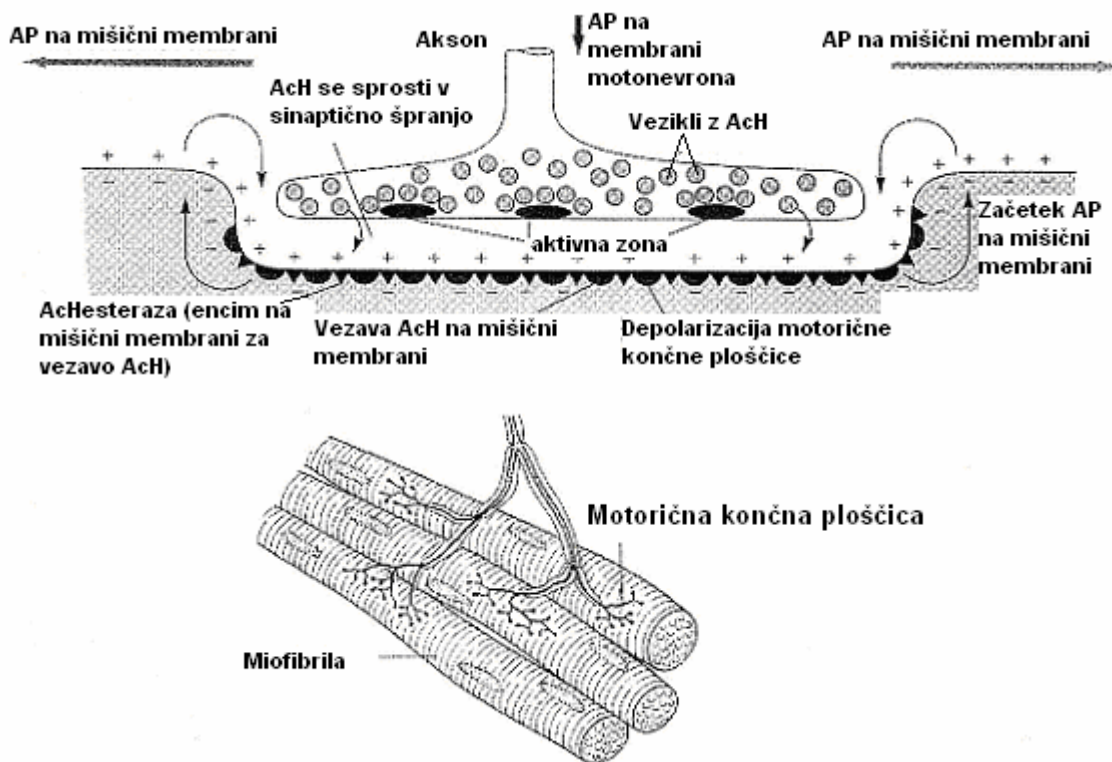
1.2.3 MOTORIČNI ŽIVEC (motonevron)

Motonevron predstavlja vez med centralnim živčnim sistemom in mišico. Morfološka zgradba motonevrona sestoji iz štirih elementov: telesa celice (soma), dendritov, aksona in končičev aksona. Akson meri v širino od 10 do 20 μm in v dolžino od 1 mm do 1 m. Obdan je z mielinsko ovojnico, ki vpliva na hitrost prevodnosti impulza po aksonu. Pri dveh aksonih enake debeline, kjer je en obdan z mielinsko ovojnico in je drugi brez nje, je hitrost prevodnosti impulza desetkrat večja pri mieliniziranem vlaknu. Tako je hitrost mieliniziranega vlakna približno od 60 do 100 m/s in nemieliniziranega od 6 do 10 m/s (Foss & Keteyian, 1998).

1.2.4 MOTORIČNA KONČNA PLOŠČICA IN AKCIJSKI POTENCIAL

Motorična končna ploščica predstavlja sinapso med živcem in mišično celico, na kateri se elektrokemični dražljaj, ki pride po α -motonevronu s sproščanjem kemičnega transmittora acetilholina (Ach) v sinaptično špranjo, prenese na mišično celico. Ko se Ach transmittor veže na Ach receptor, pride do depolarizacije postsinaptične membrane mišične celice, kar povzroči prehajanje Na^+ v celico in K^+ iz celice (slika 4).

Slika 4: Motorična ploščica oz. živčnomišični stik in propagacija akcijskega potenciala s pomočjo kemičnega prenašalca acetilholina (Brooks, Fahey & White, 1996, str. 336; povzeto po Vander, Sherman & Luciano, 1980, str. 224)



V mirovanju znaša koncentracija Na (natrija) v mišični celici približno 10-20 mmol/l in K (kalija) 160-170 mmol/l, zunaj nje pa Na 140-150 mmol/l ter K 3-5 mmol/l (Astrand & Rodhal, 1986).

Pri depolarizaciji sarkoleme se znotrajcelična koncentracija Na zviša na 40mmol/l, koncentracija K pa zmanjša. Posledica tega je, da se potencial membrane spremeni od približno -90 mV na 30 mV. To privede do akcijskega potenciala, ki doseže svoj vrh približno 5ms po dražljaju (Astrand, & Rondhal, 1986). Po uspešni depolarizaciji in vzpostavitvi AP (akcijskega potenciala) se za repolarizacijo porabi približno enak čas, pri čemer se s pomočjo Na-K ATP-aze Na črpa iz celice, K pa v celico. Menjava Na-K se odvija v razmerju nekje 3:2 s porabo 1mol ATP. Pri tem je Na-K ATP-aza stimulirana pretežno s povečano koncentracijo Na v celici (Astrand & Rodhal, 1986).

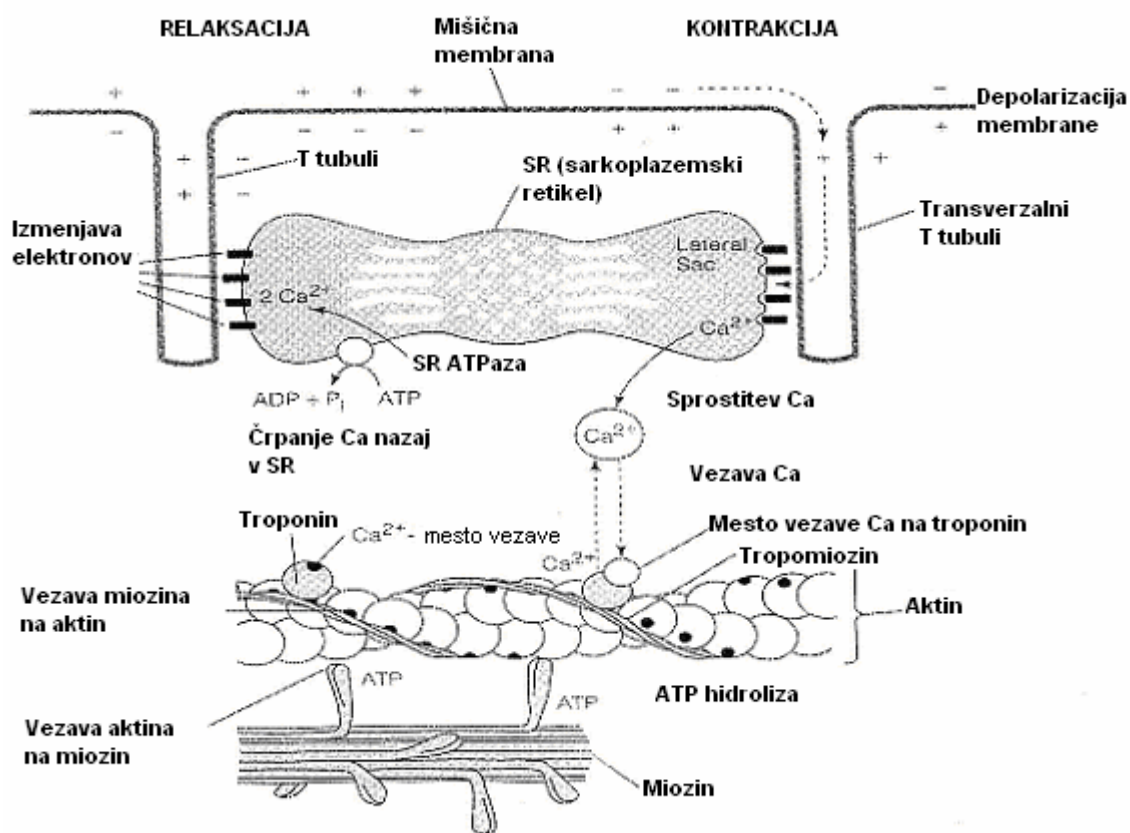
Po repolarizaciji se za kratek čas doseže hiperpolarizacija celične membrane. Potem se ponovno vzpostavi potencial membrane v mirovanju (slika 5). V fazi de in repolarizacije mišična celica ni vzdražljiva. Z depolarizacijo spremenjen električni naboj na sarkolemi potuje naprej po transverzalnih tubulih v notranjost mišične celice in sproži sproščanje Ca (kalcija) iz longitudinalnih tubulov sarkoplazemskega retikula (slika 5). Ca se nahaja v vrečastih izboklinah sarkoplazemskega retikula v kalcijevih cisternah, ki se nahajajo v bližini Z-linije in I-proge sarkomere. S sproščanjem Ca iz sarkoplazemskega retikula v citoplazmo

se njegova koncentracija poviša od 0,1 mmol/l na 10 mmol/l (Astrand & Rodhal, 1986).

1.2.5 MIŠIČNA KONTRAKCIJA

Model drsenja miofilamentov prikazuje interakcijo aktinske in miozinske nitke, ki privede do razvoja sile in napetosti ter skrajšanja mišičnega vlakna (t.i. cikel prečnih mostičev). V stanju mirovanja so miozinske glavnice pokončne in zasedene z ATP. Po hidrolizi ATP v ADP in P se elektrostatični odboj med miozinsko glavnico in aktinsko nitko zmanjša. S sproščanjem Ca iz cistern sarkoplazemskega retikula v citoplazmo, kjer koncentracija preseže 5 mmol/l, se Ca veže na troponin C in aktivira troponin T, ki premakne tropomiozin v žlebove aktinske nitke (t.i. kalcijeva disinhibicija). S tem se omogoči vezava globularnih glavic miozina na aktinsko nitko.

Slika 5: Prenos akcijskega potenciala po transverzalnih tubulih, sprostitvev Ca iz sarkoplazmatskega retikula in Ca-jeva disinhibicija (Brooks, Fahey & White, 1996, str. 339; povzeto po Vander, Sherman & Luciano, 1980, str. 222)



Vezava miozina in aktina poviša aktivnost encima aktin-miozin ATP-aze (Astrand & Rodhal, 1986).

Pri kontrakciji se aktinska nitka premika v smeri proti M-liniji. Pri tem se sarkomera skrajšuje in napetost povišuje. V fazi pretrganja vezi med aktinom in miozinsko glavnico se sprosti ADP, ki ga zamenja ATP. Pri aktivnem transportu

Ca nazaj v sarkoplazemski retikulum se tropomiozin pomakne iz žlebička aktinske nitke in zasede mesta miozinskih glavic na aktinu. Pri interakciji miozina in aktina sodeluje na eno miozinsko nitko šest aktinskih nitk. Pomembno pri tem je, da niso vse miozinske glavice vezane na aktinsko nitko istočasno, kar omogoča gladko drsenje miofilamentov.

MEHANIZEM TEORIJE DRSENJA MIOFILAMENTOV (Foss & Keteyian, 1998)

- 1 - Pri počitku je ATP na prečnem mostičku nespremenjen, aktinska in miozinska nitka sta nepovezani, Ca je shranjen v sarkoplazmatskem retikulu.
- 2 - Pri vzdraženju se Ca iz sarkoplazmatskega retikula sprosti v sarkoplazmo in se veže na troponin. Aktivna mesta na aktinu so odkrita, vez med aktinom in miozinom je vzpostavljena.
- 3 - Med kontrakcijo razpade ATP, sprosti se kemična energija, ki se pretvori v mehansko delo s premikom prečnega mostička proti sredini sarkomere.
- 4 - Sledi ponovna napolnitev prečnega mostička z ATP. Prečni mostiček se odcepi od aktinske nitke in se veže na novo mesto vezave na aktinu.
- 5 - Ko vzdraženost preneha, se Ca povrne nazaj v sarkoplazmatski retikulum s pomočjo Ca črpalke, tropomiozin pa ponovno zasede aktivna mesta vezave na aktinu. Mišica je sproščena.

1.3 MEHANIZMI AKTIVACIJE MIŠIC – rekrutacija, frekvenčna modulacija in sinhronizacija

Mišična sila je pri zavestnem mišičnem krčenju rezultat zaporedja mnogih dejavnikov (Edwards, 1978), ki se sprožijo s proizvodnjem živčnih dražljajev v možganih. Začetno vlogo ima limbični sistem, ki proizvede motivacijo za gibanje. Preden pa pride do razvijanja mišične sile, se mora zgoditi določena veriga fizioloških dogodkov:

- **centralni del:** aktivacija premotoričnega področja možganske skorje, bazalnih ganglijev in malih možganov, proženje akcijskih potencialov motorične skorje ter prehajanje po odvodnih poteh, aktivacija spodnjih motoričnih nevronov v možganskem deblu in hrbtenjači ter prevajanje akcijskih potencialov po motoričnih aksonih do živčno-mišičnih sinaps;
- **periferni del:** nastanek in širjenje sarkolemičnega akcijskega potenciala, sproščanje Ca ionov iz sarkoplazmatskega retikula ter vzpostavljanje prečnih mostičev (McComas, 1996)

Ker povezavo med centralnim in perifernim delom predstavlja živčno-mišični stik oz. motorično ploščico, preko katere se prenašajo akcijski potenciali, je temeljna funkcija živčne celice (nevrona) ravno prenos teh potencialov. Mesto, na katerem se le-ti prenašajo z nevrona na nevron, se imenuje sinapsa.

Kot sem že omenil omogočajo prenos akcijskih potencialov posebne kemične substance (acetilholin), od praga vzdražnosti nevrona pa je odvisno, ali se bo impulz prenesel naprej ali pa se bo prekinil.

Akcijski potencial predstavlja sprožilni znak za procese, ki omogočajo pretvorbo akcijskega potenciala v silo:

- širjenje dražljaja po transverzalnih tubulih v notranjost mišične celice
- povezanost transverzalnih tubulov z razširitvami sarkoplazmatskega retikula povzroči odpiranje Ca kanalov v membrani cistern
- prehajanje Ca v sarkoplazmo
- vplivanje Ca na regulacijske proteine tako, da je možna povezava med aktinom in miozinom (Ca se veže na troponin C, ta vez premakne troponin I stran od miozina ATP-aze (prekine se njegova inhibicija) in troponina T tako, da potegne tropomiozin stran od specifičnih vezanih mest na aktinu).

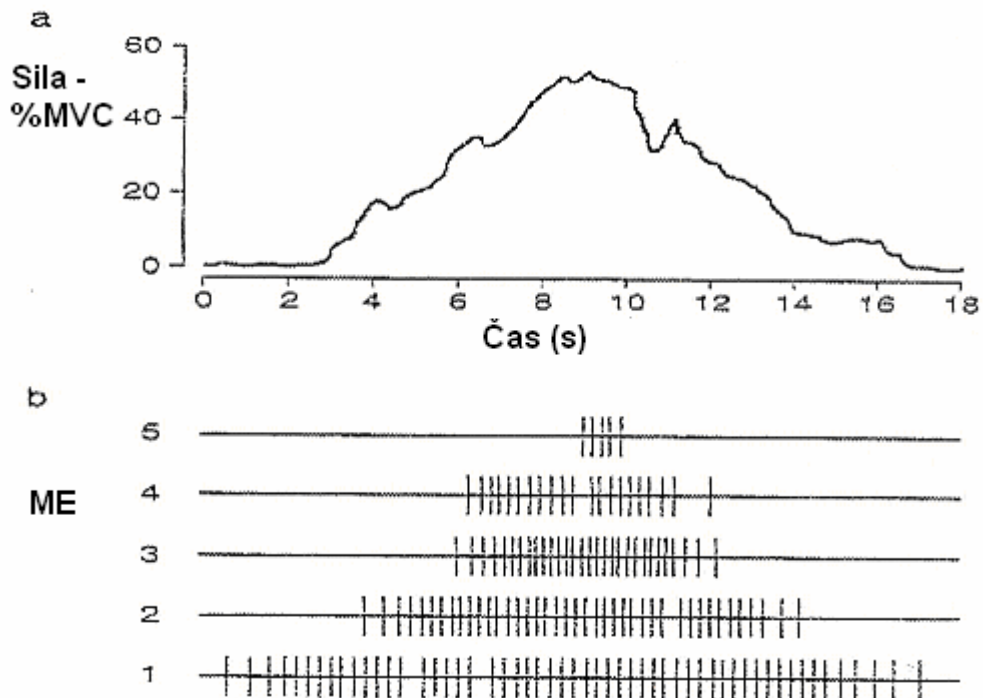
Sila, ki jo mišica razvije, je odvisna od nivoja aktivacije vsakega posameznega mišičnega vlakna, njegove dolžine in hitrosti krčenja. Od koncentracije Ca ionov, ki se nahajajo v sarkoplazmi, je odvisen nivo aktivacije mišičnega vlakna.

Motorični nevron neposredno aktivira mišične celice in povzroči mišično krčenje. Akcijski potencial, ki povzroči kontrakcijo motorične enote, aktivira vsa mišična vlakna v njej. Ker je sila, ki jo proizvaja motorična enota, poleg drugih parametrov odvisna tudi od števila aktiviranih mišičnih vlaken, lahko velike motorične enote proizvedejo večjo mišično silo kot majhne motorične enote. Pri ugotavljanju tipa mišičnih vlaken v velikih in majhnih motoričnih enotah v mačji mišici gastrocnemius medialis je bilo ugotovljeno, da obstaja tendenca, da manjše motorične enote vsebujejo počasna mišična vlakna, večje pa hitra mišična vlakna (Wuerker, McPhedran & Henneman, 1965). Manjše motorične enote oživčuje tanek motorični nevron, ki ima nižji prag ekscitacije kot debeli motorični nevron, ki oživčuje večje motorične enote (Henneman & Olson, 1965).

Mišico sestavlja več motoričnih enot in zaradi tega je možno silo spreminjati z različnim številom aktiviranih motoričnih enot (rekrutacija motoričnih enot) in z velikostjo aktivacije že aktiviranih motoričnih enot (frekvenčna modulacija).

Načelo velikosti je prvi dejavnik, ki odloča o vključevanju motoričnih enot. Motorične enote, ki jih oživčujejo majhni motorični živci, bodo vključene prve in motorične enote, ki jih oživčujejo veliki motonevroni, bodo vključene zadnje (Henneman, 1979 ; Enoka & Stuart, 1984). Tako organizirana aktivacija motoričnih enot se imenuje Hennemanov princip velikosti (Henneman, 1981).

Slika 6: Rekrutacija in postopno vključevanje različnih motoričnih enot pri stopnjevani kontrakciji do 50% maksimalne sile (Enoka, 1994, str. 194)

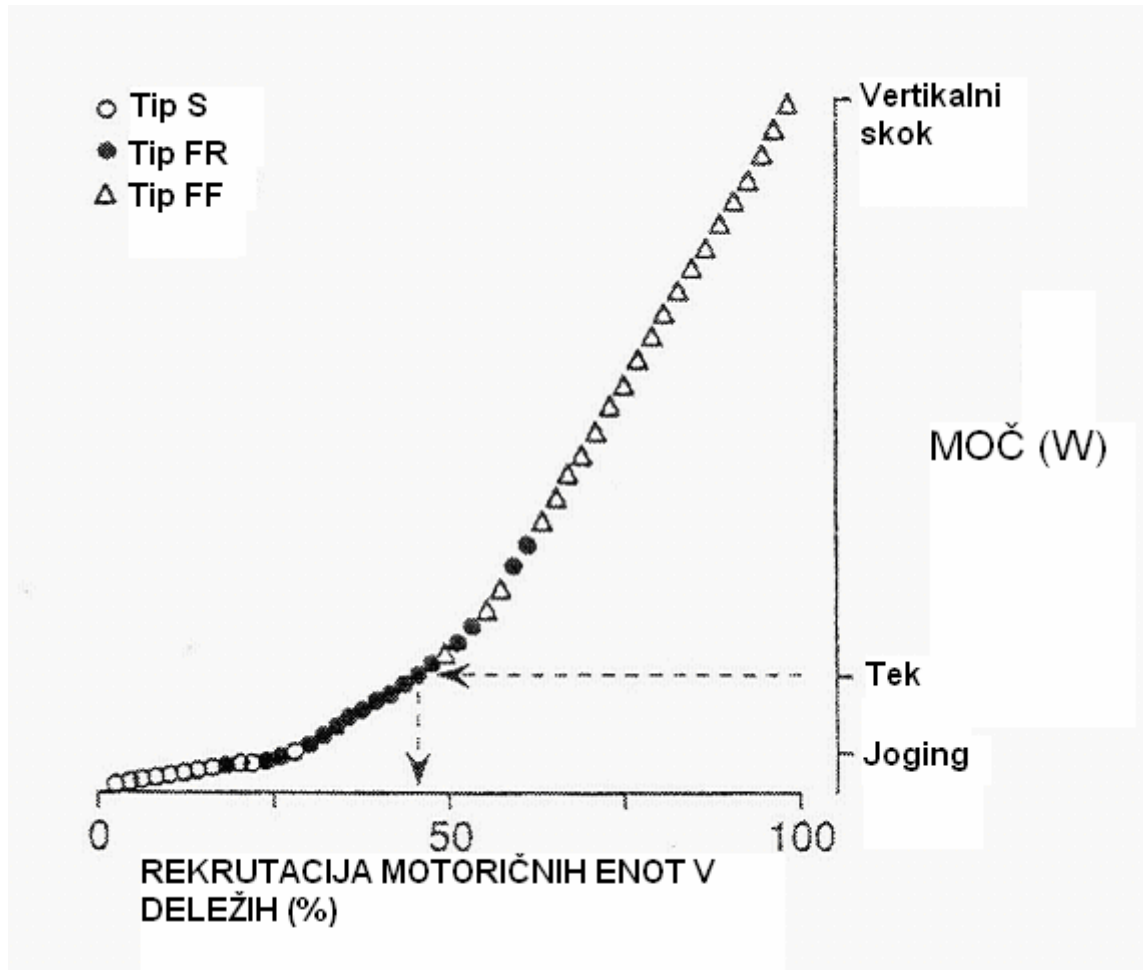


Vrstni red rekrutacije motoričnih enot je določen in nanj ni možno zavestno vplivati. Več kot je motoričnih enot aktiviranih oziroma rekrutiranih, večja je mišična sila. Ko je posamezna motorična enota enkrat rekrutirana, ostane aktivna, dokler sila ne popusti. Na sliki 6 je prikazan princip rekrutacije in derekrutacije motoričnih enot. Motorična enota 1 se vključi prva in izključi zadnja, in sicer ko sila pade. Sila doseže plato takrat, ko se preneha aktiviranje novih motoričnih enot oziroma ko se že aktiviranim motoričnim enotam ne spreminja frekvenca akcijskih potencialov. Velikost mišične sile se zmanjšuje z izklapljanjem motoričnih enot v obratnem vrstnem redu kot so bile aktivirane. Prva se tako izklopi motorična enota 5, ki se je zadnja rekrutirala. Slika 6 prikazuje idealiziran model naraščanja sile brez spreminjanja frekvenca akcijskih potencialov (frekvenčna modulacija).

Sila v mišici skoraj vedno narašča zaradi večanja števila rekrutiranih motoričnih enot in hkratnega povečevanja frekvenca akcijskih potencialov v rekrutiranih motoričnih enotah. Kljub temu pa velja pravilo, da je začetno naraščanje sile v večji meri kontrolirano s sistemom rekrutacije motoričnih enot (slika 6). Ko so rekrutirane vse motorične enote, je naraščanje sile odvisno le še od frekvenčne modulacije. Pri nekaterih mišicah (npr. mišicah dlani, kot je adductor pollicis longus) so verjetno vse motorične enote rekrutirane že pri 50% maksimalne sile (Enoka, 1994). Pri drugih mišicah (npr. biceps brachii) pa poteka rekrutacija vse do 85% maksimalne sile (Kukulka & Clamann, 1981). Nad te vrednosti lahko naraste mišična sila le še s povečanjem frekvenca proženja akcijskih potencialov.

Z večanjem hitrosti gibanja se povečuje število rekrutiranih motoričnih enot (slika 7). Pri počasnem teku so aktivirane počasne motorične enote (tip S) in hitre motorične enote (tip FR), ki so odporne na utrujanje. Zaradi vrstnega reda rekrutacije motoričnih enot se z večanjem hitrosti vključujejo vedno večje in hitrejše motorične enote (tip FF).

Slika 7: Hipotetični model rekrutacije motoričnih enot glede na zahteve gibalne naloge (Enoka, 1994, str. 196)



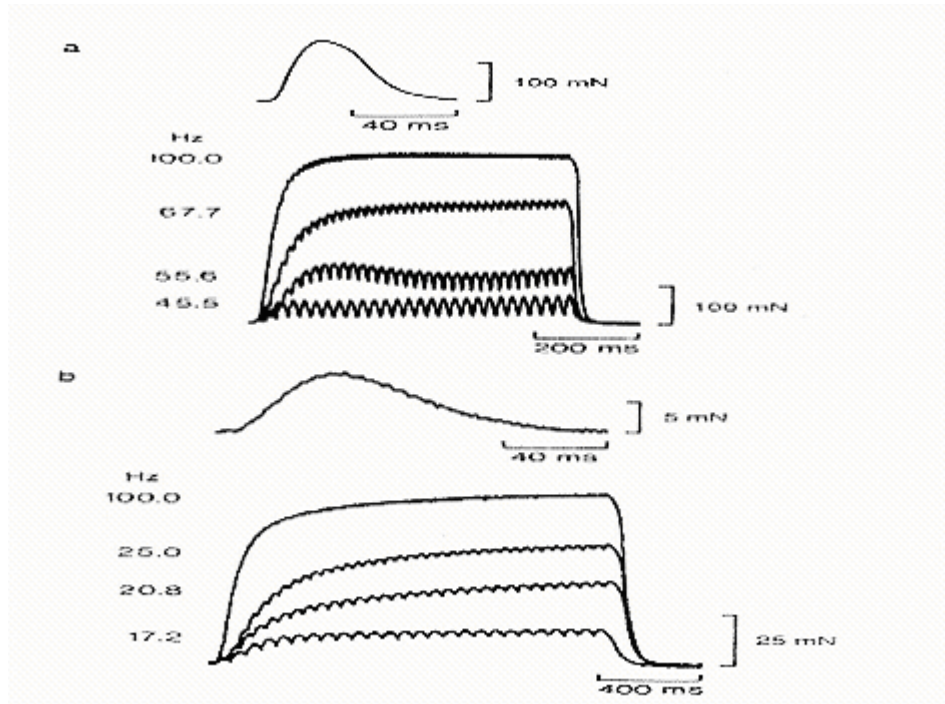
Ker pa velikost motorične enote ni odvisna samo od tipa mišičnih vlaken, pride do prekrivanja med tipoma S in FR ter tipoma FR in FF v velikosti in vrstnem redu rekrutacije (Stuart & Enoka, 1983). To je razlog, zaradi katerega ni mogoče selektivno aktivirati počasne ali hitre motorične enote.

Načelo velikosti motoričnih enot je pomembno predvsem zaradi naslednjega:

- manjša utrujenost zaradi racionalnega vključevanja motoričnih enot (vlakna, ki so najbolj odporna na utrujanje, se prva vključijo in zadnja izključijo);
- naraščanje sile je s pomočjo selektivno aktiviranih motoričnih enot sorazmerno z velikostjo sile, pri kateri je vključena posamezna motorična enota (Loeb & Ghez, 1997).

Razmerje med silo in frekvenco proženja motorične enote ni linearno. Ta pojav se lahko prikaže z električno stimulacijo motorične enote z različnimi frekvencami in hkratnim merjenjem sile. Prikažemo ga lahko kot razmerje sile in frekvence, ki ima obliko črke S. Dejansko razmerje med obema je odvisno od dolžine mišice. Pri daljših mišicah se v prvi fazi naraščanja sile krivulja premakne v levo in se poveča njena strmina.

Slika 8: odziv a) hitrih in b) počasnih motoričnih enot na draženje z različnimi frekvencami. Pri hitrih sila hitreje narašča in doseže višje vrednosti in obratno pri počasnih. Pri slednjih je opaziti večji odziv na draženje z nizkimi frekvencami (Enoka, 1994)



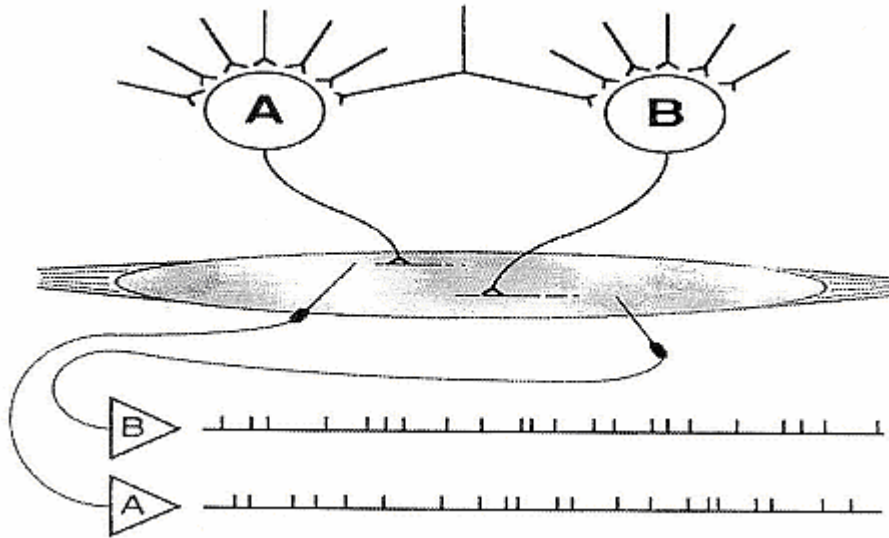
Razmerje med silo in frekvenco ne odgovori na vprašanje, kako se frekvenca dejansko spreminja pri zavestnih gibih. Gydikov in Kosarov (1974) sta glede na velikost frekvence akcijskih potencialov razdelila motorične enote na tonične in fazne. Pri toničnih motoričnih enotah frekvenca naraste že pri malih silah in se tudi pri naraščanju sile bistveno ne spremeni (slika 8b). Pri faznih motoričnih enotah pa frekvenca narašča z naraščanjem mišične sile (linearen odnos) (slika 8a). Tonične motorične enote so bolj odporne na utrujenost, saj proizvajajo nižje frekvence akcijskih potencialov in se rekrutirajo že pri manjših silah. Fazne motorične enote pa so pomembnejše pri dinamičnih zahtevah gibanja in prispevajo več k mišični sili.

Obseg spremembe rekrutacije in frekvenčne modulacije je različen za posamezne mišice. Če se pri 50% maksimalne sile rekrutirajo že vse motorične enote (nekaterih mišic dlani), potem je nadaljne naraščanje sile do 100% maksimalne sile odvisno le še od frekvenčne modulacije. Drugače je pri mišicah, kjer sila narašča do 85% maksimalne sile na račun rekrutacije, preostalih 15% pa na račun frekvenčne modulacije. Začetno naraščanje sile (do 50% maksimalne

sile) je pri vseh mišicah odvisno od hkratnega naraščanja rekrutacije in frekvenčne modulacije (Person & Kudina, 1972; Monster & Chan, 1977).

Sila, ki jo proizvede mišica, je poleg rekrutacije in frekvenčne modulacije odvisna tudi od vzorca proženja akcijskih potencialov (Windhorst, 1988). Za razvijanje največje sile je pomembna sinhronizacija motoričnih enot (slika 9).

Slika 9: dve motorični enoti prejemata mnogo akcijskih potencialov in nekaj teh je nanizanih v istem časovnem intervalu – lahko se zgodi sinhron odziv, ki se rezultira v potenciranju sile (Enoka, 1994, str. 200)



Sinhronizacija pomeni časovno ujemanje aktivacije vsaj dveh motoričnih enot, skoraj istočasno ali v točno določenem časovnem zaporedju znotraj mišice (slika 9). Training moči povečuje stopnjo korelacije proženja akcijskih potencialov motoričnih enot v trenirani mišici (Milner – Brown, Stein & Lee, 1975), kar pomeni, da naj bi povečanje sinhronizacije vplivalo na povečanje moči.

Zavestna aktivacija mišic je poleg naštetih dejavnikov odvisna tudi od lastnosti same mišice. S tem mislim na mehanske in strukturne lastnosti mišice. Najpomembnejši lastnosti sta prav gotovo prečni presek mišice (število kontraktilnih elementov) in razmerje mišičnih vlaken (predvsem delež hitrih mišičnih vlaken).

1.4 ENERGIJSKI PROCESI V SKELETNI MIŠICI

Mišica je organ, v katerem se kemična energija spreminja v mehansko in rezultat tega je produkcija mišične sile in opravljeno mehansko delo (razen v izometričnih pogojih).

Mišice za svoje delovanje potrebujejo energijo. V organizem prihaja s hrano, ki se v prebavilih razgradi v elementarne dele. Za pokrivanje energijskih potreb mišične funkcije, kot tudi za delovanje ostalih organskih sistemov, so pomembni predvsem ogljikovi hidrati in maščobe.

Presnova glikogena (glukoze) in maščob v mišičnih celicah (trigliceridov) ustvarja visoko energijsko spojino adenzin-trifosfat (ATP). Neposredna energija, potrebna za mišično delo, se tvori s cepitvijo energijsko bogatih kovalentnih vezi, ki povezujejo atome te visoko energetske spojine (Astrand & Rodhal, 1986).

ATP razpade v procesu hidrolize na ADP, neorganski fosfat in energijo. Del te energije se porabi za mišično delo, ostalo pa se pretvori v toplotno energijo.

Ker je zaloga ATP v mišici omejena, zadostuje le za nekaj kontrakcij in se mora nenehno obnavljati. Obnova poteka s presnovo različnih goriv po treh metaboličnih poteh:

1 – anaerobna alaktatna pot

Najhitrejša resinteza ATP je z razgradnjo kreatin fosfata (CrP) po poti

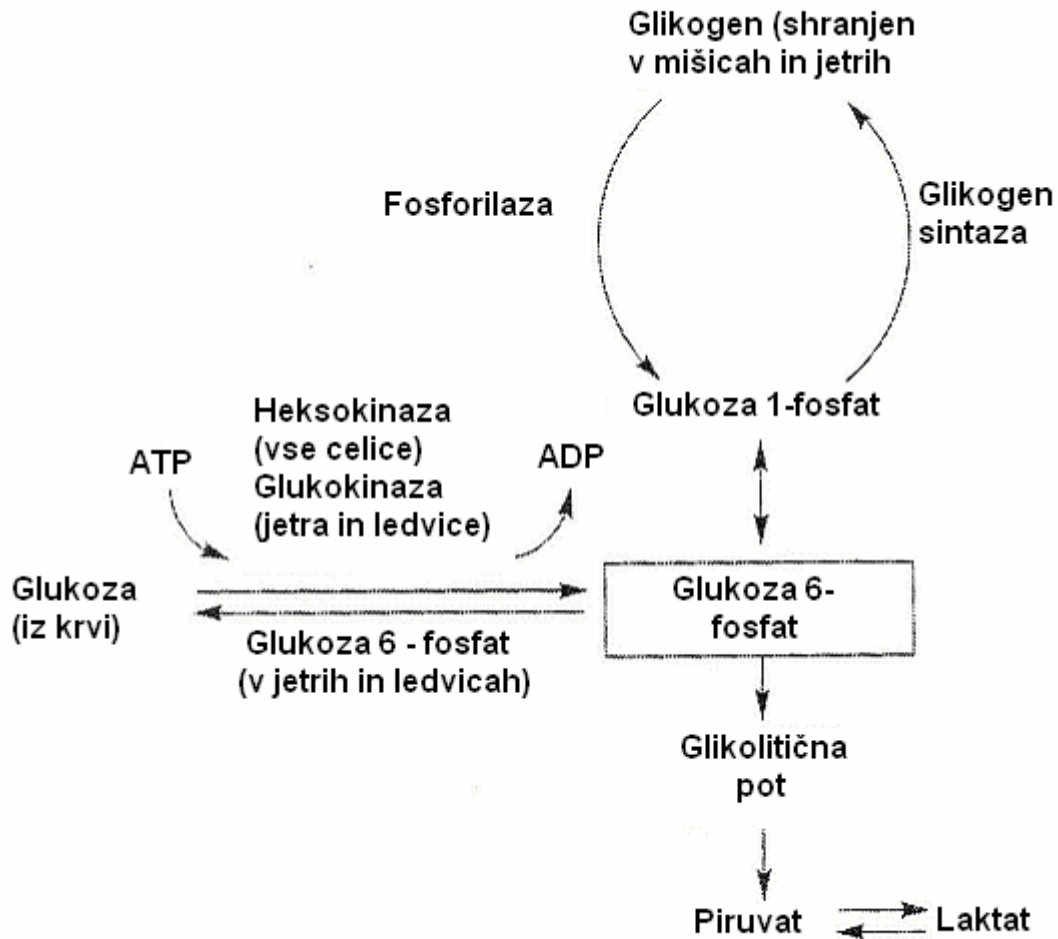
$ADP + CrP \rightarrow ATP + Cr$ (resinteza poteka s pomočjo encima kreatin kinaze).

Količina CrP v mišici je približno štirikrat večja od zaloga ATP, vendar se pri zelo intenzivnih naporih izčrpa že po 4 – 5 sekundah. Celotna intermuskularna zaloga fosfagenov (zaloga ATP in CrP) zadošča le za 6 – 8 sekund maksimalno intenzivnih naporov (Bravničar, 1990).

2 – anaerobna laktatna pot

Ti procesi resinteze ATP potekajo počasneje od anaerobno alaktatnih, toda imajo večjo kapaciteto. Anaerobni laktatni procesi pokrivajo energijske potrebe pri tistih največjih intenzivnostih, ki trajajo maksimalno 60 – 90 sekund največjega mišičnega naprežanja (Bravničar, 1990). Kot substrat nastopajo izključno ogljikovi hidrati (glikogen in glukoza; procesi glikolize in glikogenolize) (slika 10). Kot produkt teh metaboličnih procesov se tvori mlečna kislina, ki pa se nahaja v območju fizioloških vrednosti Ph v svoji disociirani obliki. Razpade na laktatne in vodikove ione. Visoka acidoza v organizmu (nizek Ph), kot posledica visoke koncentracije vodikovih ionov, je najpomembnejši omejitveni dejavnik metaboličnih procesov (Jones, 1980). Visoka acidoza tako močno ovira tudi učinkovitost nevro-mišičnega prenosa in prenos živčnih impulzov v mišični celici (Sahlin, 1986).

Slika 10: Glukoza 6-fosfat igra osrednjo vlogo pri usmerjanju anaerobnih laktatnih energijskih procesov (Brooks, Fahey & White, 1996, str.68)



3 – aerobna pot resinteze ATP

V aerobnem metaboličnem procesu se kot gorivo razgrajuje glikogen (glukoza) in (ali) maščobe.

Organske substance (OH, B, M) ob prisotnosti kisika razpadejo na ogljikov dioksid in vodo, pri tem se sprosti energija, ki se porablja za resintezo ATP. V primerjavi z anaerobnim laktatnim je aerobni metabolizem kompleksnejši in bolj zapleten. Poteka v večih fazah ob prisotnosti različnih encimov, ki uravnavajo ustrezne kemične reakcije.

Resinteza ATP po aerobni poti poteka najpočasneje. Svoj polni razvoj doseže šele po nekaj minutah aktivnosti, vendar pa časovno ti procesi nimajo omejitve, saj so zaloge glikogena, predvsem pa maščobne zaloge dovolj velike za dolgotrajno mišično delo pri zmerni intenzivnosti.

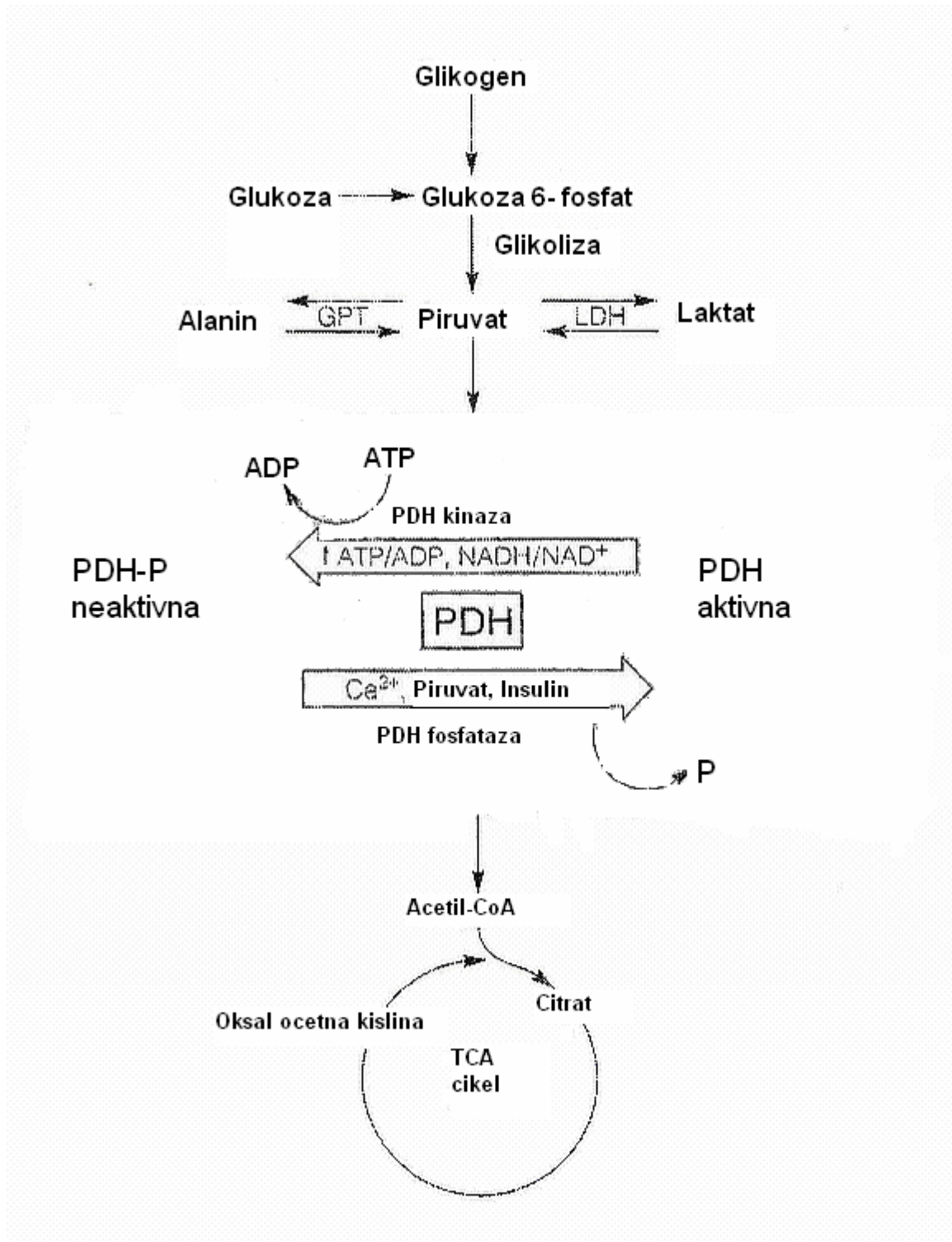
Razgradnja glikogena (glukoze) se prične s procesom glikogenolize (glikolize) (slika 10, slika 11). Ta proces je skupen aerobnemu in anaerobnemu laktatnemu procesu. Ob sodelovanju številnih encimov poteka do nastanka piruvata in vodikovih ionov. Ob zadostni oskrbi mišice s kisikom sledi še druga in tretja faza aerobnega metabolizma (krebsov cikel in respiratorna veriga) (Astrand & Rodhal, 1986).

Oksidacija organskih substanc poteka v mitohondrijih ob prisotnosti encimov Krebsovega cikla in respiratorne verige. Ogljikovi hidrati, beljakovine in maščobe oksidirajo po skupni poti (preko osrednje kemične spojine acetil koencima A (CoA) stopajo v Krebsov cikel) (slika 11). Presnova maščob se v začetni fazi razlikuje od presnove glikogena in glukoze. Maščobe se transformirajo v maščobne kisline in glicerol ter nato v procesu beta oksidacije in preko acetil CoA vstopajo v Krebsov cikel.

Piruvat vstopa v Krebsov cikel, vodikovi ioni, nastali ob glikogenolizi in vodikovi ioni iz Krebsovega cikla pa v respiratorno verigo, kjer se v procesih dehidrogenacije vežejo s kisikom. Nastane ogljikov dioksid in voda – končna produkta aerobnega metabolizma (Guyton, 1978).

Najvišjo kemično energijsko vrednost imajo maščobe, vendar zahtevajo pri svoji presnovi več kisika (zato ima glede na količino porabljenega kisika glukoza višjo kemično vrednost).

Slika 11: Aktivnost encima PDH (piruvat dehidrogenaza) pospešuje izrabo glukoze v krebsovem ciklu (Brooks, Fahey & White, 1996, str. 88)



1.5 VRSTE MIŠIČNEGA NAPREZANJA

Moč se navzven manifestira z mišičnim naprežanjem. Ločimo dve vrsti mišičnega naprežanja:

- koncentrično-izometrično mišično naprežanje
- ekscentrično-koncentrično mišično naprežanje.

Glede na gibanje mišičnih pripojev lahko ločimo tri temeljne načine mišičnega naprežanja:

- izometrično mišično naprežanje (mišični pripoji mirujejo)
- koncentrično mišično naprežanje (mišični pripoji se približujejo)
- ekscentrično mišično naprežanje (mišični pripoji se oddaljujejo).

Čistega izometričnega naprežanja pravzaprav ni. Čeprav mišični pripoji mirujejo, pa prihaja do premikov v sami mišici. Z naraščanjem števila aktiviranih prečnih mostičev narašča mišična sila, ki razteza tetive te mišice. Tetivi se podaljšata, zato nastaja zamik aktinskih glavic oziroma drsenje miofilamentov, ki je značilno za koncentrično mišično kontrakcijo. Drsenje se konča, ko se zunanje in notranje sile uravnotežijo, to pa je odvisno od togosti tetiv.

Najpogosteje se v življenju pojavlja ekscentrično-koncentrično mišično naprežanje, ki ima pred drugimi nekatere prednosti. Temeljna značilnost takšnega mišičnega delovanja je možnost povečati silo v fazi koncentrične kontrakcije in opraviti delo z manjšo porabo kemične energije mišic na račun njihovih prožnih lastnosti.

Če z zadostno hitrostjo raztegnemo aktivno mišico, bo sposobna razviti večjo silo kot pri maksimalni izometrični kontrakciji. Velikost sile je odvisna od hitrosti raztezanja ter od števila aktivnih prečnih mostičev in lahko preseže maksimalno izometrično silo tudi za 40% (Strojnik, 1990).

Velikost mišične napetosti v mišični celici je odvisna od frekvence proženja živčnih impulzov in prečnega preseka mišičnega vlakna. Vsak živčni impulz povzroči dvig napetosti v mišični celici. Če naslednji impulz sledi prvemu v dovolj kratkem času, se sumira (nalaga) na napetost prvega, kar povzroča naraščanje napetosti (Guyton, 1978 ; Enoka, 1994). Največja mišična napetost je dosežena pri tetanični kontrakciji, ki jo povzročijo impulzi s frekvenco 30-80 Hz (Guyton, 1978).

1.6 KLASIFIKACIJA MIŠIČNE UTRUJENOSTI

Zmanjšanje nivoja učinkovitosti pri obremenitvi se kaže predvsem v upadu največje kontraktilne sile kot posledica sprememb kontraktilnih karakteristik mišice.

Gre tudi za spremembe časovnih parametrov mišične kontrakcije:

- čas in hitrost mišične kontrakcije

- čas in hitrost mišične relaksacije

Te spremembe je mogoče obravnavati kot posledico (Edwards, 1975):

- biofizikalnih sprememb v mišici (sprememba v prenosu električnih impulzov ter spremembe elektrolitskega ravnovesja v celici, ki povzročajo spremembe v prepustnosti celične membrane)
- biokemijskih sprememb (upad energijskih mišičnih potencialov, pomanjkanje encimov in zmanjšanje encimske učinkovitosti)
- zmanjšanje elastičnosti mišične strukture.

Naštete posledice mišične utrujenosti je mogoče obravnavati kot poslabšanje učinkovitosti enega, največkrat pa večih segmentov v verigi upravljanja mišične funkcije.

Za načrtovanje procesa vadbe je zelo pomembno, kje je izvor utrujenosti, katera mišična kontraktilna struktura (počasna ali hitra) je v določeni obremenitvi bolj izpostavljena, kakšno vrsto utrujenosti povzroča posamezno obremenitev.

Glede na izvor obremenitve lahko stanje znižane mišične učinkovitosti razdelimo na (Bigland – Ritchi, 1978) :

- centralno utrujenost
- periferno utrujenost.

Centralno utrujenost opisujejo naslednji indikatorji:

- upad motivacije
- znižana učinkovitost kortikospinalne povezave
- znižana učinkovitost vključevanja – aktiviranja motonevronov.

Najpomembnejši vzroki periferne utrujenosti so:

- znižana funkcija perifernih živčnih zvez
- motnje v električni aktivaciji mišičnih vlaken
- motnje v širjenju akcijskega potenciala vzdolž mišice (spremenjena ionska koncentracija kalija in natrija v ekstracelularni tekočini)
- motnje transporta kalcija
- motena kontraktilnost zaradi nižje učinkovitosti ustreznih encimov (predvsem ATP-aze)
- motnje energijske presnove zaradi izčrpanja fosfagenov in ustreznih encimov za druge energijske metabolične poti.

Značilnosti periferne utrujenosti lahko razdelimo na:

- nizkofrekvenčno periferno utrujenost
- visokofrekvenčno periferno utrujenost.

Katera vrsta periferne utrujenosti določa zmanjšanje gibalne učinkovitosti pa določa nivo intenzivnosti obremenitve.

Zelo intenzivne obremenitve z visoko frekvenco proženja živčnih impulzov (80Hz in več) povzročajo visokofrekvenčno utrujenost, ki se manifestira predvsem v oslabeledosti nevromuskularnega prenosa in v širjenju akcijskega potenciala (Edwards, 1975).

Utrujenost pri nižje intenzivnih obremenitvah, pri katerih je frekvenca živčnih impulzov navadno od 10 – 30Hz, pa povzroča oslabeledost predvsem v neposrednem kontraktilnem mehanizmu zaradi izražene acidoze kot posledice laktatne razgradnje v energijskih procesih, kar negativno vpliva na encimske procese v kontraktilnih mišičnih akcijah. Nizkofrekvenčna utrujenost se tako pojavlja pri obremenitvah laktatnega tipa (razgradnja mišičnega glikogena) (Edwards, 1975).

1.6.1 VPLIV KRVNEGA PRETOKA NA MIŠIČNO KRČENJE

Mišice med krčenjem pretvarjajo kemično energijo v mehansko delo. Zaradi tega je bilo veliko pozornosti namenjene proučevanju virov energije in njihovi porabi kot možnemu vzroku utrujenosti. Izčrpanje zalog virov energije je gotovo eden izmed pomembnejših razlogov za pojav utrujenosti v večini primerov (Bigland - Ritchie, 1987). Ostali dejavniki, ki vplivajo na raven energijskega izkoristka, pa se nanašajo na spremembe homeostaze v mišici (na primer spremembe vrednosti pH zaradi kopičenja laktata). Ustrezen pretok krvi skozi mišico je predpogoj za zadostno energijsko oskrbo mišice in vzdrževanje homeostatskega ravnovesja v mišici. Zato pretok krvi skozi mišico igra osrednjo vlogo pri preprečevanju mišične utrujenosti (Sjøgaard, 1987).

Znano je namreč, da ni mogoča obnova mišične sile kot tudi hitrosti mišičnega krčenja, dokler ni vzpostavljena ponovna oskrba mišice s kisikom (Bigland - Ritchie, 1987).

Velikost pretoka krvi skozi mišico je odvisna od sledečih dejavnikov:

- povprečnega arterijskega krvnega pritiska (PAKP)
- venskega krvnega pritiska (VKP)
- lokalnega žilnega (vaskularnega) upora (LVU).

Odnos med njimi določa Haagen-Poiseuille-ova enačba, ki pravi, da se pretok krvi skozi mišico poveča, kadar se poveča povprečni arterijski krvni pritisk (PAKP) ali zmanjša lokalni žilni upor (LVU), medtem ko se pretok zmanjša, kadar se venski krvni pritisk (VKP) in/ali lokalni žilni upor (LVU) povečata (Sjøgaard, 1987).

Spremenljivki venski krvni pritisk (VKP) in lokalni žilni upor (LVU) sta odvisni tudi od znotrajmišičnega pritiska. Kadar se znotrajmišični pritisk poveča, se pritisk na notranji strani žil zmanjša. Ker so žile elastične strukture, se v trenutku, ko pritisk na notranji strani žil doseže kritično nizko točko, delno ali popolnoma sesedejo. Zaradi tega se poveča lokalni žilni upor (LVU). Za venski krvni pritisk (VKP) se

domneva, da je enak znotrajmišičnemu pritisku, in glede na to naj bi pretok krvi skozi mišico postal ničelen v trenutku, ko se znotrajmišični pritisk izenači ali preseže povprečni arterijski krvni pritisk (PAKP) (Sjøgaard, 1987).

Pri nekaterih tipih mišične aktivnosti lahko pride do pomembnega zmanjšanja produkcije mišične sile in/ali moči kljub temu, da analiza obremenjenih mišic ne pokaže očitnih sprememb v njihovi biokemični sestavi oziroma kopičenja stranskih produktov metabolizma in izrabe goriv (Bigland - Ritchie s sodelavci, 1986). Zdi se verjetno, da je v teh primerih eden izmed razlogov za zmanjšanje produkcije mišične sile in/ali moči poslabšanje živčomišičnega prenosa med živčnimi končiči in mišico, ki jo oživčujejo (Aldrich s sodelavci, 1986; Bigland - Ritchie, 1987; Milner - Brown in Miller, 1986).

Naslednji pomemben dejavnik, ki prav tako lahko predstavlja enega izmed vzrokov za pojav utrujenosti, je sposobnost centralnega živčnega sistema, da vzdržuje potrebno raven prenosa vzdraženja do nižje ležečih motoričnih živcev (spinalni živci) oziroma pogona živčnih impulzov, brez katerih se mišice ne morejo krčiti, ne glede na to kako izdatna je njihova oskrba s kisikom ali z energijskimi substrati (Bigland - Ritchie, 1987).

1.6.2 VISOKO INTENZIVNO NEPREKINJENO IZOMETRIČNO MIŠIČNO KRČENJE

Povečevanje znotrajmišičnega pritiska v mišicah iztegovalkah kolena je bilo glede na raziskave (Sadomoto s sodelavci, 1983) razloženo s povečevanjem napetosti v teh mišicah. Ugotovljeno je bilo, da je pretok krvi skozi mišice iztegovalke kolena prekinjen že pri približno 50% največjega zavestnega mišičnega krčenja (Sjøgaard, 1987).

Različne raziskave so prišle do nasprotujočih si rezultatov o tem, pri katerem odstotku največjega zavestnega mišičnega krčenja je pretok krvi skozi mišico prekinjen. Sjøgaard s sodelavci (1986) meni, da bi bila lahko ena izmed razlag za takšne ugotovitve ta, da je povečevanje znotrajmišičnega pritiska različno med posameznimi mesti v mišični skupini in je med drugim odvisno tudi od globine v mišici. Tako lahko do delnega zapiranja krvnih žil in oviranja pretoka krvi skozi mišico pride že pri vrednostih, ki so veliko nižje kot 50% največjega zavestnega mišičnega krčenja in tudi že pri okrog 20 % največjega zavestnega mišičnega krčenja (Edwards s sodelavci, 1972).

Nekatere raziskave utrujenosti, ki se pojavlja pri največjem zavestnem neprekinjenem izometričnem mišičnem krčenju, so pokazale vzporedno upočasnjevanje delovanja motoričnega živca in hitrosti krčenja mišice (Bigland - Ritchie s sodelavci, 1983). Ugotovitve teh raziskav kažejo na možnost, da je doseganje zgornje meje delovanja motoričnega živca, ki jo je še mogoče doseči zavestno, uravnavano na način, da zadosti minimumu potrebnemu za največjo mišično aktivacijo. Pomeni, da se raven vzdraženosti, ki je potrebna za tetanično zlitje posameznih mišičnih krčenj, znižuje skupaj z upočasnjevanjem hitrosti krčenja mišice. Zdi se, da delovanje motoričnega živca ovira zaviralni refleks, katerega izvor je v mišici in ki nastane kot odgovor na eno izmed mnogih

sprememb, ki jih povzroča utrujenost. Vzrok za nastanek refleksa se pripisuje predvsem presnovnim dejavnikom (Bigland - Ritchie, 1987).

1.6.3 OKLUZIJA

Okluzija pomeni popolno prekinitev pretoka krvi. Do tega pride v različnih mišicah pri različnem odstotku maksimalnega zavestnega krčenja (Sadamoto, Bonde-Petersen & Suzuki, 1983). Barnes (1980) je ugotovil, da pride do okluzije v mišicah podlakti v povprečju pri 63,5% MVC (maximal voluntary contraction) (močnejši testiranci pri 51,5% in šibkejši testiranci pri 75,5% MVC) (povzeto po: Larsson S., Zhang, Larsson R., Cai & Oeberg, 1996).

Do okluzije pride zato, ker se znotrajmišični tlak poveča bolj kot znaša tlak krvi. Tlak v mišicah zato stisne kapilare. Mišični tlak se povečuje sorazmerno s silo mišičnega krčenja. Pri izometrični kontrakciji z maksimalno intenzivnostjo je znotraj mišični tlak največji. Kapilare v mišicah podlakti se zaradi visokega znotrajmišičnega pritiska stisnejo. Najprej se stisnejo kapilare globokih mišic, kasneje pa tudi tistih bližje površini. To potrjuje Sadamoto et al. (1983), ki so ugotovili, da je lahko v globokih mišicah podlakti znotrajmišični tlak med aktivnostjo do 50% višji kot v površinskih mišicah.

Pri okluziji lahko mišica pridobiva energijo v največji meri na anaerobni način z glikolizo, saj postane mišica zaprt sistem. Glikoliza (glikogenoliza) je zaporedje biokemičnih reakcij v citoplazmi, pri kateri se glukoza in glikogen razgrajujeta v piruvat, pri tem pa se obnavlja ATP (Stryer, 1991). Kadar kisika primanjkuje, se večina piruvične kisline pretvori v mlečno kislino (laktat) kot končen produkt.

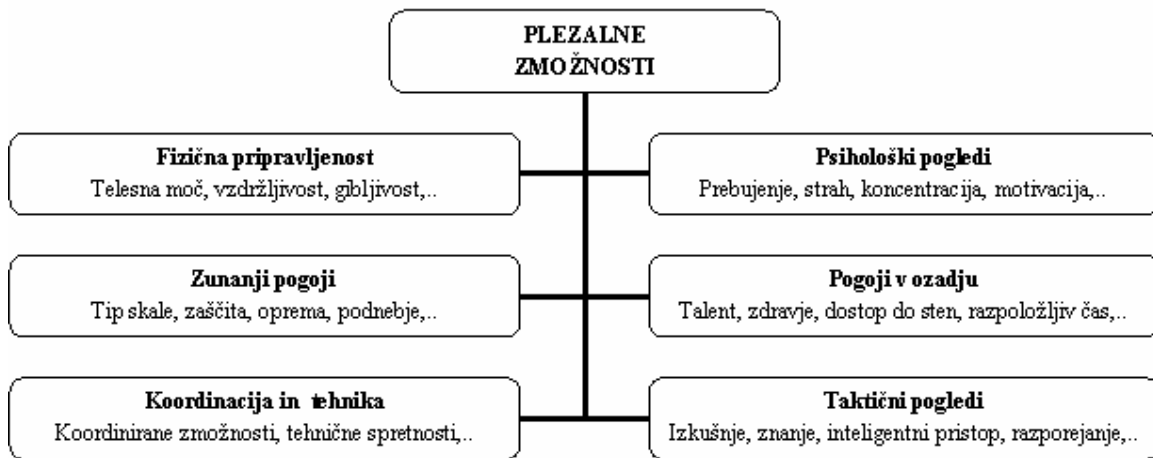
Pri submaksimalnem izometričnem krčenju pa je pretok krvi v mišicah podlakti delno oviran zaradi povečanega mišičnega tlaka. Ker je ohranjanje pretoka krvi ključno za delovanje mišice, se z različnimi mehanizmi bori proti temu pojavu. Uravnavanje med samim krčenjem poteka s pomočjo povečane koncentracije vazodilatacijskih snovi, kot so ogljikov dioksid, kalij, laktat, histamin, adenzin in druge, ter z znižanjem P_{O_2} (Shephard & Plyley, 1995).

2 PREDMET IN PROBLEM

Športno plezanje je relativno mlada športna panoga, saj se je njen hitrejši razvoj začel šele v sedemdesetih letih 20. stoletja.

Ker gre pri športnem plezanju za reševanje skalnih in stenskih problemov brez pomoči tehničnih pripomočkov, se pravi izključno z močjo in lokalno vzdržljivostjo mišic rok, ramenskega obroča, trupa in nog ter uspešnostjo uporabe kakovostne in racionalne gibalne tehnike, so ti dejavniki tudi ključni omejitveni dejavniki plezalske uspešnosti.

Slika 12: Dejavniki, ki vplivajo na plezalne zmožnosti (Goddard & Neumann, 1993)



Eden izmed ključnih dejavnikov uspešnosti pri športnem plezanju je tudi specifična moč in vzdržljivost mišic upogibalk prstov. Glavne mišice, ki so odgovorne za fleksijo prstov in produkcijo sile pri plezalskih gibih, so sledeče: povrhnja upogibalka prstov (fleksor digitorum superficialis), globoka upogibalka prstov (m. fleksor digitorum profundus) in dolga palčna upogibalka (m. fleksor pollicis longus).

Ker je v športnem plezanju moč upogibalk prstov in s tem uspešnost velikega razvoja sile ter sposobnost dolgotrajnega vztrajanja v submaksimalni obremenitvi lahko eden ključnih dejavnikov gibalne uspešnosti pri športnem plezanju, hočem preizkusiti v okviru metod vadbe aktivacije samostojno sestavljen vadbeni program, s katerim bi omenjene sposobnosti izboljšal.

Z metodami vadbe aktivacije dosežemo izboljšanje živčne stimulacije mišic, kar vpliva na nivo rekrutacije mišičnih vlaken, izboljšanje prevajanja akcijskih potencialov (povečanje vzdražnosti) s t.i. izboljšanjem frekvenčne modulacije ter sinhroniziranjem odzivnosti različnih motoričnih enot na akcijske potenciale, kar se vse skupaj rezultira v silovitejšem odzivu pri produkciji sile v kontraktilnih elementih mišice. Ker so vsi ti parametri v tesni povezavi s prevajanjem živčnih impulzov in aktiviranjem mišičnih vlaken preko živčno-mišičnega stika motoričnih enot, se povdarek vadbe aktivacije odraža v adaptaciji teh parametrov v okoliščinah največjih intenzitet, kar optimizira mišični odziv v produkciji sile in

zmanjša razliko med mišičnim potencialom v produkciji sile ter največjo zavestno kontrakcijo mišice.

Po Ušaju (1996) je definiranih več metod za razvijanje silovitosti mišičnega krčenja, kar je osnovni princip vadbe aktivacije.

2.1 Metode za povečanje silovitosti mišičnega krčenja

1.) metode za povečanje silovitosti izometričnega krčenja:

metoda največjih izometričnih krčenj:

Metoda uporablja samo izometrično krčenje v vadbi. Primerna je tudi v primeru poškodb, saj omogoča vadbo z zdravimi mišicami. Posamezno krčenje traja 5-8 sekund, naredimo 2-4 ponovitve v 3 serijah z vmesnim odmorom 1-2 min. Odmor med serijami traja od 3-5 minut. (Ušaj, 1996)

2.) metode za povečanje silovitosti največjega koncentričnega krčenja:

največja koncentrična krčenja:

Metoda uporablja napor samo okrog 100% intenzivnosti z nekaj ponovitvami. Se pravi 100%max 5-krat. Odmori med ponovitvami trajajo 3-5min.

kvazimaksimalna koncentrična krčenja:

Metoda uporablja piramidni način obremenjevanja:

90%max	3-krat
95%max	2 do 1-krat
97%max	1-krat
100%max	1-krat
100%max+1kg	1-krat

Odmori med serijami trajajo 3-5 minut. (Ušaj, 1996)

3.) metode za povečanje silovitosti ekscentričnega krčenja:

metoda največjega ekscentrično-koncentričnega krčenja:

Navadno to vrsto vadbe tvorijo poskoki z dodatnim bremenom (t.i. woodboulder....enoročni in soročni preprijemi). Dodatna obtežitev znaša do 15% največje mase, ki jo lahko premagamo enkrat. Opravimo 3-5 ponovitev v eni seriji in 3-5 serij. Odmor med serijami traja 5 minut. (Ušaj, 1996)

metoda supermaksimalnih mišičnih krčenj:

Breme je 100-150%max s 1-3 ponovitvami, število serij je 6-10, počitek med serijami pa 3-5 min. (Goddard & Neumann, 1993)

4.) Visoko frekvenčna električna stimulacija:

Z elektrostimulacijo željenih mišic s frekvenco 100 Hz ob hratni maksimalni zavestni izometrični kontrakciji stimuliranih mišic se od vseh naštetih metod

kažejo najhitrejše spremembe v izboljšanju mišične aktivacije (ključni problem v uporabnosti te metode je oprema, ki je precej draga).

2.2 Predstavitev eksperimentalne metode

V okviru obravnavanih metod sem se odločil sestaviti lastni trenažni protokol, s katerim bi dosegel izboljšanje aktivacije mišic upogibalk prstov ter s tem posledično prirastek k produkciji sile in moči v prstih.

Ker so prsti kot anatomski telesni segment gibljivi v treh sklepih, in sicer v sklepu s kostmi dlani (dlančnice) ter v dveh sklepih, ki med seboj povezujeta prstne kosti (prstnice), in imajo pripenjališča upogibalk na 1. (distalnem) in 2. členku prstov, je razvoj sile oz. produkcija moči tako različna glede na to, v katerih sklepih ju želimo generirati oz. drugače rečeno ni vseeno, ali so v gib oz. neko specifično obremenitev vključeni vsi sklepi ali pa v primeru prstov le najbolj distalen sklep.

V svoji raziskavi sem se osredotočil na konice prstov na roki v položaju zaprtega ali odprtega prijema, se pravi na najbolj distalna sklepa, v katerih zahteva razvijanje sile največji napor ter pretežno obremenjevanje globokih fleksorjev prstov (m. fleksor digitorum profundus).

Ker uspešnost oz. sposobnost velike produkcije sile pomeni veliko prednost v situacijah največjih intenzivnosti in obremenitev (npr. uspešnost reševanja balvanskih problemov) ter verjetno tudi nižji napor enake submaksimalne obremenitve (npr. težavnostno plezanje), sem se odločil sestavljeni protokol testirati in ugotoviti njegovo uporabnost v praksi.

Metoda vsebuje obremenjevanje ozko lociranih mišic podlahti, ki so odgovorne za fleksijo prstov, s pomočjo uporabe dodatnih bremen:

TRENING AKTIVACIJE

1) Izhodišče.....TT + breme max. / 3 sek = 100% oz. max.obremenitev
npr. TT = 70kg ; breme max. =30kg....skupaj = 100kg/ 3s (MAX)
če delamo pri 85% MAX, to pomeni v tem primeru 85kg

2) Obremenjevanje po tednih:

a) intenzivnost:

- 1. teden & 2. teden....85% MAX
- 3. teden & 4. teden....90% MAX
- 5. teden....95% MAX

b) količina: minutni ciklusi....

(5 sek vesa + 5 sek odmor) 6 krat...1. serija; odmori med serijami 3-5 min; 3 krat tedensko (vsaj en dan odmora med treningi)

- 1. teden....1.dan / 3 serije ; 2.dan / 3 ; 3.dan / 3
- 2. teden....1.dan / 4 serije ; 2.dan / 4 ; 3.dan / 4
- 3. teden....1.dan / 3 serije ; 2.dan / 3 ; 3.dan / 3
- 4. teden....1.dan / 4 serije ; 2.dan / 4 ; 3.dan / 4
- 5. teden....1.dan / 3 serije ; 2.dan / 3 ; 3.dan / 3

3) Ogrevanje:

- kroženje z rokami (20 krat + poskoki, naprej-nazaj)
- kroženje s podlahtmi (20 krat, naprej-nazaj)
- 10 sklec + 5 zgib
- vesa 2 krat 10sek na velikem oprijemu
- 100 stiskov pesti (z ali brez gumice)
- 4 krat vesa na 2.5cm po 5sek brez dodatnega bremena

4.) Formula izračuna obremenitve: max je časovno določen=3sek

(TT-telesna teža + B-teža bremena max) × %MAX

npr. (54kg + 20kg) × 95% = 70.3kg...70-54=16kg...naše dod. breme

Trening aktivacije je izvajala le eksperimentalna skupina. Obe skupini pa sta ohranili osnovni trening oziroma plezalno vadbo dvakrat tedensko na plezalni steni v ŠPK Andreja Kokalja.

3 CILJI EKSPERIMENTA

- ugotoviti izboljšanje sposobnosti maksimalne moči upogibalk prstov kot posledico trenažnega protokola
- ugotoviti izboljšanje moči upogibalk prstov na submaksimalnem nivoju zaradi vplivov trenažnega protokola
- pokazati na uporabnost trenažnega protokola v praksi

4 HIPOTEZE

- v testu max. čas visenja na 1,5 cm polički z obremenitvijo lastne teže ni vpliva trenažnega procesa
- v testu max. čas visenja na 2,5 cm polički z obremenitvijo lastne teže ni vpliva trenažnega procesa
- v testu največja izometrična kontrakcija mišic upogibalk prstov z obremenitvijo prvih členkov na 1,5 cm polički z dodatnim bremenom ni vpliva trenažnega procesa
- v testu max. čas visenja na treh prstih na 2,5cm polički z obremenitvijo lastne teže ni vpliva trenažnega procesa
- v testu čas vese na eni roki na velikem oprijemu ni vpliva trenažnega procesa
- v testu stisk pesti ni vpliva trenažnega procesa

Vse hipoteze bodo testirane na stopnji tveganja 5%. Ker bo vpliv metode preverjen na šestih različnih testih, bo stopnja tveganja prilagojena po Bonferronijevi korekciji, torej bo nulta hipoteza zavrnjena, če bo statistična značilnost manjša od $5\% / 6 = 0,833\%$.

5 METODE DE LA

5.1 POTEK TESTIRANJ

Začetno in končno testiranje je bilo izpeljano v gimnastični dvorani Fakultete za šport v Ljubljani.

Vsem udeležencem je bila na začetku obeh testiranj izmerjena telesna teža (ATT) na elektronski tehtnici z natančnostjo meritve $\pm 0,1$ kg. Udeleženci so bili oblečeni v športna oblačila, v katerih so kasneje tudi izvajali vse teste.

Prvi test je bila meritev stiska pesti s pomočjo električnega dinamometra z natančnostjo meritve ± 1 N. Pri tem se je meritev ponovila dvakrat, pri čemer se je upošteval boljši rezultat. Ročaj električnega dinamometra je bilo potrebno prijeto na sredini in izvesti stisk z dominantno roko. Pri tem je merjenec stal sproščeno, pri čemer je držal ročaj v roki, ki je bila spuščena ob telesu.

Sledilo je ogrevanje po sledečem protokolu:

- 5 minutni lahkotni tek
- kroženje s podlahtmi naprej in nazaj 20 krat
- 10 poskokov z vrtenjem rok naprej in nazaj
- 10 sklec
- 15 pritegov kolen na prsa v vesi na ribstolu
- 100 stiskov pesti
- 5 izometričnih kontrakcij na 2,5 cm polički po par sekund.

Drugi test je bil test max. čas visenja na 1,5 cm polički z obremenitvijo lastne teže. Pri tem so merjenci izvajali veso v zaprtem ali odprtem oprijemu pri čemer se je meril čas vztrajanja v vesi do odpovedi. Merilec je uporabljal namensko štoparico z natančnostjo meritve $\pm 0,1$ sek. Merjenci so si sledili v vrstnem redu, ki je ostal enak kot pri prvem testu. Test se je izvajal na plezalni deski.

Tretji test je bil test največja izometrična kontrakcija mišic upogibalk prstov z obremenitvijo prvih členkov na 1,5 cm polički z dodatnim bremenom. Merjenci so morali vztrajati v vesi vsaj 3 sek, da se jim je meritev štela za veljavno. Pri tem so se jim dodajala bremena po 2,5 in 5 kg, s katerimi smo jih obremenili preko ramenskega obroča s pomočjo nahrbtnika (ob tem se je asistiral od zadaj s pridržanjem nahrbtnika do trenutka začetka vese).

Četrty test je bil test max. čas visenja na 2,5 cm polički z obremenitvijo lastne teže. Pri tem so merjenci izvajali veso v zaprtem ali odprtem oprijemu pri čemer se je meril čas vztrajanja v vesi do odpovedi. Merilec je uporabljal namensko štoparico z natančnostjo meritve $\pm 0,1$ sek.

Peti test je bil test čas vese na eni roki na velikem oprimku, ki je omogočal oprijem z vsemi tremi členki prstov. Vesa se je izvajala na dominantni roki.

Potrebna je bila asistenca, s katero se je preprečila rotacija telesa okoli osi roke, s katero se je izvajala vesa. Meril se je čas vztrajanja v vesi do odpovedi. Merilec je uporabljal namensko štoparico z natančnostjo meritve $\pm 0,1$ sek.

Opomba: pri testu V1R smo naredili napako v izvajanju začetnih meritev, saj ni bilo poskrbljeno za asistenco....prihajalo je do rotacije, kar je v kontekstu končnih meritev, kjer smo rotacijo s pomočjo asistenc eliminirali, popačilo rezultate za interpretacijo!

Šesti test je bil test max. čas visenja z obema rokama na treh prstih na 2,5cm polički z obremenitvijo lastne teže. Meril se je čas vztrajanja v vesi do odpovedi. Merilec je uporabljal namensko štoparico z natančnostjo meritve $\pm 0,1$ sek.

5.2 VZOREC MERJENCEV

Vsi merjenci so bili člani športno plezalnega kluba Andreja Kokalja ter so se s športnim plezanjem ukvarjali zgolj rekreativno.

Nobeden izmed udeležencev testiranja ni bil mlajši od petnajst let in vsi so bili v procesu rekreativnega športnoplezalnega treninga vsaj že drugo leto (nobeden izmed udeležencev ni bil popoln začetnik).

Merjenci so se razlikovali po spolu, in sicer je bilo v eksperiment vključenih 9 merjencev in 7 merjenk, tako da je bilo skupno število udeležencev 16.

V kontrolno in eksperimentalno skupino sem jih razdelil na podlagi rezultatov začetnih testiranja, s čimer sem poizkušal zagotoviti čim manjše razlike med eksperimentalno in kontrolno skupino.

Zaradi tega je bil vzorec skupin namensko izbran in nima lastnosti vzorcev z naključnim izborom.

Vsi merjenci so bili na dan meritev nepoškodovani in zdravi, razen ene merjenke, ki je manjkala na končnem testiranju zaradi bolezni, zaradi česar smo jo morali izločiti pri analizi rezultatov.

Pogoji merjenja so bili pri vseh merjencih enaki. Meritve so se izvajale v istih prostorih in z istimi merilnimi napravami. Vse meritve je vodil in izmeril isti merilec.

Pred začetkom meritev so bili vsi merjenci seznanjeni z namenom in vsebino meritev ter mogočimi fizičnimi ali fiziološkimi tveganji pri izvajanju posameznih testov.

5.3 VZOREC SPREMENLJIVK

Vzorec spremenljivk je bil izbran z namenom, da se pokažejo statistično pomembne razlike med eksperimentalno in kontrolno skupino v merjenih sposobnostih zaradi vpliva vadbe po sestavljenem trenažnem protokolu oz. trenažni metodi.

MORFOLOŠKA SPREMENLJIVKA:

ATT antropometrična telesna teža

MOTORIČNE SPREMENLJIVKE:

D15 vesa na 1,5 cm max.

D15max max. izometrična kontrakcija na 1,5 cm z dodatnimi bremen

D25 vesa na 2,5 cm max

V1R vesa na dominantni roki na velikem oprijemu max.

D25max3 vesa na 2,5 cm z omejenim prijemom treh dominantnih prstov max.

P stisk pesti z dominantno roko električnega dinamometra

5.4 METODE OBDELAVE PODATKOV

Surovi podatki iz testiranj so bili vnešeni v Excel in nato preneseni v program SPSS, kjer so bili statistično obdelani.

Za vse spremenljivke so bili izračunani osnovni opisni statistični parametri in preverjena je bila normalnost porazdelitve s Shapiro-Wilkovim testom.

Za izenačitev začetnih razlik med skupinama v namen ugotovitve razlik v končnem stanju je bila uporabljena statistična metoda analize kovariance.

Razlike med skupinama v končnem stanju so se ugotavljale na podlagi F-testa ter statistične značilnosti prilagojene po Bonferronijeve korekciji.

6 REZULTATI IN INTERPRETACIJA

Za vse odvisne spremenljivke motoričnega in neodvisno spremenljivko morfološkega prostora so bili izračunani osnovni opisni statistični parametri.

Da bi zadostili predpostavkam za analizo kovariance, smo ugotavljali veljavnost dveh pogojev, in sicer da so rezultati v obeh skupinah približno normalno porazdeljeni ter da obstaja homogenost regresije med skupinama.

Prvi pogoj smo preverili s Shapiro-Wilkovim testom, ki nam pove, ali je odstopanje od normalne porazdelitve statistično značilno.

Drugi pogoj smo preverili s testom homogenosti regresij med skupinama.

Tabela 1: Rezultati testa homogenosti regresij med skupinama za odvisne spremenljivke

ODVISNA SPREMENLJIVKA	F	p
D15	3,139	0,104
D15max	2,891	0,117
D25	0,048	0,830
V1R	0,00	0,997
D25max3	4,163	0,066
P	0,306	0,591

Oba pogoja za analizo kovariance sta bila izpolnjena (rezultati analize so tako primerni za interpretacijo) (Tabela 1).

Z analizo kovariance smo izločili razlike med skupinama pri odvisnih spremenljivkah v začetnem stanju z namenom, da ugotovimo dejansko razliko med skupinama v končnem stanju pri obravnavanih odvisnih spremenljivkah kot posledico trenažnega protokola.

Statistično značilnost ugotovljenih razlik smo testirali z F-testom razlik med skupinama. S statistično značilnostjo oziroma neznačilnostjo razlik med skupinama smo tako bodisi potrdili ali pa zavrgli značilnost razlik ugotovljenih iz sprememb kot posledic trenažnega protokola. Pri tem smo upoštevali Bonfferonijevo korekcijo vrednosti statistične značilnosti.

Legenda oznak:

- XA**..... aritmetična sredina
- SD**..... standardni odklon
- W** vrednost Shapiro-Wilkovega testa
- F**..... vrednost F-testa
- p**..... statistična značilnost

1.) neodvisna spremenljivka

MORFOLOŠKA SPREMENLJIVKA – ATT (telesna teža)

Tabela 2: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za ATT

		začetno		končno
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	63,850	3,921	64,137	3,926
eksperimentalna	64,286	4,209	64,186	4,146

Tabela 3: Normalnost porazdelitve za ATT

Shapiro-Wilk		začetno		končno
	W	p	W	p
kontrolna	0,947	0,678	0,907	0,332
eksperimentalna	0,964	0,848	0,965	0,859

Pri edini morfološki spremenljivki ATT smo z rezultati osnovne statistike ugotovili, da so razlike med skupinama v začetnem in končnem stanju minimalne, kar omogoča ugodno začetno izhodišče za primerjavo med skupinama.

Ker so bili merjenci v skupine določeni po začetnih testiranjih z namenom eliminacije razlik med skupinama, je ugotovitev o podobnosti med skupinama pričakovana in ni naključje.

Podobna porazdelitev v neodvisni spremenljivki v obeh skupinah bi lahko bila pomembna iz vidika testov in trenažnega protokola. Ker gre za izvajanje vese, pomeni prav ATT tisti dejavnik, ki pomeni individualno obremenitev za vsakega merjenca. Kljub izenačitvi skupin v začetnem stanju z metodo analize kovariance (torej eliminacijo razlik med skupinama v rezultatih testov začetnega stanja) pomeni enakost med skupinama v neodvisni spremenljivki primernejše izhodišče za interpretacijo sprememb v odvisnih spremenljivkah v končnem stanju.

Test odstopanja od normalnosti porazdelitve po Shapiro-Wilku pokaže, da so rezultati začetnega in končnega testiranja za morfološko spremenljivko statistično neznačilni pri obeh skupinah. Vrednost p(S-W) ni nikjer nižja od 0,05, torej nobena porazdelitev rezultatov statistično ne odstopa od normalne.

2.) odvisne spremenljivke

MOTORIČNE SPREMENLJIVKE

1 - stisk pesti z dominantno roko električnega dinamometra

Tabela 19: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za P

		začetno		končno
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	399,125	39,123	409,250	44,104
eksperimentalna	437,000	42,692	430,714	44,538

Tabela 20: Normalnost porazdelitve za P

Shapiro-Wilk	začetno		končno	
	W	p	W	p
kontrolna	0,863	0,127	0,860	0,119
eksperimentalna	0,953	0,755	0,974	0,928

Pri spremenljivki stisk pesti so rezultati osnovne statistike pokazali, da se XA skupin v začetnem stanju ne razlikujeta bistveno.

Tudi v končnem stanju se XA skupin bistveno ne razlikujeta niti med seboj niti v primerjavi z začetnim stanjem.

Test normalnosti porazdelitve po Shapiro-Wilku pokaže, da so rezultati začetnega in končnega testiranja za spremenljivko stisk pesti normalno porazdeljeni v obeh skupinah.

Tabela 21: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za P

F	p
2,671	0,128

Tudi ta test je predstavljal neke vrste kontrolni test, s katerim smo hoteli potrditi domnevo, da ima naša vadba izrazito specifičen vpliv na mišični odziv.

Ker je v tem testu poleg faktorja vključenosti vseh mišic, ki krčijo prste v stisk pesti, tudi tip mišičnega krčenja popolnoma drugačen od tipa krčenja v trenažnem protokolu ter tudi vseh ostalih testih, je rezultat, da ni prišlo do nobene spremembe ne v skupinah ne med njima v končnem stanju, pričakovan.

2 - vesa na 1,5 cm max.

Tabela 4: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za D15

	začetno		končno	
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	26,000	6,302	29,000	6,585
eksperimentalna	27,000	6,195	34,714	5,041

Tabela 5: Normalnost porazdelitve za D15

Shapiro-Wilk	začetno		končno	
	W	p	W	p
kontrolna	0,938	0,593	0,971	0,908
eksperimentalna	0,939	0,630	0,838	0,095

Pri spremenljivki vesa na 1,5cm max. so rezultati osnovne statistike nakazali na majhne razlike med skupinama v začetnem stanju (aritmetični sredini (XA) in njuna standardna odklona (SD) se malo razlikujejo).

V končnem stanju pa je XA ekperimentalne skupine v primerjavi s kontrolno večja, kar kaže na izboljšanje rezultata pri spremenljivki v primerjavi s kontrolno skupino.

Vzrok je primerno pripisati spremembam v sposobnostih zaradi vpliva vadbe, možnih pa je več dejavnikov.

Pri kontrolni skupini opazimo rahel napredek v rezultatu končnega stanja, kar je lahko posledica bodisi višje motivaciji in želje po izboljšanju rezultata pri končnih meritvah bodisi posledica običajnega treninga na plezalni steni, ki sta ga izvajali obe skupini po enakem trenažnem protokolu. Vsekakor pa sprememba ni posledica eksperimentalne metode, saj je kontrolna skupina ni izvajala.

Pri eksperimentalni skupini je napredek v rezultatu očitnejši. Predvidevamo lahko, da so se spremembe v kontekstu živčne aktivacije zgodile predvsem na dveh nivojih, in sicer prvo na nivoju zelo intenzivnih obremenitev, kjer frekvenca proženja živčnih impulzov (80Hz in več) povzroča visokofrekvenčno utrujenost, ki povzroči prekinitev nevromuskularnega prenosa in širjenja akcijskega potenciala (Edwards, 1975).

Tako bi lahko daljši čas visenja v tem primeru pripisali boljšemu delovanju na nivoju prehajanja akcijskih potencialov na motoričnih enotah ter izboljšanju prevodnosti akcijskega potenciala po samem mišičnem vlaknu.

Ta sprememba je najbolj verjetna pri tistih merjencih, katerim je vesa na 1,5 cm pomenila napor skoraj maksimalne izometrične kontrakcije (v vesi so vztrajali do 15 sek).

Drugi nivo z vidika aktivacije bi pomenil obremenitev, ki je nekaterim odražala napor nižje intenzivnosti oziroma napor, v katerem so lahko vztrajali tudi do 50 sekund. Tu je potrebno vzrok v spremembi iskati drugje. V teh naporih je frekvenca živčnih impulzov navadno nižja, od 10 – 30Hz, in povzroča oslabelelost predvsem v neposrednem kontraktilnem mehanizmu zaradi izražene acidoze kot posledice laktatne razgradnje v energijskih procesih, kar hkrati negativno vpliva na encimske procese v kontraktilnih mišičnih akcijah. (Edwards, 1975)

Sem bi lahko uvrstili tiste merjence, ki jim je ta test pomenil intenzivnost submaksimalne ravni.

Hkrati je pri obeh nivojih možna tudi živčno-mišična adaptacija izpostavljenemu naporu, ki jo imenujemo mišična jasnovidnost (Enoka, 1994). Z njo se mišica odzove na napor z optimalnim vklapljanjem motoričnih enot kot posledico fine regulacije akcijskih potencialov iz motoričnih centrov. Ta živčna regulacija povzroči, da je mišica modulirana z optimalnimi frekvencami akcijskih potencialov, s tem pa se podaljšuje čas mišične kontrakcije in tako vztrajanja v vesi.

Omeniti velja, da je zelo pomemben tudi tip mišičnega krčenja, ki prav tako pogojuje procese in odzive v obremenjeni mišici. Ker gre v našem primeru za veso, imamo opravka z izometričnim krčenjem mišic upogibalk prstov, ki so pri tej intenzivnosti napora izpostavljene okluziji (str. 27). Zato krvnega pretoka skozi mišico ni in mišica lahko tako črpa zgolj endogena goriva (CrP in glikogen). Ker pretoka ni, je izmenjava z okolico prekinjena. S tem se produkti metabolizma kopičijo v mišici, kjer lahko povzročijo motnje v aktivnosti kontrakcijskih procesov

zaradi nezmožnosti puferiranja laktatnih in vodikovih ionov ter tako posledičnim spreminjanjem mišičnega Ph (Edwards, 1975).

Spremembe sposobnosti zaradi vadbe bi lahko v tem primeru pomenile večjo mišično odpornost na spremembe zaradi okluzije, odpornost na mišično zakislenost ter prilagoditev odziva kontraktilnih procesov na te spremembe.

Vadba je vplivala tudi na zmanjšanje razlik med posamezniki znotraj eksperimentalne skupine. Tako lahko sklepamo, da so se jim zgodili podobni prilagoditveni odzivi na opisani napor zaradi vadbe.

Tako se je SD v eksperimentalni skupini znižal, kar kaže na manjšanje razlik med merjenci v skupini, kar v kontrolni skupini ni moč opaziti, saj se SD bistveno ne spremeni.

Shapiro-Wilkov test kaže, da rezultati začetnega in končnega testiranja za spremenljivko vesa na 1,5cm max. statistično ne odstopajo od normalne porazdelitve pri obeh skupinah. Vrednost p(S-W) ni nikjer nižja od 0,05 (5% napaka alfa), torej rezultati testa niso statistično značilni.

Tabela 6: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za D15

F	p
1,219	0,291

F-test razlik med skupinama v spremenljivki vesa na 1,5cm max. v končnem stanju ni pokazal, da bi bile razlike med skupinama značilne (po Bonfferonijevi korekciji bi morale veljati $p < 0,00833$, da bi lahko potrdili razlike kot značilne).

Predpostavljali smo, da bo vadba aktivacije vplivala tudi na submaksimalnem nivoju izometričnega krčenja upogibalk prstov v smislu manjšega napora za posameznika pri enaki obremenitvi. Ta predpostavka se ni potrdila, kljub temu pa je napredek v eksperimentalni skupini kazal v to smer.

Zdi se, da je vadba z največjimi intenzivnostmi vplivala na submaksimalni ravni, se pa poraja vprašanje, ali jo je smotno vključevati v ta namen ali pa je morda bolje izbrati drugo metodo za doseg enakega cilja.

Jasno je, da je razmeroma zelo majhen vzorec že pomenil, da bi morale priti do zelo velikih razlik med skupinama, da bi se potrdila statistično zančilna razlika med njima.

3 - max. izometrična kontrakcija na 1,5 cm (z dodatnimi bremen)

Tabela 7: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za D15max

		začetno		končno
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	20,625	4,400	24,375	5,148
eksperimentalna	24,286	6,402	36,071	5,997

Tabela 8: Normalnost porazdelitve za D15max

Shapiro-Wilk		začetno		končno
	W	p	W	p
kontrolna	0,902	0,298	0,957	0,776
eksperimentalna	0,932	0,569	0,981	0,963

Pri spremenljivki max. izometrična kontrakcija na 1,5 cm z dodatnimi bremenami so rezultati osnovne statistike pokazali na boljše sposobnosti eksperimentalne skupine v začetnem stanju, a je homogenost v skupini manjša kot v kontrolni skupini. V končnem stanju je eksperimentalna skupina v primerjavi s kontrolno izrazito večja, kar kaže na precejšnjo izboljšanje rezultata pri odvisni spremenljivki v primerjavi s kontrolno skupino.

Shapiro-Wilkov test kaže, da rezultati začetnega in končnega testiranja za spremenljivko max. izometrična kontrakcija na 1,5 cm z dodatnimi bremenami ne odstopajo od normalne porazdelitve v nobeni od skupin.

Tabela 9: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za D15max

F	p
8,197	0,014

F-test razlik med skupinama v spremenljivki max. izometrična kontrakcija na 1,5 cm z dodatnimi bremenami v končnem stanju ni pokazal, da bi bile razlike med skupinama značilne.

Kljub temu pa se v tem testu zelo približamo statistični značilnosti, ki bi potrdila razlike zaradi vadbe.

Ker test meri maksimalno izometrično moč prstov in je tako v močni povezavi s samim trenažnim protokolom, je bilo pričakovati, da se bo najbolj izrazil učinek vadbe pokazal prav v tej spremenljivki.

S trenažnim protokolom smo poizkušali vplivati na izboljšanje delovanja živčnomišičnih mehanizmov (rekrutacija, frekvenčna modulacija, prevodnost..).

Ker smo upoštevali zgolj rezultat največjega bremena + ATT, ki ga je bil posameznik še sposoben držati, se poraja vprašanje, do kakih ugotovitev bi prišli, če bi v tej spremenljivki poizkusili z meritvijo električne aktivnosti mišice pred in po vadbenem protokolu. Tako bi tudi lažje pojasnili izjemen napredek pri nekaterih merjenjih (npr. merjenka je v začetnem stanju zmoгла zgolj viseti na 1,5cm brez dodatne teže...po vadbi pa je zmoгла viseti z dodatno obtežitvijo 15kg) ter zelo majhen pri enem merjenju, ki pa je imel že v štaru izjemen rezultat (začetno stanje: 80kgATT + 40kg dodatne teže....končno stanje: 80kgATT + 42,5kg).

Zdi se, da bi bilo pomembno definirati začetni nivo aktivacije ter se na podlagi razlike v rezultatu med MVC-jem ter MVC+ES odločati o smiselnosti uporabe te metode pri vsakem trenirancu posebej.

4 - vesa na 2,5 cm max

Tabela 10: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za D25

	začetno		končno	
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	31,125	4,580	39,875	5,677
eksperimentalna	37,143	3,596	38,571	6,218

Tabela 11: Normalnost porazdelitve za D25

Shapiro-Wilk	začetno		končno	
	W	p	W	p
kontrolna	0,924	0,459	0,928	0,496
eksperimentalna	0,921	0,475	0,991	0,994

Pri spremenljivki vesa na 2,5cm max. so rezultati osnovne statistike pokazali na boljše sposobnosti eksperimentalne skupine v začetnem stanju ter tudi večjo homogenost v skupini glede na kontrolno skupino. V končnem stanju se XA ekperimentalne skupine skoraj ne spremeni, medtem ko se XA kontrolne skupine poveča, kar kaže na izboljšanje rezultata pri spremenljivki v primerjavi z eksperimentalno skupino, to pa pomeni enak nivo sposobnosti obeh skupin v tej spremenljivki v končnem stanju.

Test normalnosti porazdelitve po Shapiro-Wilku pokaže, da rezultati začetnega in končnega testiranja za spremenljivko vesa na 2,5cm max. ne odstopajo od normalne porazdelitve.

Tabela 12: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za D25

F	p
1,879	0,196

F-test razlik med skupinama v spremenljivki vesa na 2,5cm max. v končnem stanju ni pokazal, da bi bile razlike med skupinama značilne.

Ugotovitve v tem testu so daleč od pričakovanih. Predvidevali bi lahko, da se bo zaradi vadbe stanje v eksperimentalni skupini izboljšalo. Razlog, da se stanje praktično ni spremenilo, bi lahko pojasnili tudi s protokolom samega testiranja.

Ker gre v tej spremenljivki za submaksimalni izometrični napor, obstaja verjetnost, da se je pojavila utrujenost zaradi prvih dveh testov. Kljub temu, da je bil protokol testiranja isti, bi bil lahko upad koncentracije in motivacije v

eksperimentalni skupini za vztrajanje v vesi večji kot v kontrolni skupini. Razlog bi lahko pripisali naporu hkratne vadbe po običajnem programu ter eksperimentalne vadbe, kateri kontrolna skupina ni bila podvržena, ter možni nezadostni regeneraciji pred končnim testiranjem (2 dni pasivnega odmora). Ker pa je eden ključnih dejavnikov uspešnosti v tovrstnih naporih motivacija in s tem vznurjenje in aktivnost centralnega živčnega sistema, je lahko vzrok nepričakovanih razlik med skupinama prav ta.

Eksperimentalna metoda vadbe aktivacije pri spremenljivki D25 tako ne potrdi pričakovanega, kar je razvidno iz rezultatov.

Drugi možen vzrok pa bi bil lahko tudi v predikciji, da je ciklično izmenjevanje kvazimaksimalne izometrične kontrakcije z enako dolgim odmorom morda stimulirajoče predvsem za hitra mišična vlakna povrhnjih in globokih upogibalk prstov (izboljšanje aktivacije z visokofrekenčnimi akcijskimi potenciali), medtem ko je vesa na 2,5cm polički v neprekinjeni izometrični kontrakciji napor, ki bi predvsem aktiviral počasna vlakna istih mišic. Le-ta imajo drugačno frekvenco vzdražnosti in so sposobna daljšega obremenjevanja pod nižjo intenzivnostjo, kar bi v našem primeru lahko pripisali testu vese na 2,5cm.

5 - vesa na dominantni roki na velikem oprijemu max.

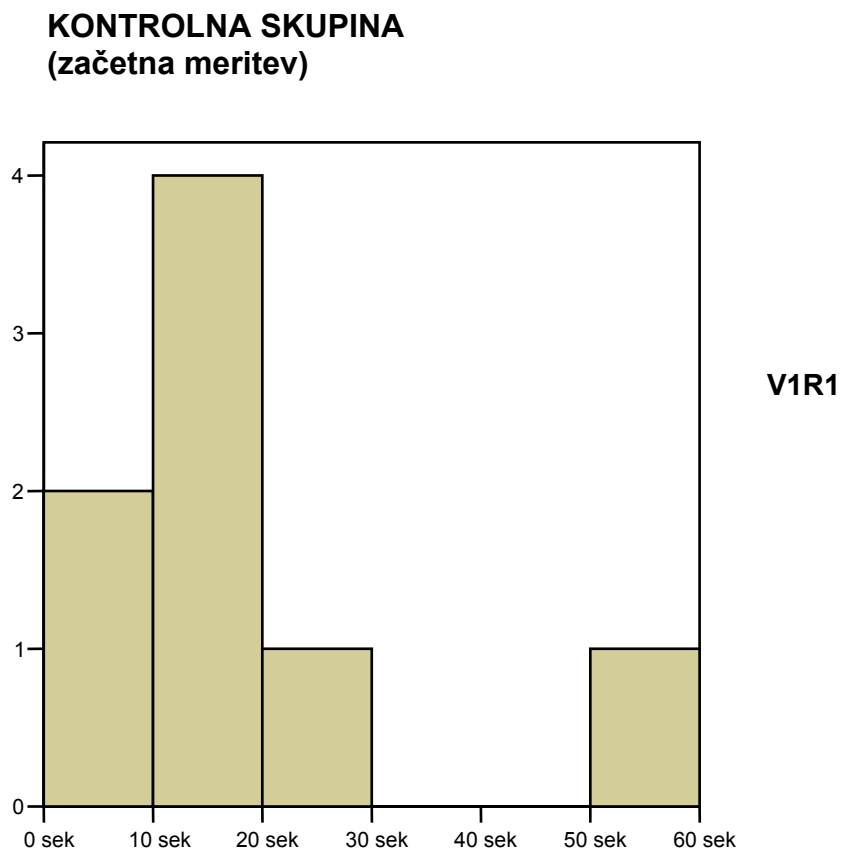
Tabela 13: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za VIR

		začetno		končno
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	16,125	5,293	24,500	7,243
eksperimentalna	20,571	3,854	24,571	5,789

Tabela 14: Normalnost porazdelitve za VIR

Shapiro-Wilk		začetno		končno
	W	p	W	p
kontrolna	0,724	0,004	0,865	0,134
eksperimentalna	0,860	0,151	0,867	0,174

Slika 13: Porazdelitev vrednosti za spremenljivko V1R1



Rezultati osnovne statistike so pokazali na boljše sposobnosti eksperimentalne skupine v začetnem stanju ter tudi večjo homogenost v skupini glede na kontrolno skupino pri spremenljivki vesa na eni roki. V končnem stanju sta XA eksperimentalne in kontrolne skupine skoraj popolnoma enaki.

Shapiro-Wilkov test normalnosti porazdelitve je pri spremenljivki V1R1 značilen, vendar odstopanje od normalnosti ni veliko oz. je posledica enega samega merjenca (slika 13).

Kljub temu pa grafikon pokaže na značilnosti normalne porazdelitve merjencev, kar je v tem primeru dovolj za ugotavljanje statističnih razlik med skupinama in za sprejetje ali zavrženje ničelne hipoteze, pri kateri obstaja zahteva približno normalne porazdelitve obravnavanega vzorca.

Tabela 15: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za V1R

F	p
1,237	0,288

F-test razlik med skupinama v spremenljivki vesa na eni roki v končnem stanju ni pokazal statistično značilnih razlik med skupinama.

Kljub temu pa se v končni meritvi kontrolne skupine pokaže precejšnja razlika med začetnim in končnim stanjem (Tabela 13). Prav tako je razliko opaziti pri eksperimentalni skupini. Očitno izboljšanje vese je nepričakovano. Vzrok je zelo verjetno posledica neenakih testnih pogojev, saj smo pri začetnih meritvah naredili napako in nismo eliminirali rotacije telesa okoli osi obremenjene roke. Ko smo v končnih meritvah rotacijo izključili, se je pokazalo, da je rezultat med skupinama zelo podoben.

Tako test V1R nakaže na pravilnost domneve, da ima eksperimentalna vadba izrazito ozko lociran vpliv na točno določene mišične skupine (povrhne in globoke upogibalke prstov). Ker so v testu vese na velikem oprimku na dominantni roki aktivirane vse mišice dlani in vsi fleksorji ter je oprijem v veliki meri odvisen tudi od trenja, ki ga povzroči koža, se pričakovano napredek v specifičnih mišicah zaradi vadbenega protokola v tem testu ni pokazal.

Potrebno pa je poudariti, da smo v tem testu naredili napako pri meritvah (nismo upoštevali enakih testnih pogojev), zato je kakršnakoli interpretacija rezultata v testu V1R neprimerna in neustrezna za sklicevanje!

6 - vesa na 2,5 cm z omejenim prijemom treh dominantnih prstov max.

Tabela 16: Aritmetična sredina in njen standardni odklon za D25max3

	začetno		končno	
	XA	SD	XA	SD
kontrolna	23,500	6,785	31,250	7,123
eksperimentalna	23,286	5,428	33,429	8,135

Tabela 17: Normalnost porazdelitve za D25max3

Shapiro-Wilk	začetno		končno	
	W	p	W	p
kontrolna	0,896	0,265	0,935	0,566
eksperimentalna	0,971	0,909	0,861	0,156

Pri spremenljivki vesa na 2,5cm max. z omejenim prijemom so rezultati osnovne statistike pokazali, da sta XA skupin v začetnem stanju enaki z enako stopnjo homogenosti. Tudi v končnem stanju se XA skupin bistveno ne razlikujeta, se pa XA v obeh očitno povečata. Opaziti pa je tudi ponovno podobna SD, ki pa sta zanimivo večja kot pri začetnih testiranjih in kažeta na zmanjšanje homogenosti pri obeh skupinah v tej spremenljivki.

Test normalnosti porazdelitve po Shapiro-Wilku pokaže, da se rezultati začetnega in končnega testiranja za spremenljivko vesa na 2,5cm max. z omejenim prijemom ne odmikajo od normalne porazdelitve v obeh skupinah.

Tabela 18: Analiza kovariance: F-test razlik med skupinama za D25max3

F	p
0,508	0,490

F-test razlik med skupinama v spremenljivki vesa na 2,5cm max. z omejenim prijemom v končnem stanju ni pokazal statistično značilnih razlik med skupinama.

Test je v osnovi zelo podoben testu vese na 2,5cm. Z omejenim prijemom smo želeli zgolj preveriti, ali obstaja morebiti kaka bistvena razlika v uporabi zaprtega ali odprtega prijema (Goddard & Neumann, 1993) v končnih rezultatih našega eksperimenta.

Ker razlike skorajda ni opaziti, lahko predpostavljamo, da je pri tej širini oprijema vpliv trenažnega protokola podoben v obeh spremenljivkah, ki sta bili testirani na širini oprijema 2,5cm.

Prav tako kot v testu 3 pa smo tudi tu opazili, da trenažni protokol nima vpliva na submaksimalnem nivoju. Sklepamo, da so razlogi neučinkovitosti vpliva metode pri tej spremenljivki enaki kot smo jih razložili v testu 3.

F-test razlik med skupinama v spremenljivki stisk pesti v končnem stanju ni pokazal statistično značilnih razlik med skupinama.

7 ZAKLJUČEK

Osnovni namen diplomske naloge je bil preveriti učinkovitost samostojno sestavljenega trenažnega protokola oziroma metode vadbe, s katero bi dosegel izboljšanje maksimalne zavestne kontrakcije – MVC (Enoka, 1994) v mišicah upogibalkah prstov.

Metoda je bila sestavljena iz prekinjajočih izometričnih krčenj. Intenzivnost krčenj je bila določena z izmero enkratne maksimalne izometrične kontrakcije, pri čemer so se uporabljale intenzivnosti v velikosti 85%, 90%, 95% od MVC inicialnega stanja, pri čemer je bila obremenitev določena s telesno težo, težo dodatnega bremena in s širino oprijema na 1,5 cm široki polički. V eni vadbeni enoti so se izmenjali trije do štirje enominutni cikli, v katerih se je izvedlo 6 izometričnih kontrakcij po 5 sekund z enako dolgim odmorom, pri tem pa so bili odmori med cikli popolni (do 5 minut). Tako se je na vadbeno enoto opravilo do 24 izometričnih krčenj na kvazimaksimalnem nivoju (Ušaj, 1996). Vadba je potekala 5 tednov. Dolžina mezocikla pa je bila določena glede na ugotovitve optimalnosti vadbenega obdobja za vadbo aktivacije, saj bi daljše vadbeno obdobje že lahko imelo negativne posledice oziroma ne bi bilo več zaznati napredka (Strojnik, 2003).

Vadba aktivacije po definiciji zahteva izvajanje vadbe z največjimi bremenami, kar pomeni v konceptu koncentričnega izvajanja gibov območje intenzivnosti od 90-100% s številom ponovitev, ki se gibljejo od 1-3. V konceptu ekscentričnih kontrakcij lahko zaradi izkoriščanja prožnostnih lastnosti mišično-tetivnega kompleksa, hiperprodukcije sile ob raztegu predhodno aktiviranih prečnih mostičev in povečanega refleksnega odziva na razteg iz motoričnih vreten produkcija sile preseže intenzivnosti 100% in naraste vse tja do 150% MVC (Enoka, 1994). Pri izometričnem krčenju pa izhaja določitev intenzivnosti iz določitve MVC, ki pomeni zgornjo mejo, do katere lahko zavestno razvijemo silo v določeni časovni sekvenci.

Za izometrično krčenje je značilno, da se pri določenem naporu in intenzivnosti obremenitve prične inhibirati dobava energijskih substanc iz izvenceličnih zalog, pri čemer igra ključno vlogo pojav okluzije. Gre za delno ali pa v primeru okluzije popolno zaporo lokalnega krvnega pretoka skozi mišico kot posledico povečanja pritiska v mišici, ki stisne mišične kapilare, tako da pretok ni mogoč. Delna prekinitev pretoka se tako prične že pri 20 % največjega zavestnega mišičnega krčenja (Edwards s sodelavci, 1972), medtem ko pride do popolne zapore med 50-80% MVC. V primeru mišic upogibalk prstov so ugotovili, da pride do okluzije v mišicah podlakti v povprečju pri 63,5 % MVC (močnejši testiranci pri 51,5 % in šibkejši testiranci pri 75,5 % MVC) (povzeto po: Larsson S., Zhang, Larsson R., Cai & Oeberg, 1996).

Ker se je naš trenažni protokol nanašal na intenzivnosti, ki so mnogo višje od meje, pri kateri zasledimo pojav okluzije, lahko sklepamo, da je bil v procesu vadbe krvni pretok skozi mišico popolnoma prekinjen in so se za dobavo energije mišici črpala le znotraj mišična goriva. Ker je bil čas obremenitve zelo kratek,

hkrati pa so bile intenzivnosti blizu maksimalnim, lahko sklepamo, da so predstavljali ključni energijski proces v trenažnem protokolu anaerobni alaktatni energijski procesi. Po drugi strani pa dejstvo, da so se izometrične kontrakcije prekinjajoče ponavljale v časovni sekvenci 60 sekund, ne more izključiti možnosti, da so pomembno vlogo odigrali tudi anaerobni laktatni energijski procesi z razgradnjo znotrajmišičnega glikogena kot alternativa ob izrabi kreatin fosfata, za katerega vemo, da najbolj aktivno obnavlja visoko energijsko spojino ATP nekje od 10-20 sekund maksimalno intenzivnega navora. Ker so bila izometrična krčenja prekinjena s pasivnimi odmori po dolžini enako dolgimi naporu (5 sekund), ne smemo mimo dejstva, da se je v tem kratkem času pretok krvi ponovno vzpostavil in je bila možna izmenjava ter predvsem obnova iz izvenseličnih virov, odplavljanje produktov metabolizma iz mišice ter oskrba s kisikom. Pričakovati bi bilo prav tako povečanje ventilacije zaradi kisikovega dolga, česar pa v raziskavi nismo spremljali. Se pravi, da so imeli svojo vlogo pri tovrstni vadbi tudi aerobni energijski procesi.

Ker se pri vadbi ni spremljalo frekvence srca, kot enega izmed kazalcev fiziološkega odziva organizma na napor, niti ne laktata, kot enega izmed kazalcev presnovnega odziva organizma na napor, lahko o pomembnosti določenega energijskega procesa zgolj sklepamo glede na vrsto navora, ki smo jo zgoraj opredelili temu trenažnemu protokolu, ter glede na teorijo, ki obstaja. Tako tudi obstaja možnost nadaljne analize tega trenažnega protokola, kar bi bil lahko izziv za v prihodnje morda nam ali pa kakemu drugemu raziskovalcu.

Namen 5-tedenske vadbe je bil tako v povečanju maksimalne moči upogibalk prstov. Ker smo izhajali iz predpostavke, da pomeni sprememba sposobnosti na maksimalnem nivoju hkrati tudi nižji napor pri enaki submaksimalni obremenitvi, smo ti dve predpostavki preverili na šestih testih.

Ugotovitve zaključnega testiranja so pokazale, da med skupinama ne prihaja do statistično pomembnih razlik prav v nobenem od šestih testov, a dejstvo, da se v testu maksimalna izometrična kontrakcija na 1,5cm z dodatnim bremenom zelo približamo statistično značilni razliki v tem testu med skupinama, kaže na to, da je metoda na nivoju maksimalne moči prstov potrdila naša pričakovanja o uporabnosti v smislu treninga moči prstov.

Hkrati moramo omeniti, da smo imeli v trenažnem obdobju tudi smolo z merjenci v eksperimentalni skupini. Tako ni niti eden od merjencev prisostvoval vsem vadbenim enotam, ki bi jih moralo biti 15, temveč so v povprečju izpustili 2 vadbeni enoti. Pri enem izmed merjencev sem opazil tudi prve znake pretreniranosti zaradi intenzivne vadbe, ki so se pokazali predvsem v rezultatih testov submaksimalnih intenzivnosti (testi 2, 4, 5, 6), v katerih ni izboljšal rezultata v primerjavi z začetnimi meritvami oz. je imel v testih 4 in 6 v končnih meritvah celo slabši rezultat. Poleg tega smo v končnih meritvah v eksperimentalni skupini ostali brez ene merjenke, ki se testiranje zaradi bolezni ni mogla udeležiti, je pa v vadbenem obdobju izjemno napredovala (minutne cikle je izvajala s 150% MVC meritve v inicialnem stanju) in bi njen rezultat v končnem stanju verjetno veliko prispeval pri obravnavi razlik med skupinama.

Primerjava med skupinama v končnem stanju je nakazala na to, da so bili vplivi trenažnega protokola zelo ozko locirani glede učinkov. Ker smo obremenjevali le končne členke prstov, smo predvidevali, da smo s tem najbolj obremenili globoke upogibalke prstov. Globoke upogibalke prstov imajo svoja narastišča na najbolj distalnih prstnicah od 2. do 5. prsta. Domneve nismo preverili, obstaja pa utemeljen dvom v njeno resničnost, saj je bil položaj prstov pri vseh merjenjih med izvajanjem ciklov v položaju zaprtega prijema. V tem položaju so prsti v najbolj distalnem delu v hiperekstenziji, medtem ko se navor, s katerim se vztraja v oprijemu in posledično v vesi, generira v drugem členu, kjer pa imajo svoja pripenjališča povrhnje upogibalke prstov. Kakorkoli že, gre v našem primeru zelo verjetno za hkratno aktivacijo obeh mišičnih skupin oziroma neke vrste kokontrakcijo (Enoka, 1994), kljub temu, da ne gre za antagonistični skupini. Tudi tu bi bilo možno aktivacijo mišic preveriti z uporabo elektromiografije (Strojnik, 2003), kar ostaja kot alternativa za v prihodnje.

Da so bili učinki trenažnega protokola res zelo ozko locirani, se je pokazalo v dveh kontrolnih testih, to sta vesa na eni roki ter stisk pesti, kjer smo predvidevali, da ne bo bistvenih razlik med skupinama v končnem stanju. Tako smo predvidevali, da trenažni protokol nima vpliva na rezultate teh dveh testov, kar se je v končnih meritvah tudi potrdilo.

Vzrok bi bilo smiselno iskati v značilnostih obeh testov.

Predvidevamo, da v testu vesa na eni roki ne pride dovolj do izraza lokaliziran učinek vadbe na oboje upogibalke, saj so v tem testu aktivirane tudi mišice dlani, prihaja pa tudi do velikega trenja med oprimkom in nagubano kožo proksimalnih prstnic, kljub temu, da je test v osnovi mišičnega krčenja podoben krčenjem v trenažnem protokolu (gre za veso in izometrično kontrakcijo).

V testu 1 stisk pesti se enako odraža dejstvo, da je test v premajhni korelaciji z izvajano metodo vadbe, zato ni opaziti razlik med skupinama v končnih meritvah in prav tako ne v končni meritvi glede na začetno v vsaki skupini posebej. Ker gre verjetno v tem testu poleg že prej omenjene premajhne aktivnosti ključnih mišičnih skupin, ki so bile trenirane, hkrati še za drug način mišičnega krčenja, in sicer za koncentrično kontrakcijo, naše domneve o statistično nepomembnih spremembah nismo mogli zavreči.

Če bi želeli naše domneve dokazati, bi bilo tudi tu smiselno uporabiti EMG metodo in tako natančno razbrati aktivnost posameznih mišic, ki so odgovorne za opazovani gib.

Na koncu moram opozoriti še na število merjencev, ki so prisostvovali pri eksperimentu. Ker se je eksperimenta udeležilo sorazmerno majhno število merjencev, vsaka skupina je imela le osem merjencev, je bil vzorec, na katerem smo izvajali poizkus res majhen in bi morda na večjem vzorcu prišli do bolj obetavnih zaključkov. Tu mislim predvsem na razlike med skupinama v testih 2, 4 in 6, ki naj bi pokazali željene spremembe na submaksimalnem nivoju, ki pa se v tej raziskavi niso potrdile kot statistično značilne.

Morda velja opozoriti tudi na dejstvo, da so se eksperimenta udeležili rekreativni športni plezalci, kar bi bilo lahko ravno tako pomembno pri interpretaciji učinkov. Ne smemo namreč pozabiti, da tudi začetni nivo treniranosti, ki je bil seveda v našem primeru pri večini relativno nizek, odločilno vpliva na stopnjo spremembe trenirane sposobnosti. Tako bi bilo možno, da izbrani vadbeni protokol na nivoju vrhunskega športnega plezalca ne bi pomenil zadostnega trenažnega stimulusa in ne bi povzročil nobene spremembe sposobnosti. Seveda pa ostaja tudi to področje odprto za raziskavo.

LITERATURA

1. Aldrich T. K., I. C. Shander, H. Nagashima, (1986). Fatigue of isolated rat diaphragm: role of impaired neuromuscular transmission. *Journal of Applied Physiology*, 61, str. 1077–1083.
2. Astrand, P.O., & Rodahl, K. (1986). *Textbook of Work Physiology*. New York: McGraw - Hill Book Company
3. Bigland - Ritchie B., (1987). Fatigue of Human Limb and Respiratory Muscles. V: Muscular Function in Exercise and Training, 3rd International Symposium on Biological Sciences in Sport. *Medicine and Sport Science*, vol. 26. Basel: Karger, str. 110–118
4. Bigland - Ritchie B., E. Cafarelli, N. K. Vøllestad, (1986). Fatigue of submaximal static contractions. Lars Hermanson Memorial Symposium. *Exercise in human physiology. Acta Physiologica Scandinavica*, 128, str. 137–148.
5. Bigland - Ritchie B., R. Johansson, O. C. J. Lippold, S. Smith, J. J. Woods, (1983). Changes in motoneurone firing rates during sustained maximal voluntary contractions. *Journal of Physiology*, 340, str. 335–346.
6. Bravničar, M. (1990). *Fiziologija športa*. Ljubljana: Fakulteta za šport
7. Brooks G. A., D. F. Fahey, T. P. White, (1996). *Exercise physiology. Human Bioenergetics and Its Applications. Second edition*. Mayfield Publishing Company
8. Edwards R. H. T., D. K. Hill, M. McDonald, (1972). Myothermal and intramuscular pressure measurements during isometric contractions of the human quadriceps muscle. *Journal of Physiology*, 224, str. 58–59.
9. Edwards, R. H. T. (1978). Physiological analysis of skeletal muscle weakness and fatigue. *Clin Sci Mol Med*, 54, 463-470
10. Edwards, R.H.T. (1975). Muscle fatigue. *Post Graduate Medical Journal*, 51, 137-143
11. Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical basis of kinesiology*. Cleveland: Human Kinetics.
12. Enoka, R. M., & Stuart, D. G. (1984). Henneman's size principle: Current Issues. *Trends in Neurosciences*, 7, 226-228.
13. Foss, M.L., & Keteyian, S.J. (1998). *Fox's Physiological Basis for Exercises and Sport*. Boston: McGraw-Hill Book Company
14. Goddard, D., Neumann, U. (1993). *Performance rock climbing*. Mechanicsburg: Stackpole books.
15. Guyton, A.C. (1978). *Temelji fiziologije čovjeka*. Zagreb: Jugoslovanska medicinska naklada.

16. Gydikov, A., & Kosarov, D. (1974). Some features of different motor units in human Biceps Brachii. *Pflugers Archiv*, 347, 75-88.
17. Henneman, E. (1981). Recruitment of motoneurons: The size principle. V J. E. Desdemondt (Ur.), *Prog. Clin. Neurophysiology* (volumen 9). Basel: Karger
18. Henneman, E., & Olson, C. B. (1965). Relations between structure and function in the design of skeletal muscles. *Journal of Neurophysiology*, 28, 581-598.
19. Jones, D.A., Bigland – Ritchie, B., Edwards, R.H.T., Hosting, G.P. (1978). Central and peripheral fatigue in sustained maximum voluntary contraction of human quadriceps muscle. *Clinical Science and Molecular Medicine*, 54, 604-614
20. Kukulka, C. G., & Clamann, H. P. (1981). Comparison of the recruitment and discharge properties of motor units in human brachial Biceps and adductor Policis during isometric contraction. *Brain research*, 219, 45-55.
21. Larsson, S. E., Zhang, Q., Larsson, R., Cai, H., & Oeberg, A. (1996). Single-fibre laser Doppler flowmetry and electromyography for evaluating microcirculation in forearm muscle during static and continuous handgrip contraction. *European Journal of Applied Physiology*, 73, 219-224
22. Loeb, G. E., & Ghez, C. (1997). The motor unit and muscle action. V. E. R. Kandel, J. M. Schwarz, & T. M. Jessel (Ur.), *Principles of neural science*. London: Appleton & Lang.
23. McComas, A. J. (1996). *Skeletal muscle form and function*. Champaign: Human Kinetics.
24. Milner - Brown H. S., R. G. Miller, (1986). Muscle membrane excitation and impulse propagation velocity are reduced during fatigue. *Muscle Nerve*, 9, str. 367–37
25. Milner – Brown, H. S., Stein, R. B., & Lee, R. G. (1975). Synchronization of human motor units: Possible roles of exercise and supraspinal reflexes. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 38, 245-254.
26. Person, R. S., & Kudina, L. P. (1972). Discharge frequency and discharge pattern of human motor units during voluntary contraction of muscle. *Electroencephalography and Clinical Neurophysiology*, 32, 471-483.
27. Sadamoto, T., Bonde-Petersen, F., & Suzuki, Y. (1983). Skeletal muscle tension, flow, pressure and EMG during sustained isometric contractions in humans. *European Journal of Applied Physiology*, 51, 395-408
28. Sahlin, K. (1986). Muscle fatigue and lactic acid accumulation. *Acta Physiol. Scand.*, 182, 83 - 91
29. Shephard, R. J., Pyley, M. J. (1995). Peripheral circulation and endurance. V R. J. Shephard in P. O. Astrand, *Endurance in sport* (str.80-95). Oxford: IOC Medical Commission, Blackwell Scientific.

30. Sjøgaard G., (1987). Muscle Fatigue. V: Muscular Function in Exercise and Training, 3rd International Symposium on Biological Sciences in Sport. Medicine and Sport Science, vol. 26. Basel: Karger, str. 98–109.
31. Sjøgaard G., B. Kiens, K. Jørgensen, B. Saltin, (1986). Intramuscular pressure, EMG and blood flow during low-level prolonged static contraction in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 128, str. 475–484.
32. Strojnik V., (2003). Vadba za moč in gibljivost. Kondicijsko treniranje. Zapiski iz predavanj. Fakulteta za šport
33. Strojnik V., (2003). Živčnomehanske osnove gibanja. Kondicijsko treniranje. Zapiski iz predavanj. Fakulteta za šport
34. Strojnik, V. (1990). Biomehanske in fiziološke osnove mišičnega naprežanja. *Šport*, 1-2, 44-47
35. Stryer, L. (1991). *Biokemija*. Zagreb: Šolska knjiga.
36. Stuart, D. G., & Enoka, R. M. (1983). Motoneurons, motor units and the size principle: V R. N. Rosenberger (Ur.), *The Clinical Neurosciences* (str. 471-517). New York: Churchill Livingstone.
37. Thompson C. W., R.T. Floyd, (1998). Manual of structural kinesiology. Thirteenth Edition. McGraw - Hill Book Company – Singapore
38. Ušaj, A. (1996). *Kratek pregled osnov športnega treniranja*. Ljubljana. Fakulteta za šport
39. Windhorst, U. (1988). *How brain-like is the spinal cord?*. Berlin: Springer-Verlag
40. Wuerker, R. B., McPhedran, A. M., & Hanneman, E. (1965). Properties of motor units in a heterogeneous pale muscle of the cat. *Journal of Neurophysiology*, 28, 85-99.