

UNIVERZA V LJUBLJANI

FAKULTETA ZA ŠPORT

Športno treniranje
Alpsko smučanje

**PRIMERJAVA TENZIOMIOGRAFSKIH MERITEV MED
PREDSTAVNIKI RAZLIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM
SMUČANJU**

DIPLOMSKA NALOGA

MENTOR: red. prof. dr. Milan Žvan

SOMENTOR: doc. dr. Blaž Lešnik

RECENZENTKA: doc. dr. Mirjam Lasan, dr. med.

KONZULTANT: doc. dr. Boštjan Šimunič

Avtor dela:

LUKA GOLOB

Ljubljana, 2008

Zahvala:

Ob zaključku študija bi se rad zahvalil družini, ki me je v času študijskih let podpirala in me vzpodbujala pri nastajanju diplomskega dela. Zahvala tebi Anica, ki si bila zvezdica na poti nastajanja mojega dela.

Zahvala vsem sodelujočim mentorjem, ki so s svojim strokovnim znanjem in izkušnjami pripomogli pri ustvarjanju naloge.

Posebna zahvala prijatelju Boštjanu, "botru" te diplomske naloge.

Zahvaljujem se Inštitutu za kineziološke raziskave Znanstvenega-raziskovalnega središča Koper, Univerze na Primorskem in podjetju TMG-BMC d. o. o. za vse opravljene meritve.

Nenazadnje tudi lepa hvala vsem v raziskavo vključenim preiskovancem, ki so nesebično sodelovali pri fizioloških testiranjih.

Ključne besede: alpsko smučanje, skeletna mišica, tenziomiografija, kontraktilne lastnosti, skrček

Naslov diplomske naloge:

PRIMERJAVA TENZIOMIOGRAFSKIH MERITEV MED PREDSTAVNIKI RAZLIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM SMUČANJU

Avtor:

Luka Golob

Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana 2008

Športno treniranje, alpsko smučanje

Število strani: 64; število tabel: 5; število grafov: 12; število slik: 9; število virov: 45

IZVLEČEK

Vrhunsko alpsko smučanje je z razvojem posameznih smučarskih disciplin doseglo stopnjo, kjer posameznik zelo težko dosega vrhunske rezultate v vseh disciplinah. V procesu treningov je tako vse več specialnih elementov, ki so bolj učinkoviti za posamezno disciplino. Namen naloge je bil ugotoviti, ali obstajajo razlike v kontraktilnih lastnostih zunanje (VL) in notranje (VM) sprednje stegenske mišice med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju. Nadalje pa nas je zanimalo, ali obstajajo razlike v kontraktilnih lastnostih mišic VM in VL pri različnih kotih kolenskega sklepa (od 0 do 60 stopinj upogiba kolenskega sklepa) med obema skupinama smučarjev. V celotno raziskavo je bilo vključenih 14 merjencev, povprečne starosti 26,9 let ($\pm 2,8$ let), telesne višine 180,2 cm ($\pm 4,7$ cm) in telesne teže 87,4 kg ($\pm 6,9$ kg). Vsi v raziskavo vključeni merjenci so bili vrhunski smučarji, tekmovalci svetovnega pokala. Meritve smo opravili s tenziomiografsko metodo, s katero smo opazovali mehanski odziv mišice na posamičen električen dražljaj. Ugotovili smo, da imajo smučarji tehničnih disciplin krajši čas zadržka mišice VM obeh nog in višjo amplitudo odziva mišice VL desne noge. Iz rezultatov mišice VL

smo ugotovili, da imajo smučarji tehničnih disciplin krajša časa krčenja in zadržka obeh nog, medtem ko krajši čas sproščanja le na desni nogi ter višjo amplitudo odziva le na levi nogi. Smučarji hitrih disciplin imajo krajši čas krčenja mišice VM od kota 20 do 60 stopinj, medtem ko počasnejšo mišico VL pri kotih 0 in 10 stopinj. Amplitudo odziva mišice VM so imeli smučarji hitrih disciplin nižjo pri kotu 60 stopinj, medtem ko pri mišici VL višjo pri kotih od 0 do 20 stopinj.

Rezultati raziskave so pokazali, da se kontraktilne lastnosti dveh najpomembnejših sprednjih stegenskih mišic značilno razlikujejo med disciplinami alpskega smučanja. Narava razlik je lahko posledica biomehanskih razlik v tehniki smučanja.

Keywords: alpine skiing, skeletal muscle, tensiomyography, contractile characteristics, twitch

The title of the diploma thesis:

COMPARISON OF TENSIOMYOGRAPHY MEASUREMENTS AMONG THE REPRESENTATIVES OF DIFFERENT DISCIPLINES IN ALPINE SKIING

Author:

Luka Golob

University of Ljubljana, Faculty for sport, Ljubljana 2008

Sports training, alpine skiing

Number of pages: 64; number of tables: 5; number of graphs: 12; number of pictures: 9; number of sources: 45

ABSTRACT

With the development of skiing disciplines professional alpine skiing has reached the degree, where top results is very hard to reach. In the process of training there are more and more special elements that are more effective for each discipline. The purpose of diploma work was to find out whether there are differences in contractile characteristics in vastus lateralis (VL) and vastus medialis (VM) among alpine skiers of fast and technical disciplines. We were also interested whether there are differences in contractile characteristics of VM and VL muscles at different angles (from 0 to 60 degrees of knee joint bending) among both groups of the skiers. There were 14 people included in the whole research. The average age was 26,9 years ($\pm 2,8$ years), the average height was 190,2 cm ($\pm 4,7$ cm), the average weight was 87,4 kg ($\pm 6,9$ kg). People included in the research were all the professional skiers, competitors in the world cup. Measures were made by tensiomyography. We were observing the mechanical response of muscle onto each electrical stimulant. We

found out that skiers in technical disciplines have shorter time of holding VM muscle of both legs and the higher amplitude of VL muscle response of the right leg. According to the results of the VL muscle we found out the skiers in technical disciplines have shorter time of contracting and holding of both legs, but there is shorter time of relaxing just on the right leg and a higher responding amplitude just on the left leg. Skiers of fast disciplines have shorter contracting of VM muscle at angles 20 to 60 degrees. VL muscle is slower at angles 0 to 10 degrees. The amplitude of VM muscle response was lower than 60 degrees among skiers in fast disciplines, while at VL muscle higher at angles 0 to 20 degrees.

The results of research showed that there are differences in alpine skiing disciplines in contractile characteristics of most important musculus quadriceps femoris.

The differences that were mentioned can be the result of biomechanical differences in skiing technique.



KAZALO

1	UVOD	10
2	ALPSKO SMUČANJE.....	11
2.1	VRHUNSKO ALPSKO SMUČANJE	12
2.2	ZNAČILNOSTI POSAMEZNIH DISCIPLIN ALPSKEGA SMUČANJA	13
2.2.1	<i>Smuk</i>	13
2.2.2	<i>Slalom</i>	16
2.3	FUNKCIONALNOST MIŠIC SMUKAČEV IN SLALOMISTOV	19
2.4	POŠKODBE PRI ALPSKEM SMUČANJU	21
3	SKELETNA MIŠICA	24
3.1	ZGRADBA SKELETNE MIŠICE	24
3.2	KRČENJE MIŠICE	27
3.3	SPREMEMBA VOLUMNA MIŠICE	29
3.4	POŠKODBE MIŠIC IN BOLENJA ŽIVČNO-MIŠIČNEGA SISTEMA	30
4	TENZIOMIOGRAFSKA METODA MERJENJA BIOMEHANSKIH LASTNOSTI SKELETNIH MIŠIC.....	31
4.1	LASTNOSTI METODE TMG	31
4.2	OPIS DELOVANJA METODE TMG	32
4.3	UPORABNOST TMG METODE V ŠPORTU	33
4.4	MERILNA OPREMA.....	35
4.5	HOTENO KRČENJE	35
4.5.1	<i>Nehoteno krčenje</i>	36
4.5.2	<i>Tetanično krčenje</i>	37
4.5.3	<i>Izločanje parametrov</i>	38
4.5.4	<i>Primerjava z alternativnimi metodami</i>	39
4.5.5	<i>Ponovljivost metode TMG</i>	42
4.5.6	<i>Uporaba metode TMG</i>	42
5	PREDMET IN PROBLEM TER NAMEN DELA.....	44
6	CILJI PROUČEVANJA.....	46
7	DELOVNE HIPOTEZE.....	47
8	METODE DELA.....	48
8.1	MERJENCI	48
8.2	KONTRAKTILNE LASTNOSTI SKELETNIH MIŠIC.....	48
8.3	KONTRAKTILNE LASTNOSTI SKELETNIH MIŠIC PRI RAZLIČNIH KOTIH KOLENSKEGA SKLEPA 49	
8.4	STATISTIČNA OBDELAVA.....	49
9	REZULTATI.....	50
9.1	PRIMERJAVA KONTRAKTILNIH LASTNOSTI MIŠICE VM LEVE IN DESNE NOGE MED PREDSTAVNIKI HITRIH IN TEHNIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM SMUČANJU (HIPOTEZA H01).....	50
9.2	PRIMERJAVA KONTRAKTILNIH LASTNOSTI MIŠICE VL LEVE IN DESNE NOGE MED PREDSTAVNIKI HITRIH IN TEHNIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM SMUČANJU (HIPOTEZA H01).....	51

9.3	PRIMERJAVA KONTRAKTILNIH LASTNOSTI MIŠICE VM DESNE NOGE MED PREDSTAVNIKI HITRIH IN TEHNIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM SMUČANJU (HIPOTEZA H02) PRI RAZLIČNIH KOTIH V KOLENSKEM SKLEPU	52
9.4	PRIMERJAVA KONTRAKTILNIH LASTNOSTI MIŠICE VL DESNE NOGE MED PREDSTAVNIKI HITRIH IN TEHNIČNIH DISCIPLIN V ALPSKEM SMUČANJU (HIPOTEZA H02) PRI RAZLIČNIH KOTIH V KOLENSKEM SKLEPU	54
10	RAZPRAVA IN ZAKLJUČEK.....	57
11	LITERATURA.....	60

1 UVOD

Alpsko smučanje v današnjem času zahteva veliko treninga, kar posledično terja od posameznega smučarja zelo velik napor, ki ga le-ta vlaga v proces treninga. Za doseg ciljev, ki so pri posameznikih ponavadi zelo visoki, potrebuje smučar veliko moči oziroma mišične mase, posebej spodnje muskulature. To pomeni velike obremenitve za kolenski sklep. Največkrat pa samo povečanje mišične mase ni dovolj za doseg optimalne funkcionalnosti mišice. Slepno povečevanje mišične mase vse prevečkrat pripelje do poškodb. Slednjih je danes v alpskem smučanju zelo veliko in velikokrat to pomeni prekinitvev procesa treninga za določen čas, vse prevečkrat pa imajo te poškodbe tako velike posledice za tekmovalce, da so prisiljeni končati športno pot. Zato je danes zelo pomembno, da se poškodbam preventivno izognemo, kar pomeni, da je potrebno proces treninga optimizirati. Pri optimizaciji je zelo pomembno, da lahko čimbolj natančno spremljamo učinke procesa treninga in na podlagi rezultatov spreminjamo načrtovan proces. Ena izmed metod spremljanja rezultatov treningov je tenziomiografija.

Tenziomiografija je selektivna, neinvazivna metoda spremljanja lastnosti skeletnih mišic, s katero lahko zelo natančno spremljamo lastnosti posamezne mišice. Velikokrat namreč pride do poškodbe samo določene mišice in ta metoda nam omogoča odkrivanje nepravilnosti v delovanju mišice. S tenziomiografijo lahko neinvazivno ugotavljamo neznane nepravilnosti, ki nastanejo pri trenažnem procesu. Namen diplomskega dela je ugotavljanje razlik kontraktilnih lastnosti mišic iztegovalk kolena med smučarji smukači in slalomisti. Kontraktilne lastnosti posamezne mišice pa se v odvisnosti od različnih kotov v kolenskem sklepu spreminjajo, zato je namen diplomskega dela tudi ugotavljanje teh razlik. Rezultate meritev razlik kontraktilnih lastnosti mišic bi lahko najprej uporabili za optimalno optimizacijo pri procesu treninga. Nadalje lahko na osnovi meritev preprečimo nastanek poškodb, ki lahko nastanejo kot posledica določenih nepravilnosti v delovanju mišice. Meritve so v pomoč pri selekciji oziroma usmerjanju tekmovalcev v določeno disciplino nekega športa. Ta metoda pa je lahko zelo dobrodošla tudi pri izboru in usmerjanju otrok v šport.

2 ALPSKO SMUČANJE

Alpsko smučanje ima v Sloveniji pomembno vlogo. Večstoletna tradicija je pripomogla, da je smučanje naš nacionalni šport. Prav tako so številna odličja naših alpskih smučarjev prispevala velik delež k povečanemu zanimanju za tovrstni šport. Slovenci se z alpskim smučanjem najraje istovetimo na športnem področju, prav tako so nas pa naravne danosti, klimatski pogoji in lepota gora tako rekoč prisilili, da znamo živeti z naravo in z njo tudi uživati.

Eden izmed razlogov, da se je smučanje ohranjalo in razvijalo celo do najvišje ravni, ko so številni tekmovalci sposobni vrhunskih rezultatov, je pojav starosvetnega bloškega smučanja »na deščicah«. Zgodnja uvedba športnega smučanja, za katerega ima največje zasluge prav gotovo Edmund Čibej, ki je leta 1888 dobil prave smuči z Norveške in z njimi navdušil gozdarje in lovce, ki so jih uporabljali ne le za nujne poti do krmišč, temveč tudi za zabavo. S tem se je postavil temelj slovenskemu športnemu smučanju. Pojav tekmovalnega smučanja lahko prav tako uvrščamo med temeljne dejavnike za popularnost in vrhunskost alpskega smučanja, ki ga mnogi povezujejo z Avstrijcem Mathiasom Zdarskym. Uvedel je smučarsko tehniko (slalom), ki je omogočala hitro in ritmično nizanje zavojev na strmem bregu, z razliko od telemarka in kristjanije, s katerima je bilo hitro zavijanje oteženo, zlasti zaradi dolgih smuči in neprimernih vezi (Guček, 1998).

Tradicija je prav gotovo eden najpomembnejših razlogov za prodor Slovenije v sam svetovni vrh slovenskega alpskega smučanja. Ljubezna do gora in do narave na sploh ter smučanja kot športa je pripomogla, da se je alpsko smučanje na Slovenskem skozi desetletja razvijalo in postalo družbeni simbol in element nacionalne identitete. Vsaj v tem segmentu smo enakovredni ostalim smučarskim narodom.

2.1 Vrhunsko alpsko smučanje

Vrhunsko alpsko smučanje je ena od športnih aktivnosti, ki pogojuje optimalno sintezo motoričnih sposobnosti, psihičnih lastnosti, socialnih in drugih značilnosti tekmovalcev in njihovo optimalno uresničitev v trenutku športnega nastopa. Skupek vseh teh naštetih dejavnikov zahteva veliko znanstvenih informacij, ki so pogojene s transformacijskim procesom, njegovo kontrolo in seveda točno meritvijo.

Za uspešen nastop na tekmovanju je potrebno poznati skupek vseh dejavnikov, ki odločilno vplivajo na rezultat tekmovalca. Posameznik je izredno kompliciran, sestavljen sistem z zapletenim delovanjem. Spremembe v neki dimenziji lahko povsem porušijo celoten sistem ali pa, ravno nasprotno, ga še dodatno podkrepijo. Zato je še kako pomemben interdisciplinarni znanstveni pristop pri vsakem proučevanju človeka, tudi v športni dejavnosti. Šele povezovanje različnih znanstvenih področij omogoča strokovnejše delo tudi v praksi.

Tehnika smučanja se je vse do danes nenehno spreminjala, za kar imajo zasluge predvsem tekmovalci, ki neprestano usmerjajo svojo energijo v vedno nove, predvsem pa hitrejše načine smučanja, ki jim omogočajo vrhunske rezultate. Prilagajajo se pa vse do te mere, ko jim kvaliteta materialov, ki so sestavni del smučarske opreme, omogoča, da z optimalno psihofizičnimi sposobnostmi tekmovalec lahko doseže kar najboljši rezultat. Oprema pa pri tem ne omejuje tekmovalca pri doseganju realno dosegljivega cilja.

Pri opredeljevanju značilnih gibalnih struktur v alpskem smučanju moramo predvsem upoštevati konstrukcijske značilnosti tekmovalnih smuč, ki odločilno vplivajo na način njihove rabe. Glede na novo tehniko smučanja, to je vožnja po robnikih, brez oddrsavanj v posameznih fazah zavoja in vseskozi ohranjanje stika s snežno podlago, govorimo o poenotenju osnovne tehnike vodenja smuč na vse discipline. Razlike nastajajo predvsem v prežah za posamezno disciplino, amplitudah gibanja in frekvenci menjave robnikov.

Pogosto se pojavlja vprašanje: Kako vzdrževati visoko raven rezultatov iz sezone v sezono in ohranjati primat alpskega smučanja med drugimi športnimi panogami?

Tekmovalci in tekmovalke, ki so sedaj v vrhu ali vsaj blizu njega, bodo svojo kariero zaključili v naslednjih letih. Potrebno je vzgojiti posameznike, ki bodo sposobni nadaljevati in ohranjati tekmovalno vrhunsko smučanje na ustrezno visoki ravni. Vloga trenerjev je torej ključnega pomena, zlasti pri pravilnem in postopnem usmerjanju, pravilnem trenažnem procesu (Lešnik, 1996).

2.2 Značilnosti posameznih disciplin alpskega smučanja

Alpsko smučanje je olimpijski šport. Med uradno tekmovalne discipline uvrščamo: smuk, slalom, veleslalom, superveleslalom in superkombinacijo.

Vir: <http://sl.wikipedia.org>.

2.2.1 Smuk

Smuk je najhitrejša alpska smučarska disciplina, ki zaradi svojih značilnosti, kot so hitrost, pogum, atraktivnost in nevarnost, velja za formulo 1 alpskega smučanja. Tekmovalci dosegajo hitrosti tudi prek 130 km/h, skoki so lahko dolgi več kot 50 m. Kljub visokim stroškom, ki jih zahteva trening smuka, lahko z ustreznim pristopom, proučevanjem in izpopolnjevanjem tehnologije samega treninga in s premišljeno in preverjeno izbiro materialov dosežemo odmevne rezultate.

Osnovne značilnosti smuka so:

- visoka hitrost smučanja, pogosto nad 100 km/h,
- dolgi zavoji, kombinirani s poševnimi smuki in smuki naravnost,
- skoki, ki so posledica hitrosti, terenskih oblik na progi in osebnih odločitev o načinu premagovanja različnih terenskih oblik,
- veliko tveganje in visoka stopnja poguma.

Preža je v glavnem nižja kot pri drugih disciplinah in v celoti podrejena čim boljši aerodinamiki. Dolžine nihanja težišča so odvisne od razgibanosti terena in povezane

z ohranjanjem čim boljšega ravnotežja. Frekvenca menjave robnikov (zavojev) je najnižja med vsemi štirimi disciplinami. Poleg obvladovanja visokih hitrosti je v smuku izredno pomembna sposobnost blaženja neravnin, grbin in prečnih valov na progi med dolgimi zavoji, v smukih poševno in smučanju naravnost. To dosežemo z natančnim in pravočasnim obremenjevanjem in razbremenjevanjem smuči, za kar je nujno odlično dinamično ravnotežje ter popolna zbranost in osredotočenost na gibanje in uravnavanje pritiska na smuči v vsakem trenutku smučanja.

Vse te lastnosti si pridobimo v ustreznem procesu učenja in treninga ter s tekmovalnimi izkušnjami in podrobnim poznavanjem tekmovalnih prog. Med najatraktivnejše in najpomembnejše elemente smuka spadajo različni skoki, ki predstavljajo tudi največjo nevarnost za neveščega smukača.

Glede na situacijo na progi jih lahko razdelimo v tri glavne skupine:

- skoki naravnost,
- skoki v zavoj,
- skoki iz zavoja,

in v tri podskupine glede na način izvedbe:

- skoki z amortizacijo (blaženjem),
- skoki s predskokom,
- skoki z odzivom.

Skoki naravnost so vseh treh vrst; z amortizacijo ali predskokom, kadar želimo let skrajšati, ali z odzivom, kadar želimo ali moramo preskočiti določeno oviro ali terensko obliko pred nami.

Skok z amortizacijo je skok, pri katerem zgolj pritegnemo smuči k sebi pred prelomnico in pristanemo takoj za njo.

Skok s predskokom je pravzaprav običajen skok z odzivom, a se zgodi pred prelomnico, ki jo želimo preskočiti in pristati tik za njo. Z obema opisanimi skokoma poskušamo let čimbolj skrajšati.

Skok z odzivom je skok, pri katerem odrinemo na prelomnici in s tem podaljšamo let do zaželene točke.

Skoki v zavoj so z amortizacijo ali predskokom, da čimbolj skrajšamo fazo leta in omogočimo pravočasen stik s snegom za vstop v zavoj.

Skoki iz zavoja so večinoma z amortizacijo, da se izognemo hipnim povečanjem pritiska na podlago in s tem povezano nevarno izgubo ravnotežja tik pred in med letom po zraku.

Posebna zvrst skokov so skoki znotraj enega zavoja, ki se jim včasih ne moremo izogniti ter zaradi valovitega terena in hitrosti, s katero smučamo, ne moremo več popolnoma blažiti neravnin. V takem primeru poskušamo z natančno uravnanim odzivom preskočiti eno ali več grbin in mehko pristati takoj za vrhom vala, ki smo ga izbrali za doskok. Ta oblika skoka je včasih uporabna tudi v veleslalomu in superveleslalomu in na razritih progah, na kakršne naletijo tekmovalci z visokimi štartnimi številkami (Matijevc, 2003).

Nekaj zanimivosti smuka

Smuk je edina disciplina, v kateri so vratca označena izključno z rdečimi zastavicami in morajo biti v razmaku vsaj 8 metrov. Razlika v nadmorski višini starta in cilja pri moških znaša od 800 do 1000 m, pri ženskah od 500 do 700 m. Idealna linija je, zaradi eventuelne slabe vidljivosti, označena z modro barvo. Tekmovalci progo prevozijo v času minute in pol do dveh minut in pol, tekmovanje je sestavljeno le iz ene vožnje. Najbolj legendarni progi sta Streif v Kitzbühlu in Lauberhorn v Wengnu. Vir: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Smuk>.



Vir: www.zurnal24.si/.../index.html?id=24158.

2.2.2 Slalom

Slalom je alpska smučarska disciplina, ki je najpočasnejša in sodi med tehnične discipline.

Zavoji so značilno kratki, preža je nekoliko višja kot pri drugih disciplinah, frekvenca gibanja in menjave robnikov je izrazito višja.

Kratki slalomske zavoji so tehnično manj zahtevni od veleslalomskih, ker gibanje poteka na kratkih razdaljah in je njegova učinkovitost odvisna predvsem od pravočasnosti. Z ustrezno agresivnostjo in močjo lahko v veliki meri nadomestimo pomanjkljivosti v tehničnem znanju. Kljub temu pa predstavljajo zavoji z uravnavanjem obremenjevanja tudi v slalomu boljšo izbiro in omogočajo hitrejše, bolj obvladano in natančnejše obvladovanje terena in postavitev. Z uvedbo pregibnih količkov se je slalomska tehnika prehoda skozi vratca, ki je bila pred tem zelo podobna veleslalomski, močno spremenila. Če so prej odmikali količek z nadlahtjo ali ramenom notranje roke ob hkratnem zasuku telesa proč od količka, ga zdaj odmikajo

izključno s sočasnim delovanjem notranjega kolena in pesti (držaja palice) zunanje roke (Matijevc, 2003).

Nekaj zanimivosti slaloma

Višinska razlika med startom in ciljem pri moških znaša od 140 do 220 metrov, pri ženskah od 130 do 380 metrov. Vratic je pri moških od 55 do 75, pri ženskah od 40 do 60, široka so od 4 do 6 metrov. Vratice so drugačne oblike kot pri drugih disciplinah, in sicer so to količki s premerom od 3 do 4 cm. Proga mora vsebovati dve navpični kombinaciji in najmanj štiri dvojne vertikale. Tekmo sestavljata dva teka na različnih postavitvah proge. Smuči so pri moških dolge vsaj 165, pri ženskah 155 cm, čelada je obvezna.



Vir: [www.planet.si/portal/site/planet/menuitem.05f ...](http://www.planet.si/portal/site/planet/menuitem.05f...)

Nekaj zanimivosti veleslaloma

Veleslalom je osnovna smučarska disciplina, ki je sestavljena iz tehničnih zavojev pri relativno visoki hitrosti. Sodi med tehnične discipline. Višinska razlika med startom in ciljem pri moških znaša od 250 do 400 metrov, pri ženskah od 250 do 350 metrov.

Vratic je pri moških od 56 do 70, pri ženskah od 48 do 56.

Smuči so pri moških dolge vsaj 185, pri ženskah 180 cm, čelada ni obvezna, vendar jo uporabljajo skoraj vsi tekmovalci.

Vir: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Veleslalom>.

Nekaj zanimivosti super-G ali superveleslaloma

Je najmlajša alpska smučarska disciplina. V okviru svetovnega pokala je bila prva tekma odpeljana v letu 1982.

Super-G sodi med hitre discipline in velja za kombinacijo med smukom in veleslalomom. Najmanjše število vratic je pri moških 35, pri ženskah 30, široka so od 6 do 8 metrov, razdalja med njimi znaša vsaj 25 metrov. S progo tekmovalci opravijo v času med eno minuto ter minuto in tri četrtine. Smuči so pri moških dolge vsaj 205, pri ženskah 200 cm, čelada je obvezna.

Vir: <http://sl.wikipedia.org/wiki/Super-G>.

Nekaj zanimivosti superkombinacije

Superkombinacija je smučarska disciplina, ki je sestavljena iz dveh voženj. Včasih sta bili to ena vožnja skrajšanega smuka in dve vožnji slaloma. Sedaj pa je lahko kombinacija sestavljena iz dveh voženj katerih koli dveh disciplin.

Vir: http://sl.wikipedia.org/wiki/Smu%C4%8Darska_kombinacija.

2.3 Funkcionalnost mišic smukačev in slalomistov

Pri alpskem smučanju je obremenjena predvsem spodnja muskulatura. Funkcija mišic spodnjih ekstremitet predstavlja vodilno vlogo pri vrhunskem alpskem smučanju. Od njih je odvisna optimalna postavitev smučarja na smučeh. To pomeni, da je smučar skozi cel zavoj v ravnotežju oziroma je njegovo težišče v optimalnem položaju glede na fazo zavoja oziroma smer smučanja. Znano je, da smučar med smučanjem večkrat izgubi ravnotežje, bodisi zaradi zunanjih dejavnikov ali morda samega načina smučanja. Po izgubi ravnotežja telesa je potrebno najhitreje zopet vzpostaviti ravnotežni položaj telesa. Če je nihanje težišča telesa preveliko oziroma ne pride do vzpostavitve ravnotežja telesa v dovolj kratkem času, ponavadi sledi napaka in usodna izguba časa, največkrat pa se konča z odstopom tekmovalca.

Najpogosteje težišče telesa pade preveč nazaj, kar je že od samega začetka tekmovalnega smučanja, ne glede na spremembe, ki so se dogajale v samem načinu oziroma tehniki smučanja, najpogostejša napaka pri alpskem smučanju. Iz takega položaja se smučar rešuje tako, da poizkuša težišče telesa zopet prenesti naprej, pri tem imajo ključno vlogo mišice iztegovalke kolena, ki s proizvedeno silo poizkušajo najhitreje zopet vzpostaviti ravnotežni položaj. Tu imajo prednost smučarji, ki so v najkrajšem času sposobni proizvesti največ moči. Preprosto povedano je uspešnost reševanja takih situacij odvisna predvsem od moči oziroma kontraktilnih lastnosti mišic nog posameznega smučarja. Te lastnosti pa hkrati ločujejo vrhunske smučarje od tistih malo slabših oziroma se kažejo pri posameznih tekmovalcih kot odraz trenutne pripravljenosti.

Glede na značilnosti smuka in slaloma se absolutno pojavljajo določene razlike med funkcionalnostjo mišic spodnjega dela telesa, nog. Pri smuku, ki je najhitrejša alpska disciplina, prihaja do velikih sil oziroma obremenitev mišic, frekvenca gibanja, spreminjanja smeri smučanja pa je sorazmerno majhna v primerjavi s slalomom. Sposobnost, da smučar razvije optimalno hitrost, pogojuje predvsem dobra aerodinamika telesa, kar pomeni, da skuša smučar s samo držo telesa čim bolj izničiti vpliv sile zraka, ki vedno deluje nasproti smeri smučanja. Drža smukača je značilno zelo nizka z rokami pred telesom. Smučarske palice, ki imajo značilno

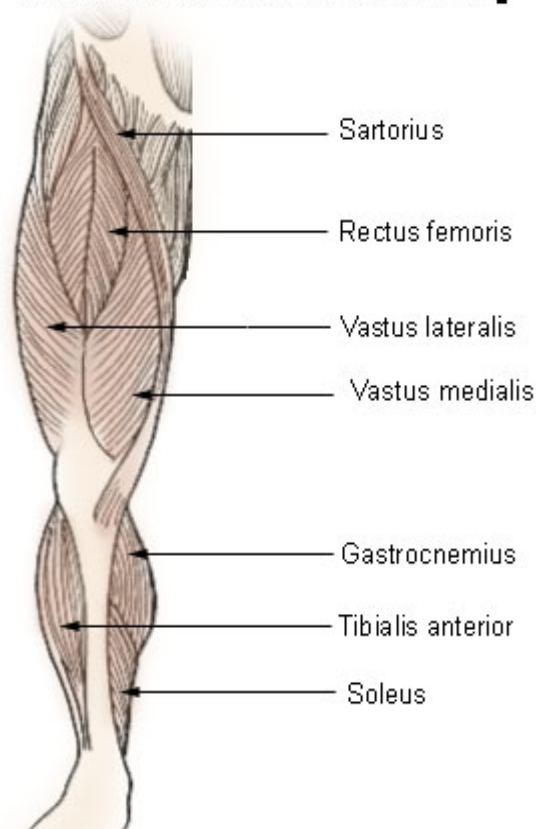
aerodinamično obliko, so tesno ob telesu. Smučar poizkuša v tem položaju presmučati kar največ časa na progi, pri tem pa ves čas stremi k ohranjanju ravnotežnega položaja. Vemo, da smukaško progo sestavljajo številni manjši in večji skoki ter zelo zahtevni hitri zavoji, ki pomenijo veliko obremenitev na smučarjevo telo, predvsem na spodnji ekstremiteti. Pred temi deli proge smučar rahlo iztegne nogi, s tem zviša težišče ter tako lažje ohrani ravnotežni položaj in pravilno smer smučanja. Lahko tudi rečemo, da je nihanje težišča pri smuku odvisno od konfiguracije terena, predvsem pa ohranjanja ravnotežnega položaja telesa.

Pri slalomu, ki je najpočasnejša alpska disciplina, je frekvenca ponavljajočih se gibov zelo visoka. Razdalje med vratci so v primerjavi s smukom zelo majhne. Smučar ima zelo malo časa za spremembo smeri smučanja in izpeljavo zavoja. Gibanje slalomista je tako izrazito dinamično. Drža slalomista je bolj pokončna, boki so visoki, roke so pred telesom in pomagajo pri odbijanju vratic. Težišče telesa je višje kot pri smuku. Najpomembnejše pri slalomu je ohranjanje ravnotežnega položaja. Akcije v slalomu so zelo kratke, zato izguba ravnotežja lahko pomeni odstop.

Splošno znano je, da so pri nizkih kotih v kolenu aktivnejše mišice na notranji strani stegen (*vastus medialis*), pri višjih kotih v kolenu pa so aktivnejše mišice na zunanji strani stegen (*vastus lateralis*). Nizek kot v kolenu pomeni, da so noge bolj pokrčene in da je težišče telesa nižje kot pri višjih kotih v kolenu.

Mišice spodnjih okončin

Muscles of the Lower Extremity



Vir: [http://www.training.seer.cancer.gov/module_anatomy/unit4 ...](http://www.training.seer.cancer.gov/module_anatomy/unit4...)

2.4 Poškodbe pri alpskem smučanju

Kot vemo, so poškodbe v alpskem smučanju zelo pogoste. V zadnjih sezonah je število poškodb predvsem v hitrih disciplinah močno naraslo. Kljub temu da so vrste poškodb različne, izstopata predvsem poškodbi kolena in glave. Tovrstne poškodbe velikokrat vodijo do dolgotrajne rehabilitacije, nastanka kroničnih poškodb, pri močnejših poškodbah glave ali vrata pa lahko pride tudi do smrti. Učinkovitost preprečevanja poškodb je odvisna od obsega informacij, faktorjev tveganja in mehanizmov poškodb.

Število poškodb je tudi pri mednarodni smučarski zvezi (FIS) v zadnjem času vzbudilo veliko skrbi. S tem namenom je mednarodna smučarska zveza ustanovila sistem za preprečevanje poškodb v vrhunskem alpskem smučanju (INJURY SURVEILLANCE SYSTEM). Omenjeni sistem je pod vodstvom centra za raziskave poškodb v Oslu, ki ga podpira globalno medicinsko združenje za rehabilitacijo in regeneracijo. Glavna naloga tega sistema je zagotavljanje zanesljivih podatkov o trendih poškodb v vrhunskem alpskem smučanju. Specifična področja nalog organizacije ISS so:

- spremljanje vseh vrst poškodb v disciplinah FIS-e,
- spremljanje trendov poškodb s časom in
- zagotavljanje vseh vrst podatkov o vzrokih poškodb za določeno disciplino.

Končni cilj organizacije ISS je s spremembami pravil o tekmovanjih, opremi in pogoji tekmovanja zmanjšati število poškodb.

Rezultati so v prvem letu delovanja organizacije ISS pokazali, da so poškodbe pri alpskem smučanju zelo resne. Najpogostejše so poškodbe kolena.

Ob koncu sezone 2006/2007 je bila izvedena anketna raziskava o številu poškodb, ki so jih posamezni športniki utrpeli. V raziskavo je bilo vključenih 902 vrhunskih športnikov iz 9 držav. Rezultati so pokazali, da je najpogostejša poškodba kolena, ki zahteva tudi najdaljši čas okrevanja. Raziskave so pokazale, da so najpogostejše poškodbe kolen v disciplinah alpskega smučanja, prostega sloga, deskanja na snegu, smučarskih skokih in nordijskih kombinacijah. Izjema je tek na smučeh, kjer gre za obremenjenost oz. poškodbe hrbta.

Največ poškodb, 139 od 296 oziroma 46 %, se je zgodilo na tekmovanju samem oz. na uradnem treningu. Ugotovljeno je bilo, da je pri alpskem smučanju izpustilo vsaj 1 dan tekme oz. uradnega treninga 15 od 100 športnikov, pri prostem slogu 14 od 100 in pri deskanju na snegu 11 od 100 anketiranih športnikov. V primerjavi z nordijsko kombinacijo pa je 11 od 100 anketiranih športnikov, pri smučarskih skokih 6 od 100 in pri teku na smučeh 3 od 100 anketiranih športnikov izpustilo vsaj 1 dan tekme oz.

uradnega treninga. V raziskavi je bilo ugotovljeno, da je bilo 23-46 % poškodb, katere so terjale več kot 1 mesec odsotnosti športnikov.

Glede na razvijajočo se tehniko v posamezni športni disciplini in ob nezadostnih varnostnih ukrepih so poškodbe v alpskem smučanju različne, toda večkrat značilne. Do poškodbe pride pod vplivom zunanjih mehanskih, kemičnih, toplotnih in drugih dejavnikov. Športne poškodbe so tiste, ki so pogoste in značilne za posamezno športno panogo. Za smučanje so značilne poškodbe kolenskega in skočnega sklepa. To so akutne poškodbe, ki nastanejo nenadoma.

Vir: <http://www.klokeavskade.no/en/News-archive/News-archive-2007/One-Year-with-the-FIS-Injury-Surveillance-Study/>.

3 SKELETNA MIŠICA

Skeletne mišice omogočajo človeku, da se lahko koordinirano giblje po prostoru. Gibalni sistem poleg mišic sestavljajo še kosti in živčni sistem. Skeletne mišice v človekovem telesu predstavljajo generator, ki po ukazu iz centralnega živčnega sistema proizvede silo, s katero lahko izvedemo hoteno gibanje. Delež mase skeletnih ali prečnoprogastih mišic znaša 30 %-40 % celotne telesne mase. Princip mišičnega delovanja temelji na skrčenju mišice, pri tem mišica proizvede silo, ki se prenese na kosti. Če je ta sila dovolj velika, omogoča premik kosti v sklepu in s tem delovanje gibalnega sistema.

3.1 Zgradba skeletne mišice

Skeletna mišica (v nadaljevanju mišica) se kot celota pripenja na kost na enem ali več izvoru in enem ali več prirastiščem. Izvor mišice se pri določenem gibu, ki ga mišica izvaja, ne premika, medtem ko se prirastišče premika proti izvoru. Mišica se na obeh koncih prirašča na kost s tetivo. Med obema tetivama je odebeljen srednji del, sestavljen iz glave in trebuha, kjer se mišica krči. Izvor se pri gibu, ki ga mišica izvaja, ne premika, medtem ko se prirastišče premika proti izvoru. Mišice delimo lahko po vrsti gibov, ki jih izvajajo, na:

- fleksorje: mišice, ki krčijo sklep;
- ekstenzorje: mišice, ki iztegujejo sklep.



Slika 1. Gibanje podlakti z dvoglavo in tri-glavo mišico
 a) Skrčena mišica b) Raztegnjena mišica

Vir: webset.fe.uni-lj.si/biologija/bio_poglavje9.html.

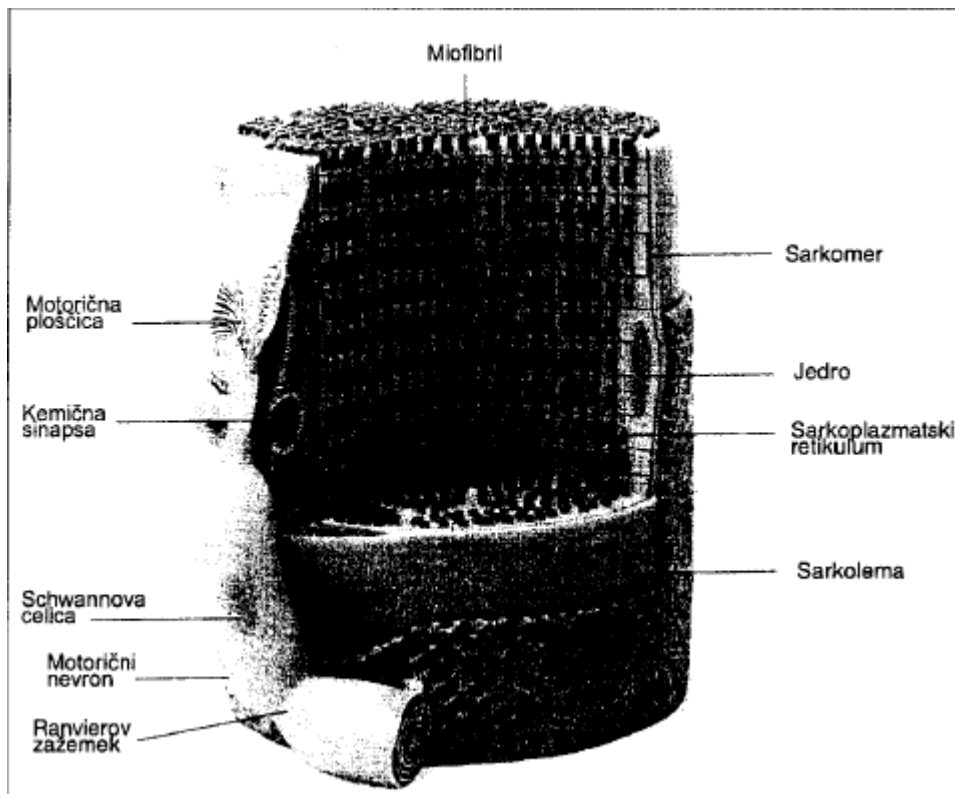
Po izvedbah gibov, ki jih mišice opravljajo, jih delimo še na:

- agoniste: pri določenem gibu je to tista mišica, ki lahko gib izvede sama, brez pomoči ostalih;
- antagoniste: izvaja nasproten gib agonista;
- sinergiste: ker mišice delujejo vedno v skupini, imenujemo glavno mišico pri določenem gibu agonist, ostale pa sinergisti. Omogočajo bolj zahtevne in natančne gibe.

Mišice sestavljajo mišična vlakna (miofibre), te pa mišična vlakenca (miofibrile), prikazano na sliki 2.2. Dolžina mišičnih vlaken je glede na anatomsko lego in funkcijo mišice 12–15 cm, medtem ko je debelina 0.1–0.2 mm. Od dolžine mišičnih vlaken je odvisno, kako je mišica krčljiva. Daljša so mišična vlakna, bolj je mišica krčljiva. Sila, ki jo skeletna mišica proizvede, je odvisna od preseka mišičnih vlaken. Debelejša vlakna lahko proizvedejo večjo silo (Enoka, 1994).

Miofibrile so krčljive proteinske strukture. Posamezne miofibrile so zgrajene iz debelih miozinskih nitk in tankih aktinskih nitk (miofilamentov), dolžine do 2.5 mm in debeline do 1 mm. Vsaki aktinski nitki se prilega šest miozinskih nitk. Ta razporeditev leži v

najmanjši funkcionalni enoti mišice (sarkomeri). Ponavljajoče razporeditve miofilamentov v sarkomeri se pod mikroskopom vidijo kot proge (progi A,I in disk Z), zato pravimo skeletnim mišicam tudi progaste skeletne mišice (Enoka, 1994).



Slika 2.2: Zgradba skeletne mišice

Glede na anatomsko obliko delimo mišice na eno-, dvo- in troglave ali eno- in dvotrebušaste ali večlistne. Različne anatomske oblike mišic vplivajo na biomehanske funkcije mišic. Vsako mišično vlakno ima svojo ovojnico (endomisium), skupina mišičnih vlaken ali snop mišičnih vlaken obdaja tudi ovojnica (perimisium), po vrhu ima skeletna mišica še eno ovojnico (epimisium), ki obdaja celotno mišico. S pomočjo teh vezivnih ovojnic se skeletna mišica preko kit pripenja na obeh koncih na skelet.

3.2 Krčenje mišice

Za podrobnejše spoznavanje mišičnega krčenja se moramo še bolj poglobiti v zgradbo skeletne mišice in njen živčni sistem. Mišična vlakna delimo po njihovi hitrosti krčenja in sposobnosti vzdržljivosti krčenja na:

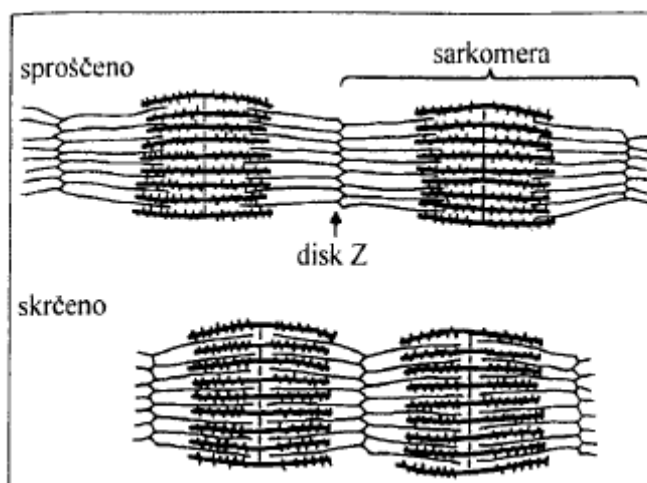
- tip I: so počasna mišična vlakna, ki so vzdržljiva;
- tip IIa: so hitra mišična vlakna in so odporna na utrujanje;
- tip IIb: so hitra mišična vlakna in se tudi hitro utrudijo.

Zadnji dve skupini (tip IIa in tip IIb) združimo v skupino hitrih mišičnih vlaken. Vsaka mišica je sestavljena iz določenega odstotka hitrih in počasnih vlaken, glede na naravo giba, ki ga izvaja. Tako so počasne ali vzdržljive (tonične) mišice sestavljene iz pretežno počasnih vlaken (triceps brachii, vastus lateralis), (L. Vodovnik, 1991).

Motorična enota je najmanjša funkcionalna enota živčne enote mišične aktivnosti. Sestavljena je iz alfa motoričnega živca in vseh vlaken, ki jih ta živec oživčuje. V eni motorični enoti so poleg živca tudi mišična vlakna, vendar iz ene same skupine, torej le hitra ali le počasna. Motorične enote, ki vsebujejo številčno veliko mišičnih vlaken, so sposobne proizvesti veliko silo, vendar niso sposobne natančno uravnati sile. Take motorične enote vsebujejo do 2000 mišičnih vlaken. Na drugi strani imamo mišice, ki natančno premikajo dele telesa (mišice oči in glasilk) in ne proizvajajo velike sile, zato vsebujejo le 2–3 vlakna (L. Vodovnik, 1991). Sinapso med živcem in mišično celico predstavlja motorična končna ploščica. Preko nje se v mišično celico prenese elektrokemični dražljaj. Z depolarizacijo sarkoleme s spremenjeno znotrajcelično koncentracijo kalija in natrija se električni (akcijski) potencial spremeni in doseže svoj vrh 5 ms po dražljaju. Obraten proces je repolarizacija sarkoleme (L. Vodovnik, 1991).

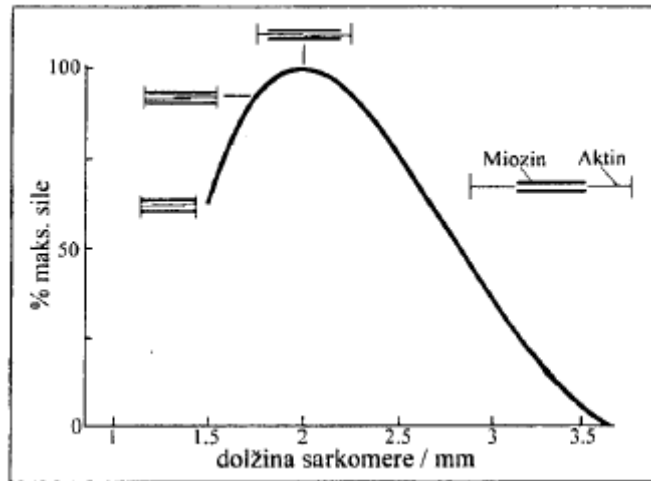
V procesu krčenja drsijo aktinske nitke proti sredini vlaken, kar povzroči, da se sarkomera skrajša za nekaj cm (slika 3.3). V ozadju mišičnega krčenja potekajo zelo zapleteni kemični procesi, naj omenim le ATP (adenosintrifosfat) kot osnovni vir energije in kalcij kot katalizator.

Sila, ki jo razvije sarkomera, je v veliki meri odvisna od položaja beljakovin aktina in miozina v miofilamentu (slika 3.4). Če je sarkomera zelo raztegnjena, se aktinske in miozinske nitke malo prekrivajo in je ta sila majhna. Če sarkomero skrajšujemo, se sila linearno povečuje in se v čisto stisnjenem sarkomeru glavice aktina prekrivajo in nato se mišična sila zopet zmanjša (K. A. Edman, 1992).



Slika 3.3: Aktin in miozin v sproščeni in skrčeni mišici. Dolžina sarkomere se med krčenjem mišice zmanjša (Goldspink, 1992)

Če vpnemo del telesa, ki se naj bi pri krčenju skeletne mišice premaknil, se ob krčenju mišice razvije sila na obeh koncih mišice. V kolikor dosežemo, da se mišica ne skrajša ob krčenju, imenujemo takšno krčenje izometrično krčenje, če pa telesa ne vpnemo in se ob krčenju mišica skrajša, imenujemo takšno krčenje izotonično krčenje.



Slika 3.4: Sila, ki jo lahko proizvede mišica v odvisnosti od dolžine sarkomere (K. A. Edman, 1992)

Hitre mišice imajo debelejša vlakna, so močnejše in jih težje hoteno aktiviramo. Ob vsakdanjem delu najpogosteje aktiviramo le počasna vlakna, ki so tanjša in bolj prekrvavljena. Imajo boljšo oskrbo s kisikom in so posledično bolj vzdržljiva. S specifično vadbo lahko vplivamo predvsem na hitre mišice (na vlakna tipa 2a in 2b), (Karba, Stefanovska, Djordjevič, 1990; Andersen, Scherling, Saltin, 2000; Pette, Vrbova, 1992).

3.3 Sprememba volumna mišice

Pri krčenju mišice se mišica skrajša in na določenem mestu odebeli. Tako odebeljenemu delu mišice pravimo mišični trebuh. Če opazujemo le volumen trebuha mišice, se ta nedvomno spremeni. Rečemo lahko, da je mišica močnejša, če naredi večji trebuh, oziroma večjo spremembo volumna trebuha pri enaki dolžini mišic (Enoka, 1994). Vprašamo se lahko, če velja zakon ohranjanja volumna med krčenjem. Odgovor na to vprašanje je še neznan, obstajajo le predvidevanja, da se naj bi volumen ohranjal (Fukunaga, Roy, Shellock, Hodgson, Day, Lee, 2001). Ta predvidevanja temeljijo na tem, da je mišica sestavljena iz skoraj nestisljivih snovi.

3.4 Poškodbe mišic in obolenja živčno-mišičnega sistema

Predvsem pri vrhunskem športu se pogosto srečujemo s pojmom mišičnih poškodb. Poškodbe mišic se pojavljajo pri hitrih športih, medtem ko se pri vzdržljivostnih športih srečujemo s pojmom utrujenosti in preobremenjenosti živčno-mišičnega sistema. Posledično se to velikokrat odraža v neuravnoteženem športnikovem telesu, pri katerem prihaja predvsem do nesimetrij leve in desne strani telesa in nesimetrij pri parih agonistov in antagonistov. Da bi te nesimetrije spremljali in jih potem odpravljali, bi bilo potrebno kontinuirano spremljati vpliv treninga, masaže in vsakdanjega dela na živčno-mišični sistem.

Podobne probleme imamo na področju medicine pri bolnikih z živčno-mišičnimi boleznimi ali okvari (distrofija, denervacija). Pri teh bolnikih je nastopajoča bolezen lahko dedna in v mnogih primerih neozdravljiva. Bolezen v večini primerov najprej prizadane hitra mišična vlakna in s tem hitre mišice (vastus lateralis, vastus medialis), medtem ko so ostale mišice manj prizadete. Tu je potrebno razvoj bolezni vsaj upočasniti, če ne ustaviti, za kar se uporablja kar nekaj metod v fizioterapiji (električna stimulacija, akupunktura, razgibavanje ...). Običajno bolezen selektivno prizadane samo določeno skupino mišic, kar pomeni, da bi bilo nujno opazovati mišice čimbolj selektivno (Šimunič B., 2001).

V obeh opisanih primerih smo opazili, da je neinvazivno opazovanje mišic potrebno izvajati takoj in brez premisleka pri ljudeh, ki imajo probleme z glavnim predstavnikom gibalnega sistema in seveda tudi tistih, ki jih nevarnost poškodbe čaka na vsakem koraku. Ker pa je skeletnih mišic v človeškem telesu več kot 600, ki se po anatomiji in funkcionalnosti zelo razlikujejo, je potrebno na preprost in univerzalen način spremljati vsako mišico ali vsaj tiste, ki so površinske oziroma jim tetive ležijo pod kožo.

4 TENZIOMIOGRAFSKA METODA MERJENJA BIOMEHANSKIH LASTNOSTI SKELETNIH MIŠIČ

Merjenje krčljivosti (kontraktilnih lastnosti) skeletnih mišic je za razumevanje delovanja mišic zelo pomembno.

Zlasti zahtevno je selektivno merjenje aktivnosti posamezne mišice znotraj mišične skupine. Široko uporabljena metoda za merjenje mišične sile je metoda merjenja navora v sklepu, ki meri silo pripadajoče mišične skupine, vendar ima nekatere omejitve.

Tenziomiografska metoda (TMG) je svoj uspeh v javnosti doživela potem, ko se je leta 1996 projektu priključil Srdjan Djordjević, po izobrazbi biolog, sicer pa vrhunski atletski trener in svetovalec športnikom iz drugih športnih panog. Šport, ki z naraščajočo komercializacijo in profesionalizacijo išče vedno nove poti za izboljšanje človekovih dosežkov, kaže zadnje desetletje ali dve posebno zanimanje za vsakovrstna znanja. Številne meritve in raziskave, ki so potrebne za standardizacijo te metode, so bile izpeljane na športnikih, tako da je njena sedanja uporabnost največja prav na tem področju (Žiberna, 2003).

4.1 Lastnosti metode TMG

Lastnosti metode TMG (tenziomiografija merjenja biomehanskih lastnosti skeletnih mišic) so:

- neinvazivna (ne posega v telo in je neboleča),
- preprosta,
- selektivna (omogoča merjenje krčljivosti številnih posameznih mišic in ne zgolj mišičnih skupin),
- univerzalna (isto opremo se uporablja za merjenje vseh mišic, na katerih je mogoče opraviti meritve),
- ponovljiva (dosežena ponovljivost meritev je večja od 95 %),
- občutljiva (zaznava šibko mišično aktivnost),

- edina metoda, ki omogoča nainvazivno merjenje krčljivosti mišic erector spinae, zelo pomembnega para hrbtnih mišic, ki potekata na spodnjem delu hrbta vzdolž hrbtenice in sta v pomembni povezavi z bolečinami v predelu križa in okončinah (Žiberna, 2003).

4.2 Opis delovanja metode TMG

Merjenec se udobno in čimbolj naravno namesti na merilno mizo. Njegova natančna namestitev je odvisna od mišice, katere kontraktilne lastnosti želimo izmeriti. Tako se, denimo, pri merjenju sprednjih stegenskih mišic (vastus medialis, vastus lateralis, rektus femoris) merjenec nahaja v sedečem položaju, prav tako pri meritvah dvoglave mišice nadlakti (biceps brachii), pri merjenju mišice na zadnjem delu stegna (biceps femoris) pa leži na trebuhu. Na mišico se na ustrezni medsebojni razdalji namestita dve površinski elektrodi, ki sta povezani z izvorom električne napetosti – električnim stimulatorjem. Najprej se z električnim dražljajem in otipavanjem ugotovi trebuh mišice.

Ta postopek je tako kot druge meritve neboleč, kar je mogoče doseči s kratkotrajnim, komaj eno milisekundo trajajočim električnim dražljajem. Pri meritvah se skrčenje (zadebelitev mišice) doseže umetno, to je z električnim dražljajem. Pri hotenem krčenju je namreč zadebelitev mišice odvisna od merjenčeve motiviranosti, soaktivacije drugih mišic in premikov telesa. To zmanjšuje ponovljivost merjenja, ki je za objektivnost meritve pomembna. Ko se ugotovi merilna točka, ki se nahaja na trebuhu mišice, torej med elektrodama, se pravokotno nanjo namesti senzor odmika.

Mišico vzdražimo z električnim dražljajem, zato se skrči, njen osrednji del (trebuh) pa se zadebeli in odrine tipalo, ki izmeri velikost tega odmika in druge (časovne) parametre ter jih v digitalni obliki posreduje osebnemu računalniku, s katerim je povezan. Digitalni zapis omogoča natančnost podatkov, saj se ti pri prenosu v analogni obliki določeni meri popačijo, npr. zaradi vpliva elektromagnetnega valovanja, ki ga oddajajo električne naprave in napeljave v merilnih prostorih ipd. Shranjeni podatki so nato na voljo za obdelavo in interpretacijo (Žiberna, 2003).

4.3 Uporabnost TMG metode v športu

Metoda TMG je lahko uporabna kot sredstvo, ki pomaga pri preventivi pred poškodbami, saj omogoča zaznavanje mišičnih neskladij. Omogoča zaznavanje šibkih členov v kinematični verigi, odpravljanje njihovih slabosti in s tem izboljšanje rezultata, pa tudi izbor individualno najprimernejših načinov treniranja. Poleg tega jo je mogoče uporabiti v času po poškodbi mišic, ker omogoča natančno spremljanje poteka rehabilitacije.

Metoda TMG lahko po mnenju njenih avtorjev v namene vrhunškega športa pomaga pri:

- preprečevanju poškodb zaradi asimetrij (lateralne in funkcionalne),
- določanju optimalnega časa počitka pri ponavljalnih treningih,
- natančnejšem določanju najučinkovitejših metod treniranja posameznih mišic oz. mišičnih skupin,
- ugotavljanju strukture (relativna vsebnost hitrih in počasnih mišičnih vlaken) posameznih mišic, torej nekaterih naravnih predispozicij za ukvarjanje z določenimi športi,
- objektivnejšem spremljanju poteka zdravljenja poškodb mišic in kit ter natančnejšem določanju trenutka, ko športnik lahko začne spet trenirati s polno močjo,
- spremljanju rehabilitacije po operaciji,
- preprečevanju nastanka pogostih popoškodbenih asimetrij, ki so lahko vzrok nadaljnjih poškodb.

Lateralna (a)simetrija je (ne)usklajenost med istimi mišicami leve in desne strani telesa. Tako npr. lahko ugotavljamo (ne)sorazmerje med silo (nanjo po metodi TMG sklepamo po velikosti mišičnega trebuha), ki jo razvije vastus medialis (ena izmed sprednjih stegenskih mišic) leve noge, z istoimensko mišico desne noge. Če sta sili, ki sta jo mišici sposobni razviti, enaki oz. podobni, govorimo o njuni simetriji, če pa se občutno razlikujeta, gre za njuno asimetrijo.

Mišici v paru se lahko razlikujeta v časovnih parametrih – dvižnem in zakasnilnem času ter času zadržka in sproščanja. V športu je asimetrija pogosta zaradi narave izbranega športa (npr. nogomet, tenis, golf, tek čez ovire, met kopija, skok v daljavo ipd.). Asimetrija ni vedno nezaželjena in je – glede na športno panogo – posledica specialne priprave. Tako je pri skakalcu v daljavo mogoče pričakovati, da bodo mišice odzivne noge, ki so pri odzivu najbolj dejavne, bolj razvite kot njihove komplementarne mišice zamašne noge. To je pravzaprav zaželena asimetrija. Nezaželjena pa je asimetrija, ki je posledica oslabelosti ene od mišic kot posledica poškodbe. Metoda TMG stopnjo take asimetričnosti izmeri, na tej osnovi pa lahko izberemo vaje in postopke, ki bodo okrepili oslabele mišico in omilili asimetrijo.

Funkcionalna (a)simetrija je primerjava med mišicami, ki omogočajo premikanje – med agonisti in njim nasprotno delujočimi antagonisti (upogibalkami in iztegovalkami). Pri preprečevanju poškodb v športu ji pripisujemo večji pomen kot ugotavljanju lateralne (a)simetrije. Za primer vzemimo ugotavljanje usklajenosti med silami, ki jih razvijejo mišice sprednjega dela stegna z nasprotno delujočimi silami zadnjega dela stegna (t. i. mišice hamstring). Slednje so pri šprintu, ki je sestavni del večine športov, izredno obremenjene, njihova neustrezna razvitost (glede na druge stegenske mišice) pa ima za posledico poškodbe (npr. natrganje tako t. i. zadnje lože). Meritve, ki take asimetrije ugotovijo, in ustrezne vaje, ki jih odpravijo, lahko poškodbe preprečijo.

Pomembno je tudi ugotavljanje simetrije med prednjima stegenskima mišicama (*vastus medialis* in *vastus lateralis*), na katere se pripenjajo kolenske vezi. Te se v primeru njune medsebojne neuskklajenosti pogosto poškodujejo. Podobno je v primeru neskladnosti obeh glav mišic meč (*gastrocnemius*) nevarnosti poškodbe izpostavljena ahilova tetiva.

Asimetrije so pogost pojav zlasti po poškodbah in so lahko vzrok ponovnih ali drugih vrst poškodb. Katere meritve je za športnika smiselno opraviti, pa je seveda odvisno od narave izbranega športa (Žiberna, 2003).

S tenziomiografijo lahko neinvazivno, selektivno, univerzalno in na preprost način spremljamo kontraktilne lastnosti skeletnih mišic. Metoda je bila razvita v laboratoriju

LANE, Fakultete za elektrotehniko, Univerze v Ljubljani, in temelji na merjenju radialnih odmikov trebuha mišice ob mišičnem krčenju. Glavna ideja metode je v tem, da na merjeno mišico ustvarimo s senzorjem pritisk (*tensio*) in s tem prisilimo, da se ob krčenju mišica radialno odzove in odmakne senzor. Z metodo TMG lahko spremljamo vse vrste mišičnih krčenj, kot so hoteno, nehoteno, tetanično in tudi refleksno krčenje mišice. Merilna oprema je enaka tako za vsako merjeno mišico, kot tudi za vsako vrsto mišičnega krčenja (Valenčič, 1990).

4.4 Merilna oprema

Za udobno namestitev merjenca imamo nastavljivo merilno mizo in še druge pripomočke, da poskrbimo za izometrične pogoje meritev. Ostala merilna oprema se sestoji iz:

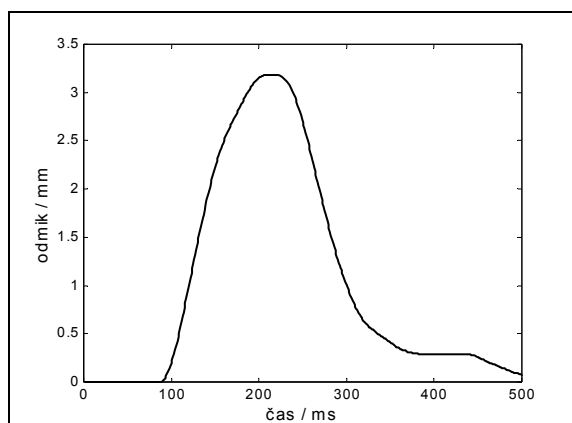
- senzorja odmika,
- hidravlične roke in stojala za pritrditev senzorja,
- električnega stimulatorja,
- površinskih elektrod,
- sistema za zajemanje podatkov z ustreznim strojnimi in programskim delom.

4.5 Hoteno krčenje

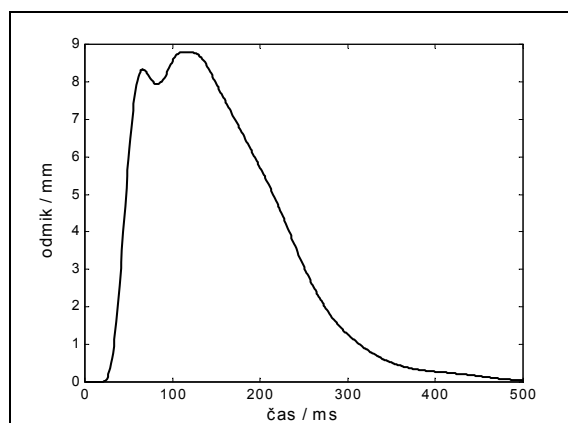
Merjenca položimo v udoben, čimbolj naraven položaj, kjer so sklepi v rahli fleksiji in mišice sproščene. Poskrbimo za izometrične pogoje meritev. Merjenec sedi, leži na trebuhu, boku ali hrbtu, odvisno od merjene mišice. S palpacijo in poskusom z električnim dražljajem otipamo trebuh mišice in s tem merilno točko. Senzor nastavimo pravokotno na mišični trebuh v merilno točko. Merjenec samoiniciativno izometrično krči mišico, nastali trebuh odmakne senzor odmikov, z računalnikom vzorčimo položaj senzorja in dobimo odziv trebuha mišice v časovnem prostoru (slika 4.1).

Pri merjenju odziva hotenega krčenja mišice lahko na rezultat vpliva motiviranost merjenca pri različnih poskusih, zato tu nimamo velike ponovljivosti meritev.

Na sliki 4.1 in 4.2 sta primera odzivov TMG mišice *vastus medialis*. Oba odziva hotenega in nehotenega krčenja sta bila posneta na isti osebi in na isti mišici.



Slika 4.1: *TMG odziv hotenega krčenja mišice vastus medialis, ki spada med hitre mišice. S hotenim krčenjem najprej aktiviramo počasna vlakna in nato ob večji doseženi sili še hitra. Zato dobimo počasnejši odziv (Garnett, Stephens, 1981).*

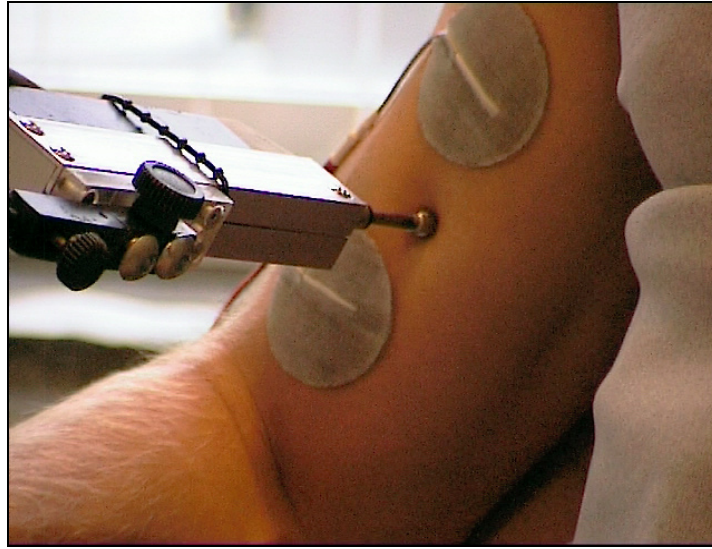


Slika 4.2: *TMG odziv nehotenega krčenja mišice vastus medialis. Z električnim dražljajem krčimo tako počasna kot tudi veliko hitrih mišičnih vlaken že pri malo večji stimulacijski amplitudi od praga (Garnett, Stephens, 1981).*

4.5.1 Nehoteno krčenje

Odziv mišice na posamičen električni dražljaj je prevajalna funkcija sistema v časovnem prostoru (slika 4.2), kar pomeni, da opisuje lastnost sistema. Tudi tu položimo merjenca v udoben položaj in poskrbimo za izometrične pogoje meritve. Mišico stimuliramo selektivno z električnim dražljajem amplitude pri napetostnem viru 20–40 V nad pragom in pri tokovnem viru 10–20 mA nad pragom. Prag je najnižja napetost ali tok, ki povzroči krčenje mišice.

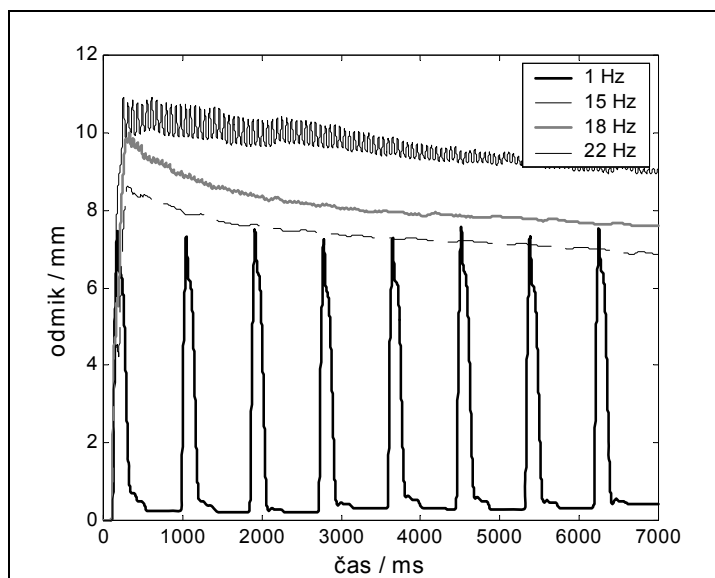
Senzor tudi tu nastavimo pravokotno na trebuh mišice, stimulacijske elektrode pri bipolarni stimulaciji nastavimo 5–7 cm proksimalno in distalno od merilne točke (slika 4.3). Radialni odmik merjene mišice je odvisen od njene velikosti, histološke strukture in ovojnice, ki v nekaterih primerih (*tibialis anterior*) ne dopušča nastanka velikega mišičnega trebuha.



Slika 4.3: Postavitev elektrod in senzorja na trebuh mišice *biceps brachii* v izometričnih pogojih

4.5.2 Tetanično krčenje

Če mišico stimuliramo z vlakom električnih dražljajev, potem dosežemo tetanično krčenje mišice. Kolikor so električni dražljaji med sabo dovolj dolgo narazen, se mišica lahko po vsakem krčenju sprosti, če frekvenco povečujemo, mišica pri določeni frekvenci ni več sposobna slediti električnim dražljajem (slika 4.4). Takrat se posamezni odzivi spremenijo v en odziv (tetanizacija). Pri hitrih mišicah nastopi tetanizacija pri višji frekvenci kot pri počasnejših mišicah (Kerševan, 1999).



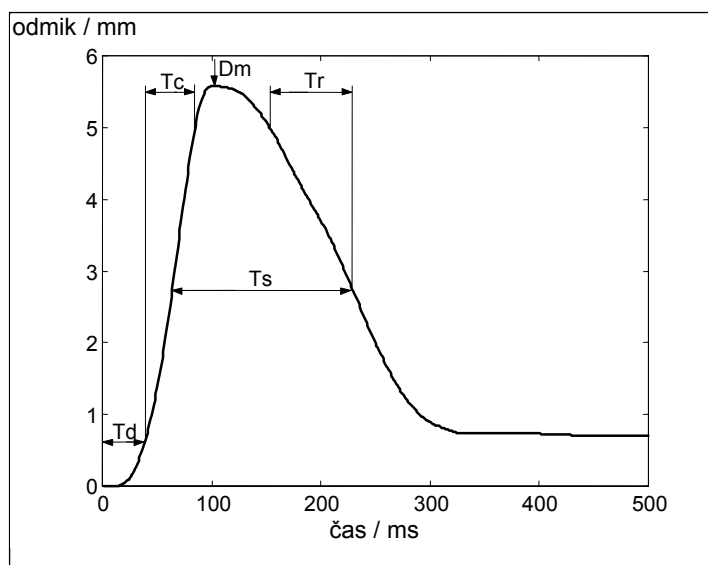
Slika 4.4: Tetanični odzivi mišice biceps brachii pri različnih simulacijskih frekvencah, kjer tetanizacija nastopi pri frekvenci 22 Hz

4.5.3 Izločanje parametrov

Za opazovanje in ovrednotenje odzivov TMG moramo izločiti in definirati nekaj parametrov TMG, ki kvantitativno opisujejo odziv (slika 4.5). Predvsem nas zanima hitrost mišice in za to definiramo parameter dvižni čas (T_c), ki nam pove, v kolikem času se mišica skrči. Počasne mišice imajo dvižni čas večji od hitrih mišic. Drugi parameter, ki je tudi zelo pomemben, je maksimalni odmik (D_m) mišice, ki nam pove največjo amplitudo odmika, s katero se mišica odzove. Obstaja linearna povezava med maksimalnim odkikom in silo, s katero se mišica odzove (Valenčič, 1990).

Naslednji parameter nam pove, kako dolgo je bila mišica skrčena in ga imenujemo čas zadržka (T_s). Nekatere mišice (*erector spinae*) so po naravi svojih funkcij zelo dolgo skrčene, druge (*brachioradialis*) se po krčenju zelo hitro sprostijo. Zakasnilni čas (T_d), nam pove, s kakšno zamudo po električnem dražljaju se mišica začne krčiti. Ta čas je odvisen od prevodnosti in pravilnega delovanja živčnega sistema. Še en parameter je zanimiv, in to je čas sproščanja (T_r). Vemo, da se mora mišica po krčenju čim hitreje vrniti v začetno lego, predvsem pri hitrem periodičnem gibanju

(šprint). Za natančnejše opazovanje smo definirali še druge parametre (AOI, AVI). Parameter AOI (*Amplitude Occurancy Index*) nam opiše obliko odziva TMG in je definiran kot razmerje med časom, ki je potreben, da odziv TMG doseže od 50 % do 100 % maksimalnega odmika in časom zadržka. Parameter AVI (*Amplitude Validate Index*) nam tudi opiše obliko odziva TMG. Definiran je kot razmerje med amplitudo prevoja pri doseganju maksimalnega odmika in amplitudo maksimalnega odmika.



Slika 4.5: Definicija parametrov TMG: T_d je od trenutka električnega dražljaja do 10 % D_m , T_c je 10-90 % D_m , T_s je 50-50 % D_m , T_r je 90-50 % D_m .

4.5.4 Primerjava z alternativnimi metodami

Za opazovanje kontraktilnih lastnosti skeletnih mišic so se pred metodo TMG uporabljale že druge metode, kot so elektromiografija (EMG), merjenje navora v sklepu, mehanomiografija (MMG) in histokemične preiskave. Vsaka od teh metod ima svoje prednosti in slabosti, ki vplivajo na samo izbiro metode.

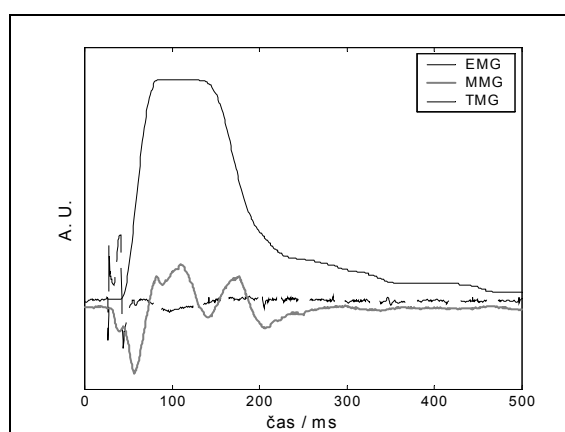
Histokemične metode so invazivne in se zato uporabljajo, ko je ta poseg utemeljen kot diagnostična metoda pri obolenjih živčno-mišičnega sistema. Statistično je bilo dokazano, da so dvižni časi odzivov TMG različnih mišic korelirani (korelacijski

koeficient je 0.93) z odstotkom vlaken tipa I (slika 4.7), (Dahmane, Valenčič, Knez, Eržen, 2001).

Merjenje navora v sklepu je sicer neinvazivna metoda, vendar nimamo selektivnosti, ki je še tako pomembna. Tudi merilna oprema se razlikuje od sklepa do sklepa in od merjenca do merjenca. Preskušena je bila ponovljivost metode TMG z metodo merjenja navora v sklepu in ugotovljeno je bilo, da je navor v sklepu proporcionalen maksimalnemu odmiku trebuha mišice ((Kogovšek, 1991), (Knez, Valenčič, Burger, Marinček, 1994), (slika 4.8)).

Električno aktivnost kemijskih procesov v notranjosti mišice lahko spremljamo s površinsko elektromiografijo (površinski EMG). Večanje mišične sile in s tem večanje maksimalnega odmika je pogojeno z intenzivnejšo električno aktivnostjo (Knez, Kerševan, Valenčič, 1999).

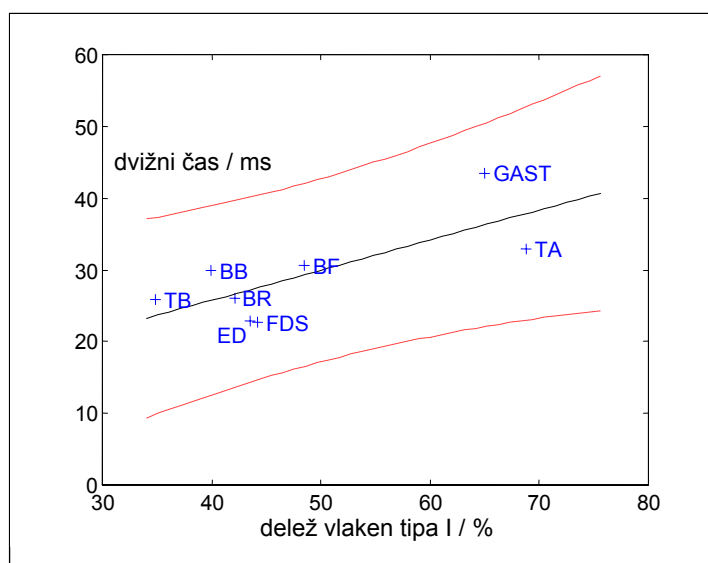
Mehanomiografija je še najbolj sorodna metodi TMG, kjer merimo pospešek na koži mišičnega trebuha. Slabost te metode je v tem, da so to signali s sorazmerno nizko amplitudo in s tem zelo blizu šumu. Sorodnost MMG z metodo TMG je, da je drugi odvod odziva TMG enak odzivu MMG.



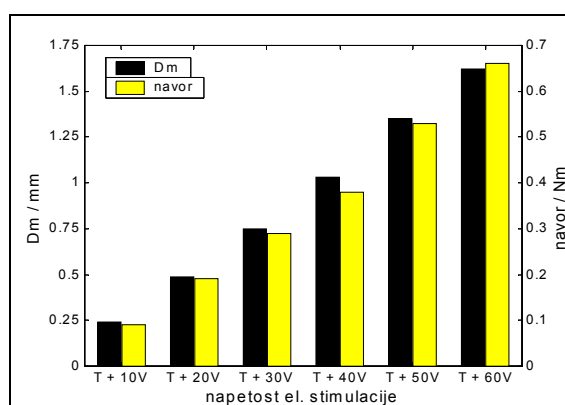
Slika 4.6: V istem grafu prikazani odzivi EMG, TMG in MMG. Skala ni prikazana.

EMG se meri v [mV], MMG v [mm/ms²] in TMG v [mm].

Na sliki 4.6 so prikazani odzivi EMG, MMG in TMG, posneti istočasno na mišici *biceps brachii*.



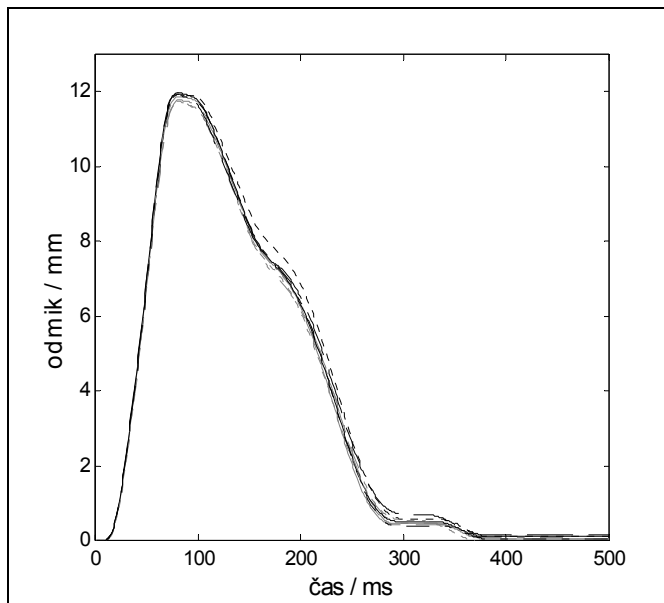
Slika 4.7: Prikaz statistično značilne korelacije med deležem vlaken tipa I, pridobljenim s histokemičnimi preiskavami in dvižnim časom kot enim izmed parametrov TMG. Raziskava je bila narejena na mišicah: *biceps brachii* (BB), *triceps brachii* (TB), *brachioradialis* (BR), *biceps femoris* (BF), *extensor digitorum* (ED), *flexor digitorum superficialis* (FDS), *tibialis anterior* (TA), *gastrocnemius* (GAST), (Dahmane, Valenčič, Knez, Eržen, 2001).



Slika 4.8: Povezava med navorom v gležnju in maksimalnim odmikom (Dm) mišice *tibialis anterior* v odvisnosti od stimulacijske napetosti. Stimulacijska napetost se je povečevala korakoma po 10 V od praga dalje (Knez, Valenčič, 1999).

4.5.5 Ponovljivost metode TMG

V nadaljnjem delu smo se osredotočili le na odzive skeletnih mišic na posamične električne dražljaje. S tem smo izločili merjenčevo motiviranost in na ta način zagotovili veliko ponovljivost meritev.



Slika 4.9: *Ponovljivosti nehotenega krčenja mišice vastus medialis. Osem odzivov TMG je bilo posnetih z meritvami na isti osebi.*

4.5.6 Uporaba metode TMG

Metoda je v našem športu dokaj prodorna. Po njej so posegli vrhunski atleti, kot so Brigita Bukovec, Alenka Bikar, Gregor Cankar in drugi. Meritve TMG so opravili tudi veslač Iztok Čop, vsa slovenska reprezentanca, ki je nastopila leta 2000 v Sydneyju, reprezentanca na zimskih olimpijskih igrah leta 2002, nogometna reprezentanca, ki je nastopila na svetovnem prvenstvu leta 2002, nosilec kolajne s svetovnega prvenstva v kolesarstvu Andrej Hauptman in drugi kolesarji, smučarji, smučarji skakalci, hokejska reprezentanca in številni drugi vrhunski športniki.

TMG pridobiva na veljavi tudi v tujini. Na nacionalni ravni jo uporabljajo Avstrijci (med drugimi v prometni nesreči poškodovan Herman Maier), sodelovanje poteka z Nizozemsko, zanjo pa se zanimajo tudi v Avstraliji.

Leta 2001 se je slovensko Ministrstvo za znanost, šolstvo in šport odločilo za sofinanciranje projekta, ki skuša z metodo TMG ugotoviti vpliv biomehanskih lastnosti nekaterih skeletnih mišic na gibalni razvoj otroka. To bi lahko imelo velik pomen pri pravilnem časovnem vključevanju otrok v procese treniranja in uspešnejšem določanju njihovih športnih potencialov (Žiberna, 2003).

5 PREDMET IN PROBLEM TER NAMEN DELA

Vrhunski šport je dandanes postal zelo zahteven. Za zmago je bilo nekoč dovolj le nadarjenost ali delavnost športnika. Danes vemo, da temu ni več tako. Mnogo je dejavnikov, ki odločajo o uspehu posameznega športnika. Športniki gradijo okoli sebe strokovni tim ljudi, ki mu pomagajo z več vidikov. Psihologi, zdravniki, nutricionisti, razni trenerji, biomehaniki in ostali znanstveniki, fizioterapevti, proizvajalci športne opreme ter managerji je le nekaj poklicev, ki stojijo za uspehom športnika. Menimo, da v današnjem času zelo veliko vlogo v pripravi športnika igra znanost in se v to področje veliko vlaga. Predvsem v tujini. Znanost venomer odkriva nove rešitve: metode in postopke spremljanja treninga, materiale in tehnološke rešitve opreme ter ostale skrivnosti, ki pripomorejo posameznikom k boljšim rezultatom. Lahko rečemo, da je danes že vsak šport postal zelo kompleksen. Načrtovanje treningov je postala vse bolj zahtevna in težka naloga, kar pomeni, da je sam proces treningov potrebno optimizirati. Načrtovanje kot ena najpomembnejših odgovornosti vsakega trenerja zahteva interdisciplinaren pristop. Trener mora športnika proučiti iz čim več različnih področij, da bi mu lahko predpisal zmagovalni recept. Seveda pa je ta naloga preobsežna, da bi jo lahko opravil en sam človek. Nemogoče je zahtevati od posameznika, da bi bil strokovnjak na vseh področjih. Pomembno je le, da trener pozna posamezna področja in strokovnjake, ki ta področja obvladujejo. S pomočjo teh strokovnjakov, ki opravijo podrobne analize posameznikov na različnih področjih, trener potem napiše plan treningov.

Slepo izvajanje načrtovanega treninga nas lahko le naključno privede do uspeha. Seveda to ni optimalno še manj zanesljivo, zato je zelo pomembno, da se proces treninga kontrolira. Kontrola hkrati ovrednoti sam proces treninga in pokaže nove smernice v nadaljnjem procesu. Tudi tukaj mora trener poskrbeti za konstantno sodelovanje z različnimi strokovnjaki, ki nato ovrednotijo uspešnost procesa treningov. Metode spremljanja treninga morajo biti objektivne, da pokažejo dejansko fiziološko stanje športnikovega telesa na proces treninga in s tem minimizirajo motivacijske faktorje, ki lahko spremenijo rezultat. Invazivnih postopkov se športniki ravno tako neradi poslužujejo. Tako se bile včasih zelo popularne biopsije mišičnega tkiva, ki jih v današnjem času nadomešča razvoj indirektnih metod spremljanja kvalitete mišičnega tkiva. Ravno tako je razvoj testov vzdržljivosti doživel pravo

revolucijo, z uporabo modernih tehnologij, kot sta NIRS (Near infrared spectrum) in Electrosonophoresis (Cook and Thomas, 2004). Biomehanske analize gibanja smučarja so omogočene z uporabo avtomatskih algoritmov preko zajema podatka z lokalnimi GPS sistemi (Microwave based tracking system), ki preko radijskih valov zajemajo gibanje posameznikovega dela telesa, brez uporabe videokamer, markerjev in zahtevnih postopkov postprocesiranja podatkov.

V nalogi smo se osredotočili na spremljanje adaptacije skeletnih mišic smučarjev hitrih disciplin in tehničnih disciplin, ki za svoje cilje uporabljajo drugačne načine treniranja, predvsem s stališča položaja telesa med opravljanjem treninga ali tekmovanja. Zanimalo nas je, kako se razvijajo skeletne mišice v odvisnosti od specifik treninga. Ker tovrstnih raziskav primanjkuje oziroma jih je težko izvesti, saj je merilna oprema predvsem invazivna ali pa postopki merjenja vnašajo preveliko stopnjo variabilnosti, smo se odločili uporabiti tenziomiografsko merilno metodo, ki je bila večkrat pokazana kot ponovljiva in neinvazivna, predvsem pa selektivna. Slednje nam je omogočilo, da smo lahko spremljali vsako mišično glavo posebej in s tem dobili tudi medmišično razmerje, ki večkrat pogojuje tako uspeh kot tudi nastanek poškodbe ali bolezni skeleta. Za cilj te diplomske naloge smo si zastavili dvoje: primerjati kontraktilne lastnosti dveh sprednjih stegenskih skeletnih mišic med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju in v nadaljevanju preveriti, če le-te obstajajo pri različnih kotih v kolenskem sklepu, saj vemo, da je mišična funkcionalnost odvisna od njene dolžine (Cook C., Thomas D. 2004).

6 CILJI PROUČEVANJA

V diplomskem delu smo si zadali dva cilja raziskovalnega dela, in sicer:

CILJ 1: Ugotoviti, ali so med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju razlike v kontraktilnih lastnostih mišic iztegovalk kolena (vastus medialis in vastus lateralis) leve in desne noge statistično značilne.

CILJ 2: Ugotoviti, ali so med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju razlike v kontraktilnih lastnostih mišic iztegovalk kolena (vastus medialis in vastus lateralis) desne noge statistično značilne glede na različne kote kolenskega sklepa (od 0 do 60 stopinj).

7 DELOVNE HIPOTEZE

HIPOTEZA 01: Med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju so razlike v kontraktilnih lastnostih mišic iztegovalk kolena (vastus medialis in vastus lateralis) leve in desne noge statistično značilne.

HIPOTEZA 02: Med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju so razlike v kontraktilnih lastnostih mišic iztegovalk kolena (vastus medialis in vastus lateralis) desne noge statistično značilne pri različnih kotih kolenskega sklepa.

8 METODE DELA

8.1 Merjenci

V celotno raziskavo je bilo vključenih 14 merjencev, povprečne starosti 26,9 let ($\pm 2,8$ let), telesne višine 180,2 cm ($\pm 4,7$ cm) in telesne teže 87,4 kg ($\pm 6,9$ kg). Vsi v raziskavo vključeni merjenci so bili vrhunski smučarji, tekmovalci svetovnega pokala. Trinajst od njih je bilo slovenskih in eden od njih avstrijski reprezentant. Meritve so bile izvedene v mesecu maju leta 2001 in mesecu oktobru leta 2001, pod vodstvom Inštituta za kineziološke raziskave, Znanstvenega-raziskovalnega središča Koper, Univerze na Primorskem in podjetja TMG-BMC, d. o. o.

Glede na specifičnost hipotez smo pri dokazovanju vsake imeli drugačen podvzorec merjencev, kar smo ob tem tudi dodatno navedli.

8.2 Kontraktilne lastnosti skeletnih mišic

Meritve smo izvedli z uporabo tenziomiografske (TMG) metode. Merjenec se je ob tem udobno usedel na merilni stol, s kolenskim sklepom v rahlo pokrčenem položaju (30 stopinj upogiba). Odziv mišice smo izzvali preko električnega stimulatorja (TMG-ZD1, Furlan & Co.) s posamičnimi, pravokotnimi, električnimi impulzi, širine 1 ms in supramaksimalne amplitude. Iz odziva mišice v časovnem prostoru smo izločili pet kontraktilnih parametrov, kot so definirani na sliki 4.5. Meritev TMG smo izvedli na naslednjih mišicah:

- vastus medialis (VM);
- vastus lateralis (VL).

8.3 Kontraktilne lastnosti skeletnih mišic pri različnih kotih kolenskega sklepa

Meritev je potekala po istem opisu kot pri zgoraj opisanem merjenju, le da smo jo ponovili pri naslednjih kotih v kolenskem sklepu:

- 0 stopinj upogiba (0 ST-popolnoma iztegnjena noga);
- 10 stopinj upogiba (10 ST);
- 20 stopinj upogiba (20 ST);
- 30 stopinj upogiba (30 ST);
- 40 stopinj upogiba (40 ST);
- 50 stopinj upogiba (50 ST);
- 60 stopinj upogiba (60 ST).

8.4 Statistična obdelava

V celotnem diplomskem delu so prikazane povprečne vrednosti s standardnim odklonom, razen če ni drugače navedeno. Ker smo hoteli imeti homogen vzorec vrhunskih merjencev – alpskih smučarjev, se zavedamo, da so bile statistične analize opravljene pri sorazmerno maloštevilnem vzorcu.

Pri testiranju hipoteze H01 smo uporabili statistično metodo Studentovega T-testa. Stopnja pomembnosti je bila pri $P < 0,05$.

Pri testiranju hipoteze H02 smo uporabili statistično metodo Studentovega T-testa. Stopnja pomembnosti je bila pri $P < 0,05$.

9 REZULTATI

9.1 Primerjava kontraktilnih lastnosti mišice VM leve in desne noge med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju (hipoteza H01)

V skupino smučarjev hitrih disciplin (SH) smo izbrali šest merjencev, medtem ko v skupino smučarjev tehničnih disciplin (ST) sedem merjencev.

Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnih lastnostih mišice VM desne noge (slika 9.1). Razlike so bile pomembne pri Ts ($P = 0,0294$) in Dm ($0,0407$). Merjenci SH so imeli daljši čas Ts in manjši Dm kot merjenci v ST.

	Td / ms	Tc / ms	Ts / ms	Tr / ms	Dm / mm
SH	23,4 ± 1,9	26,9 ± 2,3	199,6 ± 23,3	42,9 ± 7,6	6,2 ± 1,1
ST	24,2 ± 2,1	27,5 ± 2,3	174,0 ± 20,45	42,3 ± 11,1	7,7 ± 1,7
P	0,2313	0,3045	0,0294*	0,4603	0,0407*

Tabela 9.1: Vrednosti kontraktilnih parametrov odziva skeletne mišice VM desne noge. Rezultati so prikazani za smučarje v hitrih disciplinah (SH) in za smučarje v tehničnih disciplinah (ST). Z * so označene statistično pomembne razlike.

Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnih lastnostih mišice VM leve noge (slika 9.2). Razlike so bile pomembne pri Ts ($P = 0,0473$). Merjenci SH so imeli daljši čas Ts. Za razliko od desne noge na levi nogi nismo ugotovili pomembnih razlik v parametru Dm, vendar je bila stopnja zaupanja zelo blizu pomembnosti.

	Td / ms	Tc / ms	Ts / ms	Tr / ms	Dm / mm
SH	23,0 ± 1,3	27,9 ± 1,2	205,0 ± 15,7	56,6 ± 20,1	6,4 ± 1,1
ST	23,2 ± 1,2	28,5 ± 2,5	183,5 ± 22,2	43,2 ± 12,1	7,4 ± 1,1
P	0,3941	0,3313	0,0473*	0,1018	0,0574

Tabela 9.2: Vrednosti kontraktilnih parametrov odziva skeletne mišice VM leve noge. Rezultati so prikazani za smučarje v hitrih disciplinah (SH) in za smučarje v tehničnih disciplinah (ST). Z * so označene statistično pomembne razlike.

9.2 Primerjava kontraktilnih lastnosti mišice VL leve in desne noge med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju (hipoteza H01)

V skupino smučarjev hitrih disciplin (SH) smo izbrali šest merjencev, medtem ko v skupino smučarjev tehničnih disciplin (ST) sedem merjencev.

Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnih lastnostih mišice VL desne noge (slika 9.3). Razlike so bile pomembne pri Tc (P = 0,0449), Ts (P = 0,0021) in Tr (0,0313). Merjenci SH so imeli daljše čase Tc, Ts in Tr kot merjenci ST.

	Td / ms	Tc / ms	Ts / ms	Tr / ms	Dm / mm
SH	24,3 ± 0,8	24,2 ± 2,2	159,9 ± 6,3	104,8 ± 40,0	4,3 ± 0,8
ST	23,7 ± 2,3	22,2 ± 1,6	147,3 ± 5,5	58,2 ± 32,8	3,9 ± 0,9
P	0,2917	0,0449*	0,0021*	0,0313*	0,2447

Tabela 9.3: Vrednosti kontraktilnih parametrov odziva skeletne mišice VL desne noge. Rezultati so prikazani za smučarje v hitrih disciplinah (SH) in za smučarje v tehničnih disciplinah (ST). Z * so označene statistično pomembne razlike.

Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnih lastnostih mišice VL leve noge (Slika 9.4). Razlike so bile pomembne pri Tc (P = 0,0116), Ts (P = 0,0221) in Dm (P = 0,0066). Merjenci SH so imeli daljša časa Tc in Ts ter večji Dm. Za razliko od desne noge na levi nogi nismo ugotovili pomembnih razlik v parametru Tr, stopnja zaupanja zelo blizu pomembnosti, smo pa ugotovili pomembne razlike v parametru Dm.

	Td / ms	Tc / ms	Ts / ms	Tr / ms	Dm / mm
SH	26,0 ± 3,4	24,6 ± 1,2	166,6 ± 30,2	76,2 ± 50,1	5,3 ± 1,2
ST	25,2 ± 2,8	22,8 ± 1,4	137,4 ± 7,6	54,8 ± 35,0	3,8 ± 0,6
P	0,3219	0,0116*	0,0221*	0,2010	0,0066*

Tabela 9.4: Vrednosti kontraktilnih parametrov odziva skeletne mišice VL leve noge. Rezultati so prikazani za smučarje v hitrih disciplinah (SH) in za smučarje v tehničnih disciplinah (ST). Z * so označene statistično pomembne razlike.

V zaključku lahko povemo, da lahko hipotezo H01 sprejmemo, z razločljivimi razlikami v kontraktilnih lastnostih skeletnih mišic VM in VL.

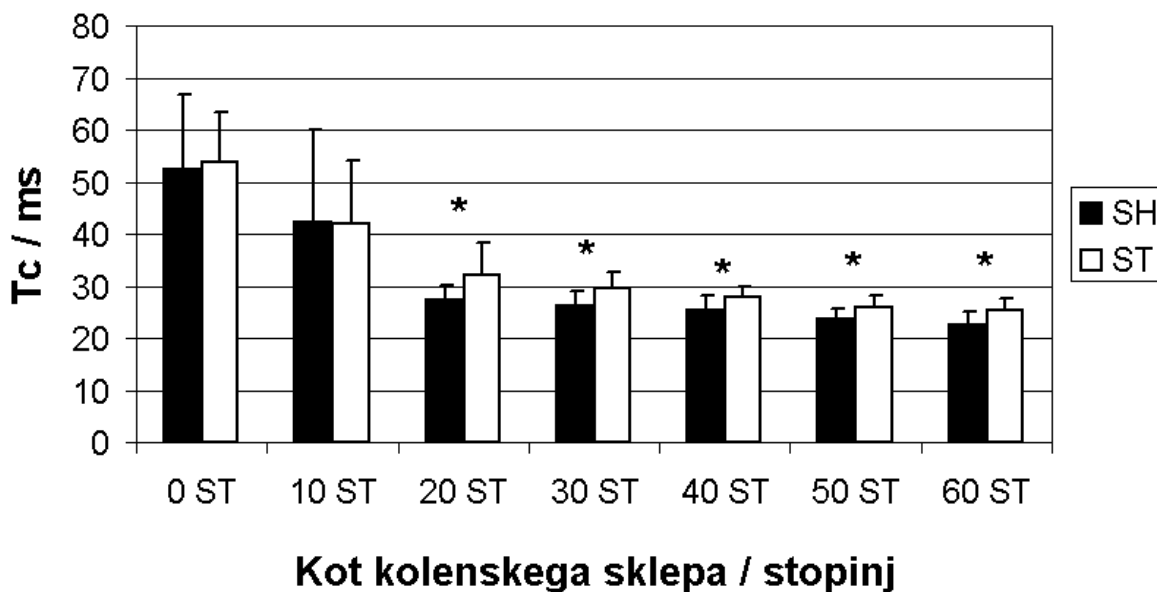
9.3 Primerjava kontraktilnih lastnosti mišice VM desne noge med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju (hipoteza H02) pri različnih kotih v kolenskem sklepu

V skupino smučarjev hitrih disciplin (SH) smo izbrali šest merjencev, medtem ko v skupino smučarjev tehničnih disciplin (ST) osem merjencev. Glede na funkcionalno pomembnost kontraktilnih parametrov smo se osredotočili na parameter hitrosti mišičnega krčenja Tc in parameter, ki govori o togosti mišičnega trebuha Dm.

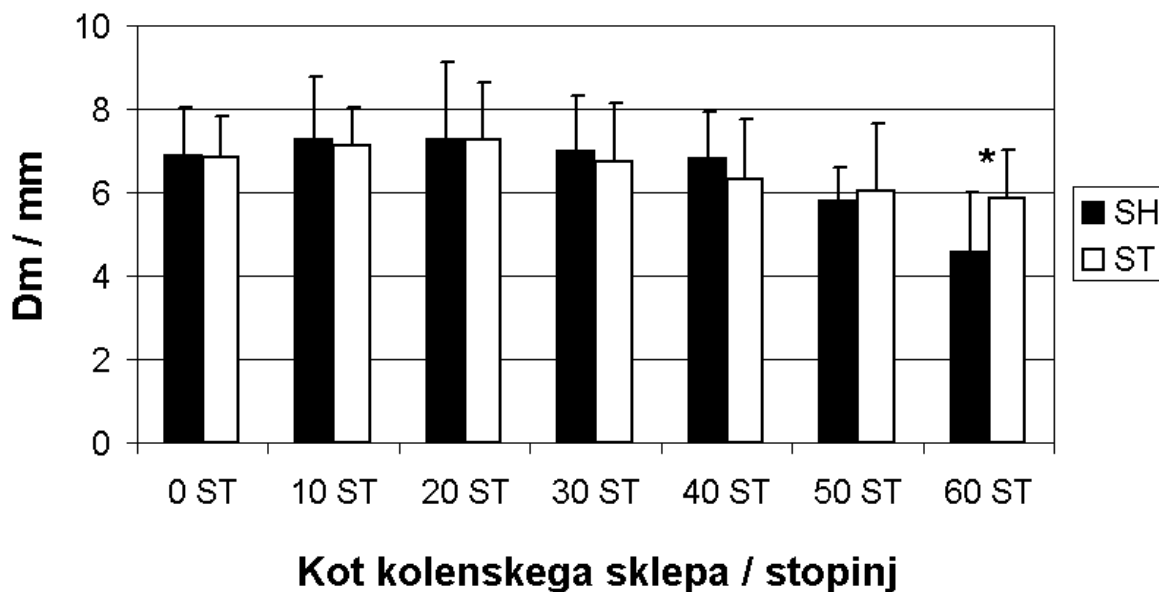
Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnem parametru Tc mišice VM desne noge med SH in ST pri različnih kotih kolenskega sklepa (slika 9.1). Razlike so bile pomembne pri kotih od 20 stopinj (20 ST) do 60 stopinj (60 ST) upogiba kolenskega sklepa. Smučarji SH imajo statistično pomembno krajši čas Tc pri kotih kolenskega sklepa od 20 pa do 60 stopinj.

Podobno smo tudi ugotovili, da obstaja statistično pomembna razlika v kontraktilnem parametru Dm mišice VM desne noge med SH in ST, le pri upogibu kolenskega sklepa za 60 stopinj (60 ST) (slika 9.2). Smučarji SH imajo statistično pomembno nižji Dm pri kotu kolenskega sklepa 60 stopinj.

Tabela 9.5 prikazuje vrednosti P za vse opravljene analize različnih kotov kolenskega sklepa.



Slika 9.1: Čas krčenja mišice VM (T_c) desne noge v odvisnosti od kota kolenskega sklepa. Prikazana je primerjava med smučarji hitrih (SH) in tehničnih (ST) disciplin. Z * je označena statistična pomembnost razlik ($P < 0,05$).



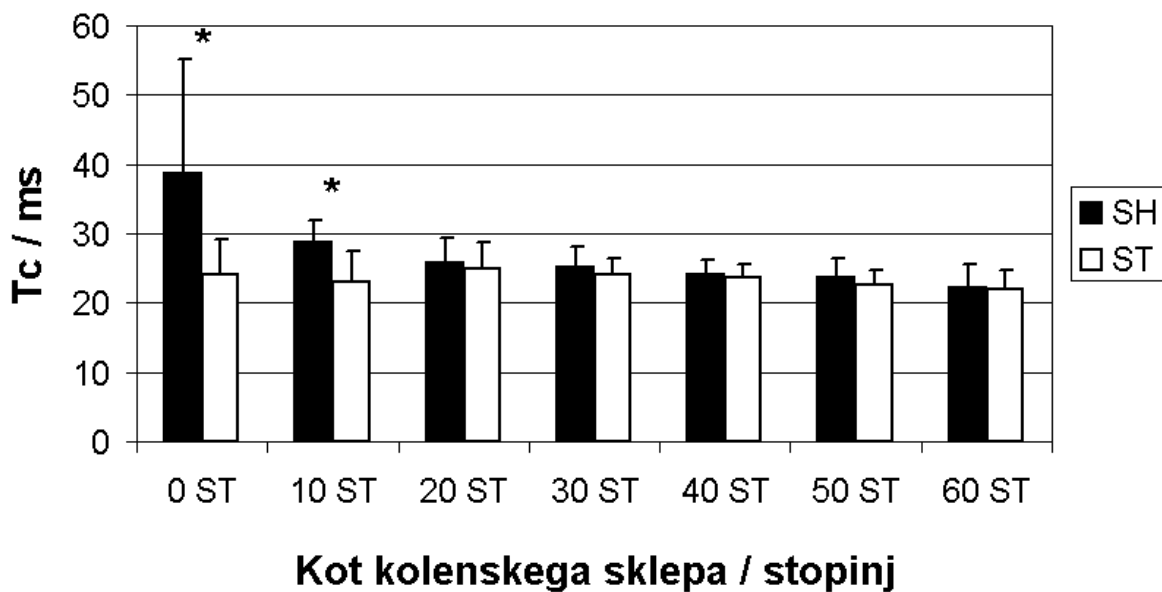
Slika 9.2: Maksimalni odmik mišice VM (Dm) desne noge v odvisnosti od kota kolenskega sklepa. Prikazana je primerjava med smučarji hitrih (SH) in tehničnih (ST) disciplin. Z * je označena statistična pomembnost razlik ($P < 0,05$).

9.4 Primerjava kontraktilnih lastnosti mišice VL desne noge med predstavniki hitrih in tehničnih disciplin v alpskem smučanju (hipoteza H02) pri različnih kotih v kolenskem sklepu

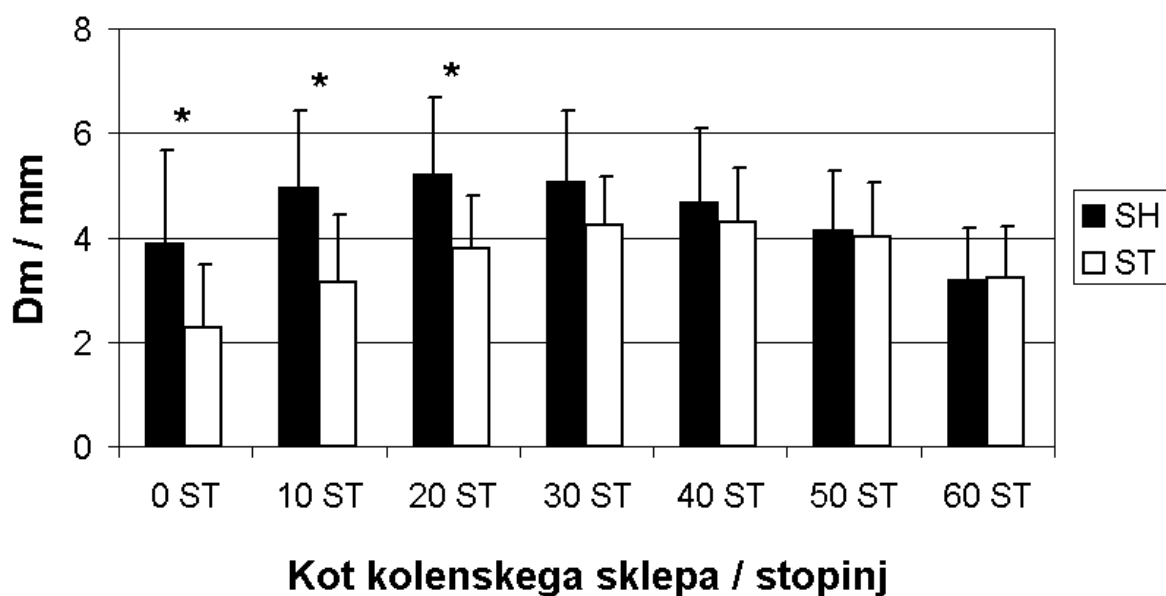
Ugotovili smo, da obstajajo statistično pomembne razlike v kontraktilnem parametru Tc mišice VL, desne noge, med SH in ST pri različnih kotih kolenskega sklepa (slika 9.3). Razlike so bile pomembne pri kotih 0 stopinj (0 ST) in 10 stopinj (10 ST) upogiba kolenskega sklepa. Smučarji SH imajo statistično pomembno daljši čas Tc pri kotih kolenskega sklepa od 0 in 10 stopinj.

Podobno smo tudi ugotovili, da obstaja statistično pomembna razlika v kontraktilnem parametru Dm mišice VL, desne noge, med SH in ST pri upogibu kolenskega sklepa od 0 stopinj (0 ST) do 20 stopinj (20 ST) (slika 9.4). Smučarji SH imajo statistično pomembno višji Dm pri kotu kolenskega sklepa od 0 do 20 stopinj.

Tabela 9.5 prikazuje vrednosti P za vse opravljene analize različnih kotov kolenskega sklepa.



Slika 9.3: Čas krčenja mišice VL (T_c) desne noge v odvisnosti od kota kolenskega sklepa. Prikazana je primerjava med smučarji hitrih (SH) in tehničnih (ST) disciplin. Z * je označena statistična pomembnost razlik ($P < 0,05$).



Slika 9.4: Maksimalni odmik mišice VL (D_m) desne noge v odvisnosti od kota kolenskega sklepa. Prikazana je primerjava med smučarji hitrih (SH) in tehničnih (ST) disciplin. Z * je označena statistična pomembnost razlik ($P < 0,05$).

P	VM		VL	
	Tc	Dm	Tc	Dm
0 ST	0,4084	0,4760	0,0243*	0,0336*
10 ST	0,4846	0,4170	0,0199*	0,0199*
20 ST	0,0437*	0,4937	0,3531	0,0353*
30 ST	0,0282*	0,3831	0,2394	0,1070
40 ST	0,0413*	0,2406	0,3722	0,3049
50 ST	0,0450*	0,3766	0,2415	0,4362
60 ST	0,0320*	0,0447*	0,4376	0,4722

Tabela 9.5: Stopnja pomembnosti obeh analiziranih kontraktilnih parametrov mišice VM Tc in Dm desne noge pri različnih kotih v kolenskem sklepu

V zaključku lahko povemo, da lahko hipotezo H02 sprejmemo, z razločljivimi razlikami v kontraktilnih lastnostih skeletnih mišic VM in VL.

10 RAZPRAVA IN ZAKLJUČEK

Tehnika smučanja, kot tudi smučarska disciplina, zahtevata različno držo telesa. S stališča spodnjega dela telesa je največji vpliv ravno na kolenski sklep, ki se pri hitrih disciplinah (smuk, superveleslalom) znajde večkrat v globokem upogibu, medtem ko pri ostalih tehnikah deluje skozi celotno območje enakomerno. Adaptacija mišičnega sistema se zgodi sorazmerno hitro in s časom tudi vezivnega tkiva, ki se aplatistično raztegne in omogoči skeletnim mišicam funkcionalno delovanje tudi v najbolj raztegnjenem položaju.

Dobro je znano, da skeletne mišice delujejo z različno silo v odvisnosti od njene raztegnjenosti, tako so mišice sprednjega dela stegna najšibkejše v obeh skrajnih točkah in najmočnejše nekje v sredini. Seveda to pravilo, ki je bilo napisano za celoten mišični sistem, velja tudi za posamezne mišične glave. Zaradi mišične arhitekture (kota penacije), je medialna glava stegenske mišice (vastus medialis - VM) bolj učinkovita pri visokih kotih kolenskega sklepa, medtem ko zunanja (vastus lateralis - VL) bolj pri nizkih kotih (0 stopinj je popolna iztegnjen kolenski sklep).

V naši raziskavi smo izmerili trinajst vrhunskih smučarjev, nekateri so bili že zmagovalci tekem svetovnega pokala, nosilci največjih odličij svetovnih prvenstev in olimpijskih iger. Meritve so bile opravljene v sklopu aktivnega dela sezone, ko so se pripravljali na smučiščih.

Kontraktilne lastnosti skeletnih mišic so informacija o sistemu mišice, izmerjene neodvisno od merjenčeve volje in zatorej ponovljivejše ter kvalitetnejše s stališča interpretacije rezultatov. Večkrat je bilo pokazano, da je parameter Tc pomembno povezan s hitrostjo izvedbe giba (Dahmane et al., 2006; Praprotnik et al., 2002) in odstotkom hitrih mišičnih vlaken (Dahmane et al., 2000, 2005 in 2006). Ugotovljeno je bilo, da ima mišica s krajšim Tc večji odstotek hitrih mišičnih vlaken (Dahmane et al., 2000, 2005 in 2006) in ljudje s krajšim časom Tc zadnje stegenske mišice razvijejo hitrejšo hitrost šprinta (Dahmane et al. 2006, Praprotnik et al. 2002). Po drugi strani pa je bil parameter Dm večkrat povezan z mehansko mišično togostjo (Pišot et al., 2008 in Šimunič et al., 2008). Mišica z večjim Dm ima večjo mehansko

togost mišičnega trebuha in to odraža večjo predhodno fizično aktivnost mišice (Pišot et al., 2008 in Šimunič et al., 2008).

V primerjalni raziskavi notranje stegenske mišice VM smo ugotovili, da imajo smučarji hitrih disciplin (SH) statistično pomembno daljši čas zadržka (Ts), kot tudi amplitudo odziva TMG (Dm) mišice VM na desni nogi (tabela 9.1). To priča o manj periodični, a dolgotrajnejši obremenitvi mišice pri SH. Podobno smo za mišico VM na levi nogi ugotovili, da dosega daljše vrednosti časa Ts pri SH, medtem ko je bil Dm manjši, a le na meji statistične pomembnosti (tabela 9.2). Vseeno pa lahko zaključimo, da med obema skupinama obstajajo razlike v kontraktilnih parametrih mišice VM, predvsem v tistih, ki odražajo periodičnost gibov (Ts) in mehansko togost trebuha mišice (Dm). Ugotovljeno pomeni, da imajo smučarji v skupini SH daljši čas zadržka mišične kontrakcije, kar je adaptacija na počasnejše menjavanje strani smučanja in daljše zadrževanje dolgih kontrakcij mišice ob izpeljavi zavojev. Po drugi strani pa ugotovitev večje mehanske togosti mišice VM potrjuje dejstvo, da je mišica bistveno bolj obremenjena pri smučarjih SH kot pri ST.

Pri primerjavi SH in ST zunanje stegenske mišice VL smo ugotovili, da imajo smučarji ST statistično pomembno hitrejšo mišico VL (ST) tako na desni kot tudi na levi strani. Podobno lahko rečemo tudi, da imajo ST krajši čas Ts, Tr in višjo mehansko togost (tabeli 9.3 in 9.4). Ugotovljene pomembne razlike v parametru Tc, ki odraža hitrost mišičnega krčenja, so bile 7 % in 8 %, za desno in levo stran telesa. Periodičnost gibanja se odraža v krajšem parametru Ts pri ST. Večja mehanska togost mišice VL pa se odraža v pomembno manjšem parametru Dm na levi strani telesa, medtem ko na desni razlike niso bile pomembne, vendar je bil trend isti. S tem smo hipotezo H01 sprejeli. Rezultati govorijo, da smučarji ST bolj izrabljajo mišico VL kot SH, predvsem s stališča hitrosti mišične aktivacije in hitrejše periodičnosti uporabe.

Karakteristiko parametrov Tc in Dm smo opazovali v sedmih kotih kolenskega sklepa. Kot 0 stopinj (0 ST) je bil definiran kot popolnoma iztegnjeno koleno, ki smo ga povečevali do kota 60 stopinj (60 ST) kolenskega upogiba, s korakom 10 stopinj. Meritve so bile opravljene le na desni strani telesa.

Ugotovili smo, da imajo SH pomembno krajši Tc mišice VM pri kolenskih kotih od 20 ST do 60 ST, medtem ko višjo mišično togost (manjši Dm) le v kotu 60 ST (Slika 9.1 in 9.2).

Ugotovili smo tudi, da imajo ST pomembno krajši Tc mišice VL pri kolenskih kotih 0 ST in 10 ST, medtem ko višjo mišično togost (manjši Dm) v kotih od 0 ST in od 20 ST (Slika 9.3 in 9.4). S tem lahko potrdimo hipotezo H02.

Analiza obnašanja mišice pri različnih kotih v sklepu je primerljiva študijam mišične aktivacije po njeni različni dolžini. Ker sta mišici VM in VL enosklepni, na njuno dolžino vpliva le kot kolenskega sklepa. S spreminjanjem dolžine skeletne mišice spreminjamo prekrivanje obeh kontraktilnih proteinov znotraj sarkomere. S tem pa se spreminja sposobnost njune vezave in s tem moč kontrakcije. Naša ugotovitev nakazuje, da se pri obeh skupinah smučarjev obe mišici obnašata različno v odvisnosti od kota v kolenskem sklepu. Mišica VM se krči hitreje, ko je bolj raztegnjena (v globljem počepu) pri smučarjih SH, medtem ko mišica VL hitreje, ko je raztegnjena manj (v plitvejšem počepu) pri smučarjih ST. Podobna ugotovitev velja za mišično togost. Mišica VM je bolj toga (tonizirana) v globokem počepu pri smučarjih SH, medtem ko mišica VL bolj pri plitvejših počepih pri ST.

To diplomsko delo kot prvo prikazuje raziskavo in uporabo metode TMG v alpskem smučanju. Ugotovljeni rezultati so zanimivi in hkrati razložljivi z različnima tehnikama smučanja obeh opazovanih skupin in funkcionalnima vlogama obeh skeletnih mišic, ki ju imata na kolenski sklep. Svetujemo, da se v prihodnosti opravi raziskava ne le na mišici VM kot celoti, temveč na njenem distalnem delu – *vastus medialis obliquus* (VMO) in proksimalnem delu – *vastus medialis longus* (VML), ker imata zelo različno vlogo pri iztegovanju kolenskega sklepa. Distalni del – VMO je odgovoren za stabilizacijske funkcije kolenskega sklepa, medtem ko VML bolj za gibalne funkcije (Tuomi et al., 2007; Galtier et al., 1995).

11 LITERATURA

1. Andersen, J. L., Scherling, P., Saltin, B., (2000). The Cellular Biology of Muscle Help to Explain Why a Particular Athlete Wins and Suggests What Future Athletes Might Do to Better Their Odds, Muscle Genes and Athletic Performance, Scientific American, 31-37.
2. Cook C., Thomas, D. (2004) Reducing the invasiveness of obtaining blood-borne measures in animals. Fourth World Congress: New methods for science: welfare concerns. ATLA 32, Supplement 1, 203–207.
3. Dahmane, R. G., Djordjević, S., Šimunič, B., & Valenčič, V. (2005). Spatial fiber type distribution in normal human muscle histochemical and tensiomyographical evaluation, Journal of Biomechanics, 38 (12), 2451-2459.
4. Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N., & Eržen, I. (2000). Evaluation of the ability to make non-invasive estimation of muscle contractile properties on the basis of the muscle belly response. Medical and Biological Engineering and Computing, 83, 51-55.
5. Dahmane, R., Valenčič, V., Knez, N., Eržen, I.,(2001). Evaluation of the Ability to Make Non-Invasive Estimation of Muscle Contractile Properties on the Basis of the Muscle Belly Response, Medical and Biological Engineering and Computing, Vol. 39.
6. Dahmane R, Djordjevic S, Smerdu V. Adaptive potential of human biceps femoris muscle demonstrated by histochemical, immunohistochemical and mechanomyographical methods. Med. biol. eng. comput 2006, vol. 44, iss. 11, str. 999-1006.
7. Edman, K. A., (1992). Contractile Performance of Skeletal Muscle Fibers, Strength and Power in Sport, 102-114.

8. Enoka, R. M. (1994). *Neuromechanical Basis of Kinesiology: The Cleveland Clinic Foundation*.
9. Fukunaga, T., Roy, R.R., Shellock, F.G., Hodgson, J.A., Day, M.K., Lee, P.L. (2001). Human Leg Muscles Based on Magnetic Resonance Imaging, *Journal of Orthopedic Research*, Vol. 10, 926-934.
10. Galtier B, Buillot M, Vanneuville G. Anatomical basis of the role of vastus medialis muscle in femoro-patellar degenerative arthropathy. *Surgical and Radiologic Anatomy* 1995; 17(1): 7-11.
11. Garnett, R., Stephens, J., (1981). Changes in the Recruitment Threshold of Motor Units Produced by Cutaneous Stimulation in Man, *J. Physiol.*, Vol. 311, 463-473.
12. Goldspink, G. (1992). Cellular and Molecular Aspects of Adaptation in Skeletal Muscle, *Strength and Power in Sport*, 211-229.
13. Karba, R., Stefanovska A., Djordjevič S., (1990). Human Skeletal Muscle, Phasic Type of Electrical Stimulation Increases its Contractile Speed, *Annals of Biomedical Engineering*, Vol. 18, 479-490.
14. Kerševan, K., (1999). ANALIZA VPLIVA STIMULACIJSKE FREKVENCE NA UTRUJANJE SKELETNIH MIŠIČ. Diplomsko naloga. Ljubljana.
15. Kogovšek, N., (1991). Merjenje in Modeliranje Biomehanskih Lastnosti Skeletnih Mišic, Prešernova nagrada.
16. Knez, N., Valenčič, V., Burger, H., Marinček, Č., (1994). Ponovljivost merjenja odzivov skeletnih mišic z merilnikom odmikov, *ERK* 94, 340-343.
17. Knez, N., Kerševan, K., Valenčič, V., (1999). Primerjava Električne in Mehanske Aktivnosti Skeletnih Mišic, *ERK* 99, 323-326.

18. Knez, N., Valenčič, V., (1999). Measurement of Muscle Belly Response to Electrical Stimulation, *Sport Kinetics* 99, 283-284.
19. Lešnik, B., (1999). DEFINIRANJE IN PRIMERJAVA UČINKOVITOSTI GIBALNIH STRUKTUR SODOBNIH VELESLALOMSKIH TEHNIK. Doktorska disertacija. Ljubljana: Fakulteta za šport.
20. Lešnik, B., (1996). VREDNOTENJE MODELA USPEŠNOSTI MLAJŠIH DEČKOV V ALPSKEM SMUČANJU. Magistrska naloga. Ljubljana: Fakulteta za šport.
21. Matijevc V., (2003). Pot mojstrov: Smučati z glavo. Ljubljana: Marbona, 102 str.
22. Petrović K., Šmitek J., Žvan M., (1983). Pot do uspeha. Ljubljana: Samozaložba-Petrović, Vrhovci c. VIII/17.
23. Pette, D., Vrbova, G., (1992). Adaptation of Mammalian Skeletal Muscle Fibers to Chronic Electrical Stimulation, *Rev. Physiol. Biochem. Pharmacol.*, Vol. 120, 116-183.
24. Pišot R, Narici MV, Šimunič B, De Boer M, Seynnes O, Jurdana M, et al. Whole muscle contractile parameters and thickness loss during 35-day bed-rest. *Journal of applied Physiology* 2008 (v objavi).
25. Praprotnik U., Valenčič V., Čoh M., Šimunič B. Povezanost maksimalne hitrosti teka s kontraktilnimi lastnostmi mišic. V: ZAJC, Baldomir (ur.). Zbornik enajste mednarodne Elektrotehniške in računalniške konference ERK 2002, 23.-25. september 2002, Portorož, Slovenija. Ljubljana: IEEE Region 8, Slovenska sekcija IEEE, [2002], zv. B, str. 329-332.
26. Strojnik V., (1997). Spremljanje učinkov vadbe moči - primer iztegovalk nog. *Šport*, 45, št. 4, str. 37-41.

27. Supej M., Kugovnik O., Nemeč B. (2002). Nova napredovanja v tekmovalni slalomski tehniki. *Kinesiology*, št. 8 (1), str. 25-29.
28. Supej M., Kugovnik O., Nemeč B. (2002). Novo pogledi na slalomsko tekmovalno tehniko - biomehanika nove slalomске tehnike. *Šport*, 50, št. 1, str. 29-34.
29. Supej M., Kugovnik O., Nemeč B. (2002). Kako biti najhitrejši v veleslalomu na svetovnem pokalu. *Šport*, 50, št. 4, str. 9-13.
30. Šimunič, B. (2001). ANALIZA VARIABILNOSTI ODZIVOV SKELETNIH MIŠIČ NA ELEKTRIČNO STIMULACIJO. Magistrska naloga. Ljubljana: Fakulteta za elektrotehniko.
31. Šimunič B, Rittweger J, Cankar G, Jurdana M, Volmut T, Šetina T, Pišot R. Odzivi morfoloških, skeletnih, mišičnih in funkcionalnih karakteristik po 35-dnevni simulirani breztežnosti mladih preiskovancev. *Zdravstveni vestnik 2008* (v objavi).
32. Toumi H, Poumarat G, Benjamin M, Best T, F'Guyer S, Fairclough et al. New Insights into the Function of the Vastus Medialis with Clinical Implications. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 2007; 39 (7): 1153-9.
33. Valenčič, V. (1990). Direct Measurement of the Skeletal Muscle Tonus, *Advances in External Control of Human Extremities*, Beograd: Nauka.
34. Vodovnik, V., (1991). *Nevrokibernetika*, 2. izdaja, Založba FER Ljubljana.
35. Žvan, M., Lešnik, B., (2000). Correlation of some variables of explosive power and competitive successfulness of boys in alpine skiing. *Kinesiology*, vol. 32, no. 1, str. 40-46.
36. Žvan M., Lešnik B., (2007). Correlation between the length of the ski track and the velocity of top slalom skiers. *Acta Univ. Palacki. Olomuc., Gymn.*, vol. 37, no. 1, str. 37-44.

37. Žiberna, M., (2003). Tenziomiografija - metoda merjenja biomehanskih lastnosti skeletnih mišic, Življenje in tehnika, LIV, št. 44, str. 48-53.

SPLETNI VIRI:

38. <http://www.klokeavskade.no/en/News-archive/News-archive-2007/One-Year-with-the-FIS-Injury-Surveillance-Study/>.
39. http://www.slovenija-ski.net/zuts/tehnika_metodika.htm.
40. <http://sl.wikipedia.org>.
41. <http://www.zurnal24.si/>.
42. [http://www.planet.si/portal/site/planet/menuitem.05f ...](http://www.planet.si/portal/site/planet/menuitem.05f...)
43. [http://www.training.seer.cancer.gov/module_anatomy/unit4 ...](http://www.training.seer.cancer.gov/module_anatomy/unit4...)
44. <http://www.klokeavskade.no/en/News-archive/News-archive-2007/One-Year-with-the-FIS-Injury-Surveillance-Study/>.
45. http://www.webset.fe.uni-lj.si/biologija/bio_poglavje9.html.