

UNIVERZA V LJUBLJANI
FAKULTETA ZA ŠPORT
Kineziologija (1. stopnja)

ELEKTROMIOGRAFIJA UPOGIBALK PRSTOV IN IZTEGOVALK GLEŽNJA MED ŠPORTNIM PLEZANJEM

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:
doc. dr. Blaž Jereb
SOMENTOR:
doc. dr. Igor Štirn
RECENZENT:
doc. dr. Bojan Leskošek

Avtor dela
ANDRAŽ GREGORČIČ

Ljubljana, 2015

ZAHVALA

Mentorju dr. Blažu Jerebu, somentorju dr. Igorju Štirnu in recenzentu dr. Bojanu Leskošku se iskreno zahvaljujem za vsestransko pomoč in strokovno vodenje pri izdelavi diplomskega dela ter za strokovno vodenje, pomoč, skrb in trud pri meritvah.

Zahvaljujem se tudi družini in puncu za vso podporo in zaupanje v času nastajanja diplomskega dela. Hvala tudi vsem tistim, ki so mi kakorkoli pomagali pri pisanju tega dela in vsem plezalcem, s katerimi sem s plezanjem preživel prosti čas.

Ključne besede: elektromiografija, plezanje, upogibalke prstov, sposobnosti plezalcev, plezalna tehnika, aktivacija.

ELEKTROMIOGRAFIJA UPOGIBALK PRSTOV IN IZTEGOVALK GLEŽNJA MED ŠPORTNIM PLEZANJEM

Andraž Gregorčič

IZVLEČEK

Športno plezanje je oblika prostega plezanja, kjer za napredovanje v smeri uporabljamo le svoje telo, zato ta šport zahteva veliko različnih sposobnosti; plezalna tehnika je poleg moči in vzdržljivosti mišic upogibalk prstov ena pomembnejših.

Elektromiografija je metoda, ki omogoča kontinuirano spremljanje dogajanja v mišici in se jo uporablja za preučevanje tehnike gibanja in utrujenosti.

Trije različno sposobni plezalci z različnim plezalnim stažem so opravili serijo meritev v treh delih. Najprej smo izmerili amplitude EMG med NHK (največjim hotenim krčenjem) mišic upogibalk prstov rok in mišice soleus. V drugem delu so potekale meritve EMG-ja med ponavljajočim gibanjem (plezanjem) pri 80-, 90- in 100-stopinjskem naklonu plezalne stene. V tretjem delu meritev so merjenci plezali daljšo smer. Izvedli so do 8 ponovitev plezanja smeri, med katerimi niso imeli časa za počitek, zato je prihajalo do utrujanja.

S pomočjo elektromiografije (EMG) smo izmerili aktivnost mišic upogibalk prstov in iztegovalk gležnja med plezanjem ter na podlagi rezultatov določili razmerje med uporabo rok (upogibalke prstov) in nog (mišice soleus) posameznika med plezanjem. S pomočjo dobljenih podatkov o aktivnosti mišic in izračunanih razmerij smo ugotavljali, če imajo sposobnejši plezalci boljšo plezalno tehniko ter kako se plezanje spreminja med utrujanjem. Podatke smo med preizkušanci primerjali na podlagi njihovih sposobnosti plezanja in plezalnega staža.

Ugotovili smo, da imajo sposobnejši plezalci nižje razmerje med plezanjem iste smeri, saj manj aktivirajo mišice upogibalk prstov rok, zaradi česar prihaja do poznejšega utrujanja. S povečevanjem naklona plezalne stene se povečuje aktivnost mišic upogibalk prstov rok in zmanjšuje aktivnost mišic iztegovalk gležnja. Razlik v primerjavi s plezalnimi stažem nismo zaznali.

Keywords: electromyography, climbing, finger fleksors, athlete abilities, climbing technique, activation.

FINGER FLEKSORS AND ANKLE EXTENSORS ELECTOMYOGRAPHY DURING CLIMBING

Andraž Gregorčič

ABSTRACT

Sport climbing is a form of free climbing in which the athlete's body is the only thing to rely on when ascending the climb. Consequently, the sport demands the climbers to be skilful in many different areas. Climbing technique is one of the most important abilities along with strength and endurance of finger flexors muscles. Electromyography is a method which enables the continuous surveillance of muscle activities and is used to study the movement technique and physical fatigue.

The research for this thesis was carried out in three series of measurements on three athletes with different abilities and different climbing experiences. First the amplitudes of EMG MVC (maximal voluntary contraction) of finger flexors muscles and the soleus muscle were measured. Then the EMG measurements were carried out during repetitive movements (climbing) at 80, 90 and 100 degree climbing wall. In the third series of the measurements the athletes were required to ascend a longer climb. This was repeated up to 8 times with no time to rest in between, causing physical fatigue.

Electromyography (EMG) was used to measure the muscle activity of finger flexors and feet extensors during the process of climbing. The results were examined to establish the ratio between the use of hands (finger flexors) and legs (m. soleus) in each individual climber. The data on muscle activity and the calculated ratios were used to establish whether more competent climbers have a better climbing technique and how climbing changes with growing physical fatigue. The data was compared among the 3 athletes based on their climbing abilities and their experience.

It was concluded that the ratio was lower among more competent climbers while they are ascending the same climb, because their finger flexors muscles were activated less. This also prolonged the time needed for the climbers to start feeling fatigue. As the degree of the incline of the climbing wall increased, the activity of finger flexors muscles increased as well, while the activity of ankle extensors decreased. No notable difference occurred as a result of different climbing experience of individual climbers.

KAZALO

1 UVOD	7
1.1 Elektromiografija	8
1.1.1 Obdelava v časovnem prostoru.....	9
1.1.2 Obdelava v frekvenčnem prostoru.....	10
1.2 Problem naloge	10
1.3 Cilji in hipoteze	12
2 METODE DE LA	13
2.1 Merjenci	13
2.2 Pripomočki.....	13
2.3 Postopek.....	14
2.3.1 Priprava merjenca na meritev	15
2.3.2 Standardizirano ogrevanje	16
2.3.3 Merjenje EMG in določanje NHK mišice soleus	16
2.3.4 Merjenje EMG in določanje NHK upogibalk prstov.....	16
2.3.5 Merjenje EMG-ja med ponavljajočim gibanjem (plezanjem) pri različnih naklonih plezalne stene.....	17
2.3.6 Merjenje EMG-ja med plezanjem smeri	19
3 REZULTATI IN RAZPRAVA.....	20
3.1 PONA VLJAJOČE GIBANJE PRI RAZLIČNIH NAKLONIH	20
3.2 PLEZANJE SMERI	26
4 RAZPRAVA O HIPOTEZAH	34
5 ZAKLJUČEK	36
6 VIRI.....	37

KAZALO TABEL

Tabela 1 Podatki preizkušancev	13
Tabela 2 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 80°; 3. položaj	20
Tabela 3 Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 80°, 3. položaj.....	20
Tabela 4 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 80°; 4. položaj	21
Tabela 5 Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 80°, 4. položaj.....	21
Tabela 6 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 90°; 3 položaj	21
Tabela 7 Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 3. položaj.....	22
Tabela 8 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 90°; 4. položaj	22
Tabela 9 Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 4. položaj.....	23
Tabela 10 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 90°; 5. položaj	23
Tabela 11 Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 5. položaj.....	23
Tabela 12 Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 100°; 5. položaj	24

Tabela 13	<i>Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 100°, 5. položaj</i>	24
Tabela 14	<i>Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 100°; 6. položaj</i>	25
Tabela 15	<i>Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 100°, 6. položaj</i>	25
Tabela 16	<i>Vrednosti aEMG (%) NHK vseh merjenecv</i>	26
Tabela 17	<i>Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%) ; LR sproščena</i>	26
Tabela 18	<i>Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; LR sproščena</i>	27
Tabela 19	<i>Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena</i>	27
Tabela 20	<i>Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; DR sproščena</i>	28
Tabela 21	<i>Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%); LR sproščena</i>	28
Tabela 22	<i>Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; LR sproščena</i>	29
Tabela 23	<i>Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena</i>	29
Tabela 24	<i>Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; DR sproščena</i>	30
Tabela 25	<i>Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%); LR sproščena</i>	30
Tabela 26	<i>Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje dveh položajev; LR sproščena</i>	30
Tabela 27	<i>Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena</i>	31
Tabela 28	<i>Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje dveh položajev; DR sproščena</i>	31
Tabela 29	<i>Normalizirane vrednosti aEMG (%); Primerjava oseb: razmerja rok proti nogam</i> .	32
Tabela 30	<i>Čas plezanja</i>	33

KAZALO SLIK

<i>Slika 1.</i>	<i>Učinek mišične obremenitve na preskrbo s krvjo in način presnove</i>	7
<i>Slika 2.</i>	<i>Analiza EMG signala</i>	9
<i>Slika 3.</i>	<i>Nizka plezalna stena; letvice za merjenje "NHK" upogibalk prstov rok; premični del plezalne stene</i>	14
<i>Slika 4.</i>	<i>Pozicija elektrod - mišica soleus</i>	15
<i>Slika 5.</i>	<i>Mejenje "NHK" upogibalk prstov</i>	17
<i>Slika 6.</i>	<i>Merjenje pri navpični steni (90°)</i>	18
<i>Slika 7.</i>	<i>Merjenje pri naklonu 100°</i>	18
<i>Slika 8.</i>	<i>Merjenje EMG-ja med plezanjem smeri</i>	19

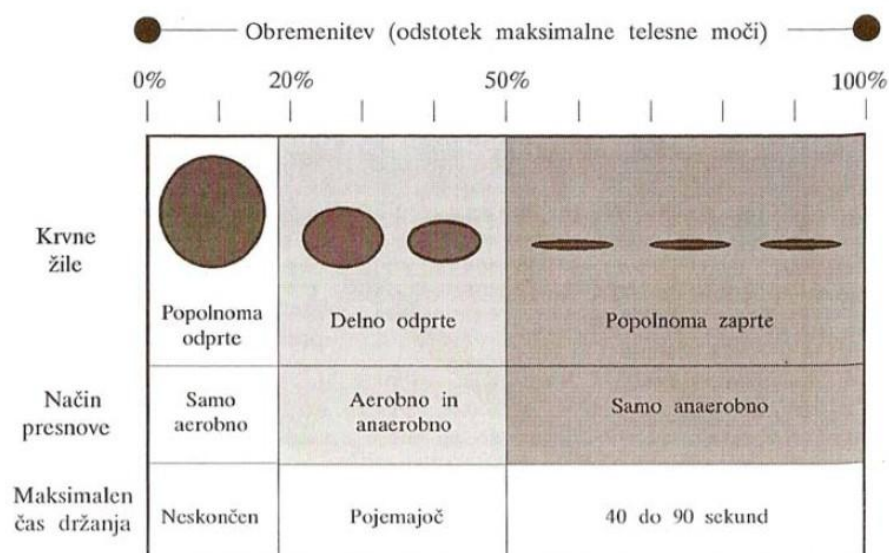
1 UVOD

Športno plezanje je samostojna športna panoga in oblika prostega plezanja, kjer za napredovanje v smeri in s tem premagovanje težav uporabljamo samo svoje telo ter naravne razčlembe in skalne izrastke oziroma oprimke in stope, ki so del stene. Vrv in druga tehnična sredstva uporabljamo le za varovanje ob morebitnem padcu.

Športno plezanje zahteva veliko različnih sposobnosti (moč, vzdržljivost, koordinacija, ravnotežje, plezalna tehnika, splošna kondicijska pripravljenost, psihološka pripravljenost, idr.). Težko je določiti, katera je najpomembnejša, vsekakor pa sta sam občutek in tehnika plezanja med pomembnejšimi. Z učinkovito plezalno tehniko plezamo ekonomično, saj varčujemo z energijo. Ker na uspešnost vpliva toliko različnih sposobnosti, ne moremo reči, da je močnejši plezalec nujno boljši in uspešnejši.

Plezanje predstavlja napor, ki se razlikuje od ostalih športnih naporov v tem, da niso kritično obremenjene velike mišične skupine. Ključni omejitveni dejavnik, ki zadeva moč in vzdržljivost, s tem pa tudi kondicijske priprave, je zelo specifično lokaliziran na tiste mišice in mišične skupine, ki upogibajo prste rok ter povzročajo silo, s katero se plezalec drži na steni. Mišice, ki upogibajo prste, so locirane v podlahti (povrhnja upogibalka prstov, globoka upogibalka prstov) in med plezanjem v večji meri izvajajo izometrična krčenja. 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 čim dlje in da je čas, ko pride do izčrpanosti, zamaknjen na čim kasnejše obdobje (Zadravec, 2006).

Okluzija je stanje, ko je v mišici prekinjen pretok krvi skozi mišice pri velikem naporu. Do njega pride pri različnem odstotku maksimalnega zavestnega krčenja (Slika 1).



Slika 1. Učinek mišične obremenitve na preskrbo s krvjo in način presnove.

Barnes (1980) je ugotovil, da pride do okluzije v mišicah podlakti v povprečju pri 63,5 % NHK. Do delne zapore lahko pride že pri 20 % NHK, pri 50 % in več pa pride do popolne zapore. Do

okluzije pride, ker se znotraj-mišični tlak povečuje sorazmerno s silo mišičnega krčenja. Pri izometričnih krčenjih z maksimalno intenzivnostjo je znotraj-mišični tlak največji. Kapilare v mišicah se stisnejo, kar onemogoča pretok krvi. Najprej se stisnejo kapilare globokih mišic, kjer je znotraj-mišični tlak 50 % višji kot pri površinskih, pri katerih se kapilare stisnejo pozneje. Pri okluziji pridobiva mišica energijo na anaeroben način z glikolizo, saj postane zaprt sistem. Glikoliza (glikogenoliza) je zaporedje biokemičnih reakcij v citoplazmi, kjer se glukoza in glikogen razgrajujeta v piruvat, pri katerem se obnavlja ATP. Kadar kisika primanjkuje, se večina piruvične kisline pretvori v mlečno kislino (laktat) kot končen produkt. Zaradi teh produktov pride do porušena znotraj-mišične koordinacije in s tem do bolj neekonomičnega plezanja.

Pričakovano imajo vrhunski plezalci nizko telesno maso in veliko moč zgornjega dela telesa. V raziskavah velikokrat zasledimo povezave med močjo in telesno maso, ki jih lahko označimo kot: moč/telesna masa. Večina vrhunskih plezalcev je relativno majhne postave z nizko telesno maso in odstotkom telesnih maščob ter z veliko močjo upogibalk prstov rok v povezavi s telesno maso (Watts idr., 2008).

1.1 Elektromiografija

Elektromiografija (EMG) je posnetek akcijskih potencialov, ki se širijo vzdolž sarkoleme do motorične ploščice proti koncema mišičnih vlaken (Enoka, 2002). Akcijski potencial je kratkotrajna sprememba napetosti membrane, ko postane notranjost celice za kratek čas (1 ms) pozitivna glede na zunanost – obratno polarizirana kot v električnem mirovanju. Mirovni potencial postsinaptične membrane je od -90 do -70 mV, kar vzdržujejo Na^+ - K^+ črpalke.

Površinska elektromiografija je zaradi svoje ne-invazivnosti ena izmed najbolj pogosto uporabljenih merilnih tehnik v kineziologiji, ki spremlja bioelektrične signale akcijskih potencialov iz motoričnih enot. Poda nam informacijo celotne mišice in ne le posameznih mišičnih vlaken kot pri znotraj-mišičnemu načinu merjenja (igelni EMG) (Horvatin-Fučkar, Medved in Kasović, 2007). EMG signal nastane z električno aktivnostjo mišičnih vlaken med krčenjem.

Površinski EMG merimo z uporabo površinskih EMG elektrod, ki jih nalepimo na pripravljeno kožo nad mišicami, katerih aktivnost želimo meriti. Oblika in velikost elektrod določata število zajetih motoričnih enot, razmik med elektrodami pa določa širino pasu zajemanja signala pod elektrodami (Štirn, 2009). Kožo pripravimo tako, da na mestih, kjer bodo nameščene površinske elektrode, pobrijemo dlake in z brusnim papirjem odstranimo povrhnjico kože. Na koncu kožo očistimo z alkoholom. Mesta za namestitve površinskih elektrod lahko določimo po priporočilih SENIAM (Surface ElectroMyoGraphy for the Non-Invasive Assessment of Muscles) (SENIAM, Hermens in Freriks, 2014).

Med površinskimi elektrodami in izvorom signala je biološko tkivo, ki deluje kot filter, prepusten za nizke frekvence, in vpliva na zajeti EMG signal.

Signal posnamemo z eno ali dvema aktivnima površinskima elektrodama in eno referenčno elektrodo. Boljše je merjenje s parom površinskih aktivnih elektrod – bipolarno merjenje, ki poteka v dveh fazah. V prvi fazi se izmeri razlika v napetosti med vsako posamezno elektrodo in referenčno – ničelno elektrodo. V drugi fazi se računa razlika med dobljenimi vrednostmi.

Signal, ki ostane, se ojači z ojačevalcem in prikaže kot sprememba napetosti v času. Temu rečemo elektromiogram (Štirn, 2009).

Signal, ki ga dobimo, je seštevek naključnega trenutnega položaja vlakov akcijskih potencialov rekrutiranih motoričnih enot med zavestnim mišičnim krčenjem. Najprej dobimo »surovi« signal, iz katerega lahko vidimo le, kdaj je mišica aktivna ter kako se velikost signala spreminja. Signal za nadaljnjo analizo obdelamo. Analiziramo ga lahko v časovnem ali frekvenčnem prostoru.

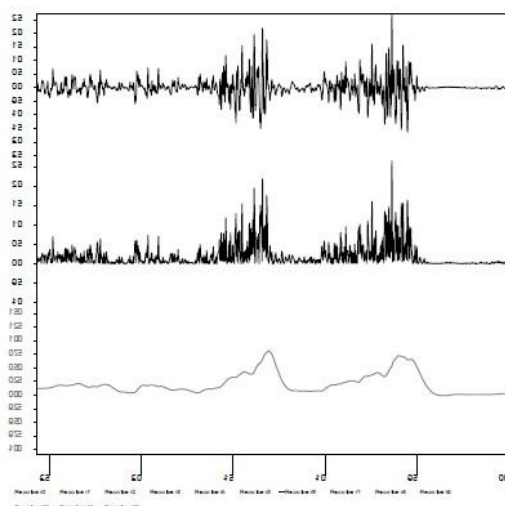
1.1.1 Obdelava v časovnem prostoru:

1. poravnava osnovne linije;
2. obračanje signala;
3. glajenje signala.

Najprej s filtrom, prepustnim za visoke frekvence, poravnamo osnovno linijo signala. Ta pogosto niha zaradi gibanja mišice med zajemanjem EMG signala. Spodnja mejna frekvenca tega filtra je okoli 5–20 Hz. Nato je potrebno signal filtrirati še z nizko-pasovno prepustnim filtrom, katerega zgornja meja je 500 Hz ali več. Tako se odstrani šume nefiziološkega izvora. Sledi obračanje signala tako, da vse negativne vrednosti preslikamo v pozitivne ter nato gladimo signal (Slika 2). Za analizo tako izračunamo amplitudo signala ali integriran EMG, ki je izračun površine pod krivuljo usmerjenega signala v časovnem intervalu. Enota merjenja je voltsekunda (Vs). Za oceno amplitude EMG signala se najpogosteje uporablja povprečna absolutna vrednost (povprečna amplituda signala) in/ali koren povprečne kvadratne vrednosti (efektivna amplituda signala na določenem intervalu) (Štirn, 2009).

ANALIZA EMG SIGNALA – časovni prostor

- SUROVI EMG SIGNAL
- OBRAČANJE SIGNALA
- GLADENJE SIGNALA



Slika 2. Analiza EMG signala.

Slika 2 prikazuje obdelavo EMG signala v časovnem prostoru. Zgoraj je prikazan surovi EMG signal, v sredini je prikazan obrnjen EMG signal, spodaj pa poglajen EMG signal.

1.1.2 Obdelava v frekvenčnem prostoru

Poznana je tudi obdelava signala EMG v frekvenčnem prostoru, ki nam pove, v kolikšni meri se na nekem časovnem intervalu pojavljajo različne frekvence signala. EMG signal bi lahko opisali kot določeno kombinacijo oz. vsoto sinusnih in kosinusnih krivulj, različnih frekvenc in amplitud. Pri EMG-signalu gre za periodičen izmeničen signal, ki se naključno spreminja v času. Vsak tak periodičen signal je lahko sestavljen iz različnih frekvenc, gladkost signala pa predstavlja njegove frekvenčne značilnosti. Osnovno orodje za frekvenčno analizo signalov je Fourierjeva transformacija (Gerževič, 2011).

Za frekvenčno analizo stacionarnih slučajnih signalov, kakršen je v določenih primerih tudi EMG signal, se uporablja spekter močnostne gostote. Glavne lastnosti močnostnega spektra se najpogosteje izraža s srednjo frekvenco močnostnega spektra in mediano frekvence močnostnega spektra (Štirn, 2009).

Analiza EMG signalov v frekvenčnem prostoru je sicer zanimiva za analizo utrujenosti mišic, vendar je pri našem raziskovanju nismo uporabili.

1.2 Problem naloge

Športno plezanje je kompleksen šport, saj na uspešnost vpliva veliko dejavnikov. V raziskavah Magiera, Rocznik, Maszczyk, Czuba, Kantyaka in Kurek (2013) primerjajo in raziskujejo kar 43 spremenljivk, ki vplivajo na športno plezanje. Analize so pokazale, da je za uspešnost pri športnem plezanju ključnih 7 lastnosti (spremenljivk), ki pojasnjujejo kar 77 % uspešnosti. To so maksimalna relativna moč prstov, plezalna tehnika, psihološka pripravljenost (vzdržljivost), izometrična vzdržljivost moči prstov, število napak v testu merjenja reakcijskega časa v oteženih okoliščinah, razlika med telesno višino in razponom rok (ape index) ter test – vnos kisika med delom rok pri anaerobnem pragu (VO_2ATarm). Največji del variance je pojasnila maksimalna moč prstov, ki je v povezavi s telesno maso plezalca ena najpomembnejših lastnosti, potrebnih za plezanje najtežjih smeri. Sledila je plezalna tehnika, brez katere moč plezalca ne pride do izraza.

Podobno je pokazala študija Magiera in Ryguła (2007), ki je dokazala, da so pri plezanju na pogled (NP) najpomembnejše plezalna tehnika, test – vnos kisika med delom rok pri anaerobnem pragu (VO_2ATarm), maksimalna relativna moč prstov, vzdržljivost v moči, razlika med telesno višino in razponom rok ter druge.

V raziskavah vedno navajajo maksimalno moč prstov in plezalno tehniko. Obe sta nujno potrebni za učinkovito plezanje najtežjih smeri. Eden najboljših športnih plezalcev, Adam Ondra (2014), je v intervjuju za Planetmountain dejal, da je z vsakim višjim nivojem moči, ki ga plezalec pridobi s treningom, potrebno prilagoditi plezalno tehniko. Pravi, da se moraš vedno, ko postaneš močnejši, znova naučiti plezati. Plezati je potrebno učinkovito, kar pomeni ekonomično.

To smo preverjali tudi z meritvami pri mojem diplomskem delu. Poskušali smo ugotoviti, kako sta pri posameznih plezalcih izražena tehnika in moč glede na sposobnosti, ki jih ima posamezen plezalec. Oceno sposobnosti posameznika smo pridobili z anketo o trenutni

pripravljenosti – zmožnostih. Na podlagi merjenja aktivnosti mišic soleus in upogibalk prstov rok smo določili razmerje (formula1).

$$\text{Formula1: Razmerje} = \frac{\text{aktivnost upogibalk prstov}}{\text{aktivnost iztegovalk gležnja}}$$

Višje kot je razmerje, relativno večja je aktivnost upogibalk prstov rok in/ali manjša aktivnost iztegovalk gležnja. Predpostavimo lahko, da merjenec z višjim razmerjem pleza manj ekonomično. S to metodo lahko teoretično s primerjanjem plezalcev med seboj ugotovimo, v kateri smeri naj poteka trening plezalca. Dva plezalca z enakimi sposobnostmi imata lahko zelo različno razmerje. Eden lahko razvije mnogo večjo silo mišic upogibalk prstov rok v primerjavi s telesno maso (je močnejši), a manj uporablja noge – manj telesne mase prenese na noge. Teoretično lahko z izboljšano plezalno tehniko še izboljša svoje sposobnosti.

Po navadi se sila (moč) upogibalk prstov meri z ročnim dinamometrom. Ta omogoča merjenje sile, ustvarjene pri izometričnem krčenju prstov rok proti bazi palca. Raziskave navajajo, da so sile stiska vrhunskih plezalcev med 506.0±62.8 in 581.5±69.6 N (Watts idr., 2008). V tej raziskavi so s pomočjo elektromiografije primerjali aktivacijo mišic podlahti med plezanjem in stiskom ročnega dinamometra. Ugotovili so, da se aktivacija mišic podlahti zelo razlikuje, saj so med stiskom ročnega dinamometra dlan in prsti rok v drugačnem položaju, kot so med plezanjem. Ugotovili so, da se med plezalnimi gibi lahko proizvede veliko večja sila mišic podlahti, kot se proizvede med maksimalnim stiskom ročnega dinamometra. To pojasnjuje dejstvo, zakaj so vrednosti stiska ročnega dinamometra vrhunskih plezalcev povprečne oz. niso nadpovprečne v primerjavi z ostalo populacijo (v primerjavi s starostjo in spolom).

S pomočjo elektromiografije so primerjali tudi aktivnost mišic upogibalk prstov rok pri različnih prijemih med plezanjem navzgor in navzdol (vzpenjanje in spuščanje). Najvišje vrednosti so izmerili pri zaprtem prijemu (visenje na robu velikosti 1 cm) ter prijemu z dvema prstoma (prstanec in mezinec - visenje na robu velikosti 4 cm). Najnižje vrednosti so izmerili pri odprtem prijemu (visenje na robu velikosti 4 cm) ter prijemu z dvema prstoma (kazalec in sredinec). Podobne rezultate so dobili tako pri vzpenjajočem plezanju kot pri spuščanju (Watts idr., 2008).

Heyward, McMin, Mermier in Robergs (1997) so merili plezalce med plezanjem na umetni steni pri različnih naklonih stene in različnih težavnostih smeri. Ugotovili so, da frekvenca srca med plezanjem narase od 74 % do 85 % maksimalne srčne frekvence (HRmax). Do hitrega dviga srčne frekvence pride zaradi prekinjajočega izometričnega krčenja upogibalk prstov (37 % vseh akcij med plezanjem) ter zaradi krčenja mišic rok med plezanjem. Frekvenca srca in volumen kisika v krvi – vnos kisika (V_{O2}) – nista povezana.

Poleg srčne frekvence se med plezanjem visoko dvignejo tudi vrednosti laktata v krvi. Ugotovili so, da se vrednosti laktata višje (tudi frekvenca srca in krvni tlak), če so roke plezalca dlje časa dvignjene nad raven srca, zato je potrebno med plezanjem smeri v primernih trenutkih (počitki) roke spustiti pod raven srca in tako sprostiti mišice.

1.3 Cilji in hipoteze

Cilj naloge je bil:

- s pomočjo elektromiografije (EMG) izmeriti aktivnost mišic upogibalk prstov in iztegovalk gležnja med plezanjem ter na podlagi rezultatov določiti razmerje med uporabo rok (upogibalke prstov) in nog posameznika med plezanjem;
- ugotoviti, kako se spreminja razmerje med uporabo rok in nog med plezanjem pri različno sposobnih plezalcih ter pri različnih plezalnih situacijah (različni položaji plezalca in nakloni plezalne stene);
- primerjati dobljene rezultate (razmerje) s plezalnimi stažem posameznikov ter njihovimi sposobnostmi (najtežja splezana smer v zadnjem mesecu ter zmožnost plezanja »na pogled«).

V primeru, da imata dva posameznika podobne sposobnosti plezanja (anketa), ampak drugačno izmerjeno razmerje, lahko sklepamo, kateri pleza bolj tehnično-ekonomično, kateri pa bolj »na moč«. Na podlagi tega lahko ugotovimo, v kateri smeri naj poteka trening posameznika.

Formula 1: $Razmerje = \frac{aktivnost\ upogibalk\ prstov}{aktivnost\ iztegovalk\ gležnja}$

V skladu z zastavljenimi cilji smo postavili hipoteze:

HIPOTEZA 1: Razmerje amplitud izmerjenega EMG-ja (aEMG) med rokami in nogami se bo med plezalci razlikovalo.

HIPOTEZA 2: Razmerje izmerjenega aEMG-ja bo pri plezalcih z daljšim plezalnimi stažem manjše.

HIPOTEZA 3: Razmerje izmerjenega aEMG-ja bo pri plezalcih z boljšimi sposobnostmi manjše.

HIPOTEZA 4: Razmerje izmerjenega aEMG-ja med rokami in nogami se bo z večjim naklonom stene povečalo v smeri upogibalk prstov.

HIPOTEZA 5: Razmerje izmerjenega aEMG-ja se bo z utrujanjem plezalca večalo v smeri upogibalk prstov.

2 METODE DE LA

2.1 Merjenci

Merjenci so bili trije, moškega spola, z različno dobo plezanja (leta ukvarjanja s športnim plezanjem). Vsak merjenec je izpolnil obrazec, ki je spraševal o njegovih telesnih značilnostih in sposobnostih.

Tabela 1
Podatki preizkušancev

PREIZKUŠANEC	LETNICA ROJSTVA	VIŠINA (cm)	TEŽA (kg)	PLEZALNI STAŽ		SPOSOBNOST PLEZANJA	
				leta plezanja	pogostost plezanja	plezanje NP	plezanje z RP
A	1991	170	66	4	4x/teden	6c+	7b+
B	1960	179	72	35	1x/mesec	6a	6c
C	1961	170	60	34	3x/teden	7a	8a+

Legenda. NP – na pogled; RP – rdeča pika

2.2 Pripomočki

Anketa

Vsak merjenec je izpolnil obrazec, ki je spraševal po letnici rojstva, njegovih telesnih značilnostih in sposobnostih plezanja. V Tabeli 1 so prikazani podatki, o katerih je spraševal obrazec: višina (cm) in teža (kg) merjenca, plezalni staž (koliko let se s plezanjem ukvarja in kako pogosto) ter trenutne plezalne sposobnosti – najvišja trenutna sposobnost plezanja na pogled (NP) in z rdečo piko (RP)). Pri plezanju na pogled smo spraševali po oceni (težavnosti) plezalne smeri, ki jo je merjenec sposoben suvereno preplezati. To pomeni, da plezalec večino smeri te težavnosti spleza na pogled. Pod plezanje z rdečo piko so merjenci vpisali oceno smeri, za katero mislijo, da jo lahko splezajo v nekaj dneh z večkratnim poizkušanjem (»študiranje smeri«).

Plezalne ocene so izražene s francosko težavnostno lestvico.

Vzpon na pogled: vzpon v prvem poskusu v neznani smeri.

Vzpon z rdečo piko: vzpon po predhodnem plezanju smeri.

Ne glede na način vzpona za športno plezanje že po definiciji štejejo vzponi, opravljeni prosto. Poleg tega za pravilno opravljen vzpon »uradno« štejejo samo vzponi, ki so opravljeni v vodstvu in pri katerem je celotna smer preplezana prosto (Cecić Erpič idr., 2003).

Nizka plezalna stena

Merjenje je potekalo na nizki plezalni steni v športni dvorani Grintovec na Fakulteti za šport, Univerze v Ljubljani. Uporabljali smo nizko plezalno steno in premični del plezalne stene, saj smo spremljali plezanje pod različnim naklonom (slika 3). Pri določanju največjega hotenega krčenja (NHK) upogibalk prstov rok smo si pomagali z lesenimi letvicami velikosti 2,5 cm (Slika 3).



Slika 3. Nizka plezalna stena; letvice za merjenje "NHK" upogibalk prstov rok; premični del plezalne stene.

Površinski EMG

Na merjenca smo po ustreznem protokolu (SENIAM, Herrmens in Freriks, 2014 ter Quaine, 2003) nalepili elektrode in merili aktivnost mišic iztegovalk gležnja in upogibalk prstov med plezanjem.

Drugi pripomočki

Za merjenje, pripravo in opazovanje smo uporabljali štoparico, kotomer, metronom, videokamero, merilni trak, računalnik, računalniški program LABCHART.

2.3 Postopek

Datum in kraj merjenja: 10. 7. 2014; nizka plezalna stena v športni dvorani Grintavec na Fakulteti za šport, Univerze v Ljubljani.

Merjenci so izpolnili anketo (plezalni staž posameznika in raven sposobnosti). Na upogibalke prstov in iztegovalke gležnjeve smo jim nalepili površinske elektrode, s katerimi smo merili aktivnost posameznih mišic. Izmerili smo EMG med standardiziranim visenjem na prstih na letvici in najvišje vrednosti EMG mišice soleus med plezanjem pri 80-stopinjskem naklonu plezalne stene ter podatke uporabili za normalizacijo signala.

Merjenci so splezali določeno smer, mi pa smo beležili podatke na računalniku. Sledilo je izčrpavanje (utrujanje) merjencev, s ponavljajočim plezanjem iste smeri. Smer so brez odmora splezali do 8-krat. Na podlagi izmerjenih podatkov smo izračunali razmerje amplitud EMG med aktivacijo (uporabo) rok in nog med plezanjem. Glede na izpolnjeno anketo smo primerjali rezultate in sklepali, če postavljene hipoteze držijo. Isti postopek smo izvedli tudi na delu plezalne stene, kjer je možno spreminjati naklon stene. Glede na spreminjanje naklona se je spreminjalo razmerje med aktivacijo (uporabo) mišic rok in nog. Glede na izmerjene podatke smo ugotavljali, kako se razmerje EMG spreminja glede na sposobnosti posameznega merjenca (anketa).

Za spremljanje signalov na računalniku smo uporabljali program LABCHART.

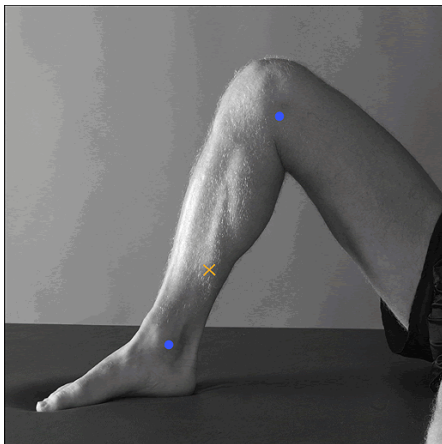
Zaporedje izvajanja postopkov priprave in meritev:

1. priprava merjenca na meritev;
2. standardizirano ogrevanje;
3. merjenje EMG med NHK mišice soleus;
4. merjenje EMG med NHK upogibalk prstov;
5. merjenje EMG med ponavljajočim gibanjem (plezanjem) pri različnih naklonih plezalne stene;
6. merjenje EMG med plezanjem smeri.

2.3.1 Priprava merjenca na meritev

Priprava merjenca na meritev je bila vedno enaka. Najprej smo pripravili elektrode za merjenje EMG. Nato smo na desni in levi podlahti določili in označili mesta, na katera smo zalepili elektrode. Mesto za namestitvev elektrod na podlahti smo določili s palpatorno metodo po članku avtorja Quaine F. (2003). Elektrodi smo namestili na sredini telesa mišice upogibalk prstov - dvoglava upogibalka prstov (*musculus flexor digitorum superficialis*).

Mesto za merjenje mišice soleus smo določili po priporočilih SENIAM (SENIAM, Hermens in Freriks, 2014). Slika 4 prikazuje mesto, kamor smo nalepili elektrode. Nalepili smo jih na 2/3 namišljene črte med medialnim kondilom stegenice in medialnim gležnjem.



Slika 4. Pozicija elektrod - mišica soleus.

Na opisanih mestih smo pobrili dlake, nato smo z brusnim papirjem odstranili povrhnjico kože. Obrušeno kožo smo očistili z alkoholom in na tako pripravljeno kožo nalepili EMG elektrode. Uporabili smo bipolarne, samolepljive Ag-AgCl (srebro – srebro kloridne) elektrode tipa 0601000402, Kendall ARBO, Francija. Elektrode so bile oblike diska s premerom 9 mm, razdalja med elektrodama je bila 2.4 cm, upor med elektrodama pa je bil med 1 in 5 k Ω . Ničelna – referenčna elektroda je bila zalepljena na lateralno stran gležnja leve noge.

2.3.2 Standardizirano ogrevanje

Ogrevanje merjencev je potekalo po določenem protokolu. Predstavljena jim je bila smer, ki so jo plezali tudi med merjenjem. Merjenci so jo za ogrevanje splezali dvakrat z vmesnim odmorom dveh minut.

Smer je bila ista tako za ogrevanje kot za merjenje. S tem smo merjencem omogočili, da so se s smerjo seznanili ter se v njej preizkusili. Tako med merjenjem ni bilo presenečenj ter razmišljanja, katero plezalno tehniko ali vrsto prijema naj plezalec uporabi.

2.3.3 Merjenje EMG in določanje NHK mišice soleus

Za potrebe normalizacije EMG signala smo izbrali najvišje vrednosti aEMG, ki so se pojavljale med plezanjem (ponavljajočim gibanjem) pri 80-stopinjskem naklonu plezalne stene. Postopek merjenja je opisan v naslovu 2.3.5.

Dobljen EMG signal smo poravnali s filtrom, prepustnim za visoke frekvence (5 Hz) in odstranili šume s filtrom, prepustnim za nizke frekvence (500 Hz). Surovi signal smo usmerili, nato pa ročno označili aktivni del signala, na katerem smo izračunali največjo povprečno amplitudo EMG (aEMG) na intervalu 0.5 sekunde s premikanjem naprej za 0.25 sekunde. Amplitudo EMG smo na tak način analizirali tudi pri vseh nadaljnjih meritvah.

2.3.4 Merjenje EMG in določanje NHK upogibalk prstov

Za potrebe normalizacije smo izmerili EMG med visenjem. Merjenec se je oprijel letvice na »campus boardu« in na njej visel 5 sekund (Slika 5). Izvedli smo tri meritve približka NHK na letvici velikosti 2.5 cm. Med vsako meritvijo je sledila minuta odmora.

1. Najprej je merjenec letvico prijel s prijemom na strešico in visel 5 sekund. Sledila je minuta odmora.
2. Nato je merjenec postopek ponovil, le da je letvico prijel z odprtim prijemom s štirimi prsti.
3. Sledilo je visenje z odprtim prijemom s tremi prsti.

Za NHK-je smo izbrali najvišje vrednosti aEMG, ki smo jih pridobili z merjenjem. Pri osebi A in C smo najvišje vrednosti izmerili pri vesi s prijemom na strešico. Pri osebi B smo najvišje vrednosti izmerili pri vesi na štirih prstih z odprtim prijemom.



Slika 5. Mejenje "NHK" upogibalk prstov.

Sledilo je 5 min počitka – odmora, nato pa smo začeli z nadaljnjim merjenjem.

2.3.5 Merjenje EMG-ja med ponavljajočim gibanjem (plezanjem) pri različnih naklonih plezalne stene

Uporabili smo plezalno steno, ki omogoča spreminjanje naklona. Postavljen je bil »poligon«, po katerem so merjenci izvajali vnaprej določeno gibanje. Poligon je bil sestavljen iz štirih enako velikih stopov ter iz štirih letvic velikosti 2,5 cm, ki so jih plezalci uporabili kot oprimke. Merjenci so lahko letvice držali le z odprtim prijemom. Gibanje je bilo vnaprej določeno, zato so vsi merjenci plezali z enakim zaporedjem gibov. Vedno je bilo potrebno izvesti gib najprej z desno roko ali nogo.

Iz začetnega položaja: gib z desno nogo na višji stop, nato enako z levo nogo. Sledil je premik desne roke na višje ležeč oprimek, nato premik leve roke. Merjenec se je potem vrnil na nižje ležeč oprimek z desno in nato z levo roko ter spustil desno in nato levo nogo. Gibanje od začetnega položaja do izhodišča je merjenec ponovil od 3- do 5-krat.

Izvedli smo tri meritve, vsako pri različnem naklonu plezalne stene (sliki 6 in 7). Oprimki in stopi so ostali isti. Med posameznimi meritvami je bilo tri minute odmora, namenjenega počitku merjenca in pripravi plezalne stene na naslednjo meritev (postavitev primernega naklona).

- 1. meritev: naklon 80° (+10). Dolžina med oznakama je 30.2 cm.
- 2. meritev: naklon 90° (0 – navpičnica). Dolžina med oznakama je 42 cm.
- 3. meritev: naklon 100° (-10). Dolžina med oznakama je 54.3 cm.



Slika 6. Merjenje pri navpični steni (90°).

Slika 7. Merjenje pri naklonu 100°.

Med gibanjem plezalca (merjenca) smo merili aktivnost posameznih mišic in gibanje sinhronizirano z zapisom aktivnosti mišic snemali z videokamero. Tempo plezanja je bil določen s pomočjo metronoma - 40 udarcev/minuto. Tako smo zagotovili enakomerno gibanje in s tem lažjo primerjavo med merjenci ter lažje analiziranje podatkov. Slabost je, da smo merjencu vsilili ritem – tempo in mu s tem nekoliko otežili plezanje (slabša koordinacija).

Po meritvah smo za analizo in primerjavo merjencev izbrali šest položajev, ki so se pojavljali med plezanjem:

1. POLOŽAJ: Tri-oporni položaj; desna noga v zraku (napreduje na višje ležeči stop).
2. POLOŽAJ: Tri-oporni položaj; leva noga v zraku (napreduje na višje ležeči stop).
3. POLOŽAJ: Tri-oporni položaj; desna roka v zraku (napreduje na višje ležeči oprimek).
4. POLOŽAJ: Štiri-oporni položaj; desna roka je na višje ležečem oprimku (sliki 6 in 7).
5. POLOŽAJ: Tri-oporni položaj; leva roka v zraku (napreduje na višje ležeči oprimek).
6. POLOŽAJ: Štiri-oporni položaj; roke in noge so na višje ležečih oprimkih in stopih.

Opazovali smo amplitude EMG (aEMG), ki smo jih izmerili v teh plezalnih položajih. Amplituda EMG je definirana kot največja amplituda obrnjenega EMG na intervalu 0.5 sek. S pomočjo izmerjene NHK posamezne okončine smo amplitude EMG normalizirali in tako dobili vrednosti velikosti od 0 do 1 (normalizirane vrednosti aEMG). Te vrednosti smo uporabili za primerjavo posameznih merjencev in za računanje razmerja – formula 1.

$$\text{Formula 1: Razmerje} = \frac{\text{aktivnost upogibalk prstov}}{\text{aktivnost iztegovalk gležnja}}$$

Po tretji meritvi (naklon 100°) je sledil pet minutni odmor, nato pa smo izvajali meritve med plezanjem smeri.

2.3.6 Merjenje EMG-ja med plezanjem smeri

Postavljena je bila plezalna smer (prečka), ki je vsebovala 14 oprimkov (Slika 8). Stope je merjenec poljubno izbiral – niso bili določeni. Smer se je plezalo v levo in desno stran, tako da je plezalec prišel nazaj do izhodišča (takrat je smer preplezal enkrat). Tempo plezanja ni bil določen. Smer je merjenec splezal enkrat, nato je imel čas za uporabo magnezije (ne več kot 15 sekund), nato je nadaljeval s plezanjem. Plezalo se je do utrujenosti oz. ne več kot osem ponovitev, če smer plezalca ni predstavljala toliko težav, da bi prišlo do utrujenosti in posledično padca.

Med gibanjem plezalca (merjenca) smo merili aktivnost posameznih mišic in gibanje sinhronizirano z zapisom aktivnosti mišic, snemali z videokamero.



Slika 8. Merjenje EMG-ja med plezanjem smeri.

Za analizo in primerjavo smo izbrali osem položajev, ki so se pojavljali med plezanjem. Štiri položaje z aktivno desno in sproščeno levo roko ter štiri položaje z aktivno levo in sproščeno desno roko.

Opazovali smo amplitude EMG (aEMG), ki smo jih izmerili v teh plezalnih položajih (opisano v podnaslovu 2.3.5).

V nadaljevanju smo normalizirane vrednosti aEMG, ki smo jih odčitali v štirih podobnih plezalnih položajih, povprečili. Tako smo dobili eno vrednost (povprečno) za položaj z aktivno desno in sproščeno levo roko ter eno vrednost za položaj z aktivno levo in sproščeno desno roko.

3 REZULTATI IN RAZPRAVA

3.1 PONAVLJAJOČE GIBANJE PRI RAZLIČNIH NAKLONIH

Opazovali smo merjence med plezanjem – gibanjem po plezalni steni pri različnih naklonih (pri 80°, 90° in 100° naklonu). Merjenec je imel na voljo dva oprimka za levo in dva za desno roko ter dva stopa za levo in dva za desno nogo. Za analizo in primerjavo smo izbrali šest položajev, ki so se pojavljali med plezanjem. Opazovali smo amplitude EMG (aEMG). S pomočjo izmerjene NHK posamezne okončine smo amplitude EMG normalizirali in tako dobili vrednosti velikosti od 0 do 1 (normalizirane vrednosti aEMG). Te vrednosti smo uporabili za primerjavo posameznih merjencev ter za računanje razmerja.

Naklon 80 stopinj:

Tabela 2

Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 80°; 3. položaj

naklon 80° - 3. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,26	0,02	0,34	0,01
OSEBA B	0,23	0,05	0,38	0,01
OSEBA C	0,57	0,04	0,64	0,06

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (aktivna); DN – desna noga; DR – desna roka (sproščena)

V Tabeli 2 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 3. položajem plezanja pri 80-stopinjskem naklonu plezalne stene. Leva roka je aktivna, desna pa sproščena – napreduje proti višje ležečem oprimku.

Vidimo lahko, da se podatki za levo in desno roko med posamezniki bistveno ne spreminjajo. Plezalna stena je namreč nagnjena navznoter, kar omogoča razbremenitev rok. Plezalci roke uporabljajo le za ravnotežje, plezalčeva masa pa je na nogah.

Vrednosti aEMG nog se med posamezniki razlikujejo. Pri naklonu 80° so vsi plezalci roke uporabljali le za ravnotežje, vso telesno maso pa »nosili« z nogami. Najvišje vrednosti aEMG nog dosega oseba C (najbolje pripravljen plezalec).

Tabela 3

Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 80°, 3. položaj

naklon 80° - 3. položaj		
Razmerje	DR/N	LR/N
OSEBA A	0,04	0,06
OSEBA B	0,04	0,17
OSEBA C	0,09	0,06

Legenda. DR – desna roka; LR – leva roka; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 3 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje DR/N smo dobili tako, da smo podatke desne roke (sproščene) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje LR/N smo dobili tako, da smo podatke leve roke (aktivne) delili s povprečjem leve in desne noge. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Dobljena razmerja se med osebami bistveno ne spreminjajo. Najvišje razmerje aktivne roke (LR/N) ima oseba B, ki je najslabše fizično pripravljena (najslabše sposobnosti).

Tabela 4
Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 80°; 4. položaj

naklon 80° - 4. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,30	0,02	0,33	0,04
OSEBA B	0,20	0,02	0,32	0,04
OSEBA C	0,58	0,02	0,53	0,08

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (aktivna); DN – desna noga; DR – desna roka (aktivna)

V Tabeli 4 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 4. položajem med plezanjem pri 80-stopinjskem naklonu plezalne stene. Leva roka je aktivna na nižje ležečem oprimku, desna pa aktivna na višje ležečem oprimku.

Aktivnosti leve in desne roke se bistveno ne razlikujeta. Nekoliko višja je aktivnost roke, ki drži višje ležeči oprimek. Podatki se med merjenci ne razlikujejo.

Vrednosti aEMG nog posameznikov se nekoliko razlikujejo. Najvišje vrednosti dosega oseba C, najnižje pa oseba B.

Tabela 5
Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 80°, 4. položaj

80° - 4. položaj	
Razmerje	R/N
OSEBA A	0,10
OSEBA B	0,12
OSEBA C	0,09

Legenda. R – povprečje leve in desne roke; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 5 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje R/N smo dobili tako, da smo povprečje leve in desne roke delili s povprečjem leve in desne noge. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Dobljena razmerja se med osebami bistveno ne spreminjajo. Najvišje razmerje (R/N) ima oseba B, ki je najslabše fizično pripravljena (najslabše sposobnosti).

Naklon 90 stopinj - navpičnica:

Tabela 6
Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 90°; 3 položaj

naklon 90° - 3. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,21	0,21	0,26	0,04
OSEBA B	0,26	0,36	0,38	0,03
OSEBA C	0,23	0,21	0,29	0,06

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (aktivna); DN – desna noga; DR – desna roka (sproščena)

V Tabeli 6 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 3. položajem plezanja pri 90-stopinjskem naklonu plezalne stene (navpičnica). Leva roka je

aktivna, desna pa sproščena – napreduje proti višje ležečem oprimku.

Vrednosti aEMG desne roke (sproščene) se med posamezniki ne razlikujejo. Razlike je opaziti pri aktivni – levi roki. Višja aktivnost je zabeležena pri osebi B, ki je najslabše fizično pripravljena.

Vrednosti aEMG nog se med posamezniki bistveno ne razlikujejo, najvišje vrednosti dosega oseba B.

Tabela 7

Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 3. položaj

naklon 90° - 3. položaj			
<i>Razmerje</i>	<i>DR/N</i>	<i>LR/N</i>	<i>R/N</i>
OSEBA A	0,17	0,90	0,53
OSEBA B	0,09	1,12	0,60
OSEBA C	0,24	0,81	0,53

Legenda. DR – desna roka; LR – leva roka; R – povprečje leve in desne roke ; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 7 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje DR/N smo dobili tako, da smo podatke desne roke (sproščene) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje LR/N smo dobili tako, da smo podatke leve roke (aktivne) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje R/N je dobljeno z deljenjem povprečja rok in nog. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Vidimo, da ima najvišje razmerje oseba B, sledi pa oseba A. Najnižje razmerje ima oseba C. Dobljena razmerja sovpadajo s fizičnimi sposobnostmi plezalcev. Oseba C je najbolj fizično pripravljena in ima najnižje razmerje. To pomeni, da oseba C med plezanjem najmanj aktivira mišice podlahti in učinkovito uporablja noge, zato pleza najbolj ekonomično.

Tabela 8

Normalizirane vrednosti aEMG(%) pri 90°; 4. položaj

naklon 90° - 4. položaj				
	<i>LN</i>	<i>LR</i>	<i>DN</i>	<i>DR</i>
OSEBA A	0,24	0,18	0,24	0,11
OSEBA B	0,32	0,34	0,41	0,62
OSEBA C	0,28	0,15	0,58	0,27

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (aktivna); DN – desna noga; DR – desna roka (aktivna)

V Tabeli 8 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 4. položajem med plezanjem pri 90-stopinjskem naklonu plezalne stene. Plezalci so v štiri-opornem položaju, leva roka je aktivna na nižje ležečem oprimku, desna pa aktivna na višje ležečem oprimku.

Najvišja aktivnost mišic podlahti je opazna pri plezalcu z najslabšimi sposobnostmi. Mišice podlahti desne roke (na višje ležečem oprimku) dosegajo višje vrednosti kot mišice leve roke, ki leži na nižje ležečem oprimku.

Tabela 9
Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 4. položaj

naklon 90° - 4. položaj	
<i>Razmerje</i>	R/N
OSEBA A	0,60
OSEBA B	1,31
OSEBA C	0,48

Legenda. R – povprečje leve in desne roke; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 9 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje R/N smo dobili tako, da smo povprečje leve in desne roke delili s povprečjem leve in desne noge. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Najvišje razmerje ima zopet oseba B, najnižje pa oseba C. To sovпада s fizičnimi sposobnostmi posameznikov. Sposobnejši plezalci med plezanjem manj aktivirajo mišice podlahti. Tako plezajo bolj ekonomično in v naporu lahko vztrajajo dlje časa.

Tabela 10
Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 90°; 5. položaj

naklon 90° - 5. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,30	0,06	0,29	0,13
OSEBA B	0,27	0,03	0,40	0,67
OSEBA C	0,27	0,03	0,49	0,20

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (sproščena); DN – desna noga; DR – desna roka (aktivna)

V Tabeli 10 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 5. položajem plezanja pri 90-stopinjskem naklonu plezalne stene. Desna roka je aktivna (na nižje ležečem oprimku), leva pa sproščena – napreduje proti višje ležečem oprimku.

Vrednosti aEMG sproščene roke se med posamezniki ne spreminjajo. Prav tako ni opaznih bistvenih sprememb pri aktivnosti nog posameznikov. Največje spremembe aEMG je opaziti pri desni roki (aktivni). Najvišje vrednosti aEMG mišic podlahti dosega oseba B. To pomeni, da oseba B z mišicami proizvaja največjo silo. Osebi A in C sta se v steni obdržali z manjšo silo mišic rok. Plezala sta bolj ekonomično.

Tabela 11
Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 90°, 5. položaj

naklon 90° - 5. položaj			
<i>Razmerje</i>	LR/N	DR/N	R/N
OSEBA A	0,20	0,44	0,32
OSEBA B	0,08	2,01	1,05
OSEBA C	0,08	0,52	0,30

Legenda. DR – desna roka; LR – leva roka; R – povprečje leve in desne roke ; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 11 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje DR/N smo dobili tako, da smo podatke desne roke (aktivne) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje LR/N smo dobili tako, da smo podatke leve roke (sproščene) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje R/N je dobljeno z deljenjem povprečja rok in nog. Višje kot je razmerje, bolj je

plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Najvišje razmerje DR/N in R/N zopet dosega oseba B, najnižje pa oseba C. To sovпада s sposobnostmi posameznikov. Bolje pripravljeni plezalci dosežajo nižje razmerje kot slabše pripravljeni.

Naklon 100 stopinj - previs:

Tabela 12

Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 100°; 5. položaj

naklon 100° - 5. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,27	0,06	0,21	0,58
OSEBA B	0,39	0,04	0,34	0,76
OSEBA C	0,19	0,04	0,40	0,51

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (sproščena); DN – desna noga; DR – desna roka (aktivna)

V Tabeli 12 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 5. položajem plezanja pri 100-stopinjskem naklonu plezalne stene – previs. Desna roka je aktivna (na nižje ležečem oprimku), leva pa sproščena – napreduje proti višje ležečem oprimku.

Vrednosti aEMG leve roke – sproščene se med posamezniki ne razlikujejo. Razlike so opazne pri aktivni roki (desni). Najvišje vrednosti dosega najslabše pripravljen plezalec. To pomeni, da z mišicami podlahti proizvaja največjo silo, da se obdrži v steni. Osebi A in C dosežata nižje vrednosti – nižji odstotek aktivacije mišic podlahti. Za enako akcijo mišice podlahti proizvajajo nižjo silo.

Tabela 13

Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 100°, 5. položaj

naklon 100° - 5. položaj			
Razmerje	LR/N	DR/N	R/N
OSEBA A	0,27	2,41	1,34
OSEBA B	0,11	2,07	1,09
OSEBA C	0,14	1,72	0,93

Legenda. DR – desna roka; LR – leva roka; R – povprečje leve in desne roke ; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 13 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje DR/N smo dobili tako, da smo podatke desne roke (aktivne) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje LR/N smo dobili tako, da smo podatke leve roke (sproščene) delili s povprečjem leve in desne noge. Razmerje R/N je dobljeno z deljenjem povprečja rok in nog. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Najnižje razmerje dosega oseba C. Oseba B dosega nižje razmerje kot oseba A zaradi učinkovitejše uporabe nog – višja aktivnost iztegovalk gležnja.

Vidimo, da so izračunana razmerja pri naklonu 100° višja kot pri naklonu 80° in 90°. Večji kot je previs, večja je sila mišic podlahti, da se plezalec lahko obdrži v steni. Sila mišic iztegovalk gležnja je manjša, saj se težišče plezalca pomakne nazaj.

Tabela 14
Normalizirane vrednosti aEMG (%) pri 100°; 6. položaj

naklon 100° - 6. položaj				
	LN	LR	DN	DR
OSEBA A	0,24	0,40	0,25	0,66
OSEBA B	0,32	0,47	0,44	0,73
OSEBA C	0,31	0,45	0,46	0,47

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka (aktivna); DN – desna noga; DR – desna roka (aktivna).

V Tabeli 14 so predstavljene vrednosti aEMG posameznih okončin, pridobljene med 6. položajem med plezanjem pri 100-stopinjskem naklonu plezalne stene – previs. Plezalci so v štiri-opornem položaju, leva in desna roka držita višje ležeči oprimek, nogi pa sta postavljeni na višje ležečih stopih.

Najvišje vrednosti aEMG rok dosega oseba B, najnižjo pa oseba C. To sovпада s sposobnostmi plezalcev (anketa). Najnižje vrednosti aEMG iztegovalk gležnjev dosega oseba A. Do tega pride zaradi slabše plezalne tehnike ali razlik v višini plezalcev.

Tabela 15
Normalizirane vrednosti aEMG (%) – razmerje roke/noge; 100°, 6. položaj

naklon 100° - 6. položaj	
<i>Razmerje</i>	R/N
OSEBA A	2,14
OSEBA B	1,57
OSEBA C	1,19

Legenda. R – povprečje leve in desne roke; N – povprečje leve in desne noge

V Tabeli 15 so predstavljena razmerja posameznikov. Razmerje R/N smo dobili tako, da smo povprečje leve in desne roke delili s povprečjem leve in desne noge. Višje kot je razmerje, bolj je plezalec aktiviral roke in/ali manj uporabljal noge.

Najnižje (najboljše) razmerje dosega oseba C. To pomeni, da pleza najbolj ekonomično – majhna aktivnost mišic podlahti in visoka učinkovitost nog med plezanjem. Oseba A ima zaradi slabše učinkovitosti nog med plezanjem višje razmerje kot oseba B kljub manjši aktivnosti rok med plezanjem.

Postavi se vprašanje, povezano z velikostjo plezalcev. Ali pomeni nižja aktivnost nog (nižje vrednosti aEMG) slabšo plezalno tehniko ali prihaja do tega zaradi razlik v višini plezalcev? Plezalna smer je za vse posameznike ista. Manjši plezalci se morajo do višje ležečih oprimkov bolj iztegniti kot višji plezalci. Je zaradi tega aktivnost nog nižja?

3.2 PLEZANJE SMERI

Za analizo in primerjavo smo izbrali dvakrat po štiri položaje, ki so se pojavljali med plezanjem. V tabelah 17, 21 in 25 so predstavljeni tri-oporni plezalni položaji, pri katerih je leva roka sproščena (v zraku), desna roka pa se drži za oprimek (izrazili smo največjo amplitudo EMG). V tabelah 19, 23 in 27 pa so predstavljeni tri-oporni položaji, pri katerih je desna roka sproščena (v zraku), leva pa drži oprimek (največja amplituda EMG).

Opazovali smo amplitude EMG (aEMG). S pomočjo izmerjene NHK posamezne okončine smo amplitude EMG normalizirali in tako dobili vrednosti velikosti od 0 do 1 (normalizirane vrednosti aEMG). Te vrednosti smo uporabili za primerjavo posameznih merjencev in za računanje razmerja. Prišlo je do nekaj nepričakovanih odstopanj (vrednosti večjih od 1) zaradi »nerealnega« NHK-ja (največjega hotenega krčenja). Vrednosti NHK posamezne okončine vsakega od merjencev so predstavljene v Tabeli 16.

Tabela 16
Vrednosti aEMG (%) NHK vseh merjencev

	NHK LN	NHK LR	NHK DN	NHK DR
OSEBA A	0,067	0,310	0,182	0,546
OSEBA B	0,038	0,678	0,105	0,544
OSEBA C	0,044	0,392	0,132	0,205

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka; NHK – najvišje hoteno krčenje

Tabela 17
Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%); LR sproščena

OSEBA A	PLEZANJE - DESNA ROKA AKTIVNA, LEVA SPROŠČENA							
	PRVIČ V SMERI				TRETJIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,34	0,08	0,44	0,33	0,17	0,07	0,40	0,60
2. položaj	0,08	0,20	0,57	0,43	0,07	0,09	0,67	0,48
3. položaj	0,35	0,23	0,72	0,69	0,37	0,07	0,65	0,78
4. položaj	0,12	0,29	0,75	0,70	0,17	0,24	0,74	0,88
	SEDMIČ V SMERI				OSMIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,36	0,07	0,37	0,56	0,24	0,12	1,04	0,83
2. položaj	0,07	0,06	0,47	0,91	0,11	0,19	6,61	1,20
3. položaj	0,17	0,14	1,12	0,90	0,06	0,07	1,14	0,85
4. položaj	0,27	0,08	0,91	1,01	0,20	0,04	0,84	1,22

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 17 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca A med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo, tretjo, sedmo in osmo ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je desna roka aktivna, leva pa sproščena (v zraku).

Tabela 18

Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; LR sproščena

OSEBA A	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; DR aktivna, LR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,22	0,20	0,62	0,54
TRETIČ V SMERI	0,19	0,12	0,61	0,68
SEDMIČ V SMERI	0,22	0,09	0,72	0,84
OSMIČ V SMERI	0,16	0,11	2,41	1,03

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 18 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca A.

Vidimo lahko, da se aktivnost roke, ki se oprijema oprimka, z vsako ponovitvijo plezanja smeri, povečuje. Plezalec je pri osmi ponovitvi celo presegel NHK roke. Do tega pride zaradi vedno večje utrujenosti. Takrat se začne vključevati vedno več motoričnih enot, porablja se vedno več energije, kar povzroči še hitrejšo utrujanje.

Aktivnost leve roke – sproščene – se s ponovitvami nekoliko zmanjšuje. Sprememb pri aktivnosti nog ni opaziti.

Pri merjenju desne noge je pri osmi ponovitvi prišlo do napak v zajemanju podatkov.

Tabela 19

Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena

OSEBA A	PLEZANJE - LEVA ROKA AKTIVNA, DESNA SPROŠČENA								
		PRVIČ V SMERI				TRETIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR	
1. položaj	0,29	0,61	0,40	0,07	0,50	0,77	0,38	0,05	
2. položaj	0,29	0,76	0,30	0,08	0,29	1,00	0,44	0,04	
3. položaj	0,39	0,74	0,47	0,11	0,45	0,77	0,55	0,09	
4. položaj	0,08	0,99	0,53	0,14	0,21	1,20	0,49	0,04	
		SEDMIČ V SMERI				OSMIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR	
1. položaj	0,36	0,85	0,79	0,04	0,22	1,13	1,42	0,07	
2. položaj	0,22	1,19	0,26	0,07	0,22	1,26	0,70	0,12	
3. položaj	0,49	1,15	0,53	0,12	0,33	1,37	0,66	0,03	
4. položaj	0,14	1,01	0,30	0,03	0,11	1,33	0,27	0,09	

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 19 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca A med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo, tretjo, sedmo in osmo ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je leva roka aktivna, desna pa sproščena (v zraku).

Tabela 20

Merjenec A; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; DR sproščena

OSEBA A	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; LR aktivna, DR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,26	0,78	0,42	0,10
TRETJIČ V SMERI	0,36	0,94	0,47	0,05
SEDMIČ V SMERI	0,30	1,05	0,47	0,07
OSMIČ V SMERI	0,22	1,27	0,76	0,08

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 20 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca A.

Vidimo lahko, da se aktivnost roke, ki se oprijema oprimka, z vsako ponovitvijo plezanja smeri povečuje. Plezalec je pri sedmi in osmi ponovitvi celo presegel NHK roke. Do vedno večje aktivnosti pride zaradi vedno večje utrujenosti.

Aktivnost desne roke – sproščene – se s ponovitvami ne spreminja. Sprememb pri aktivnosti nog ni opaziti.

Tabela 21

Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%); LR sproščena

OSEBA C	PLEZANJE - DESNA ROKA AKTIVNA, LEVA SPROŠČENA							
	PRVIČ V SMERI				TRETJIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,38	0,08	0,93	0,55	0,09	0,05	0,82	0,41
2. položaj	0,28	0,07	0,20	0,49	0,30	0,06	0,19	0,64
3. položaj	0,23	0,33	0,89	0,64	0,90	0,27	0,41	0,71
4. položaj	0,28	0,16	0,60	0,68	0,24	0,25	0,51	0,69
	SEDMIČ V SMERI				OSMIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,60	0,05	0,31	0,49	0,52	0,05	0,28	0,60
2. položaj	0,33	0,06	0,31	0,64	0,21	0,26	0,28	0,68
3. položaj	0,27	0,08	0,64	0,57	0,42	0,14	0,80	0,70
4. položaj	0,23	0,14	0,31	0,70	0,22	0,15	0,62	0,65

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 21 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca C med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo, tretjo, sedmo in osmo ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je desna roka aktivna, leva pa sproščena (v zraku).

Tabela 22

Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; LR sproščena

OSEBA C	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; DR aktivna, LR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,29	0,16	0,65	0,59
TRETIČ V SMERI	0,38	0,16	0,48	0,61
SEDMIČ V SMERI	0,36	0,08	0,39	0,60
OSMIČ V SMERI	0,34	0,15	0,49	0,66

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 22 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca C.

Aktivnost desne roke se s ponovitvami skoraj ne spreminja. Minimalno povečanje je opazno šele pri zadnji (osmi) ponovitvi plezanja smeri. Vidimo, da plezalcu C plezanje smeri ni predstavljalo velikih naporov.

Aktivnost leve roke – sproščene – se s ponovitvami ne spreminja. Sprememb pri aktivnosti nog ni opaziti.

Tabela 23

Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena

OSEBA C	PLEZANJE - LEVA ROKA AKTIVNA, DESNA SPROŠČENA							
	PRVIČ V SMERI				TRETIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,41	0,66	0,67	0,15	0,80	0,88	0,96	0,14
2. položaj	0,34	0,83	0,07	0,07	0,55	0,92	0,39	0,13
3. položaj	0,49	0,80	0,51	0,20	0,54	1,02	0,58	0,18
4. položaj	0,06	0,86	0,59	0,12	0,10	1,06	0,62	0,09
	SEDMIČ V SMERI				OSMIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,82	1,10	0,15	0,12	0,95	1,04	0,17	0,15
2. položaj	0,35	0,94	0,28	0,16	0,37	1,08	0,36	0,14
3. položaj	0,45	0,87	0,61	0,15	0,47	1,13	0,57	0,19
4. položaj	0,07	1,17	0,51	0,16	0,06	1,14	0,64	0,15

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 23 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca C med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo, tretjo, sedmo in osmo ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je leva roka aktivna, desna pa sproščena (v zraku).

Tabela 24

Merjenec C; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje štirih položajev; DR sproščena

OSEBA C	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; LR aktivna, DR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,33	0,79	0,46	0,14
TRETIČ V SMERI	0,50	0,97	0,64	0,14
SEDMIČ V SMERI	0,42	1,02	0,39	0,15
OSMIČ V SMERI	0,46	1,10	0,44	0,16

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 24 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca C.

Vidimo lahko, da se aktivnost roke, ki se oprijema oprimka z vsako ponovitvijo plezanja smeri, povečuje. Plezalec je pri sedmi in osmi ponovitvi celo presešel NHK roke. Do vedno večje aktivnosti pride zaradi vedno večje utrujenosti.

Aktivnost desne roke – sproščene – se s ponovitvami ne spreminja. Sprememb pri aktivnosti nog ni opaziti.

Tabela 25

Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%); LR sproščena

OSEBA B	PLEZANJE - DESNA ROKA AKTIVNA, LEVA SPROŠČENA							
	PRVIČ V SMERI				DRUGIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,30	0,02	0,40	0,82	0,26	0,06	0,46	0,84
2. položaj	0,16	0,06	0,35	1,47	0,28	0,03	0,42	1,24
3. položaj	0,14	0,12	0,62	1,28	0,38	0,11	0,73	1,17
4. položaj	0,24	0,11	0,77	0,98	0,45	0,31	0,52	1,29

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 25 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca B med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo in drugo (zadnjo) ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je desna roka aktivna, leva pa sproščena (v zraku). Merjenec B je smer v celoti splezal enkrat, med drugo ponovitvijo pa je zaradi napora prenehal s plezanjem (padec).

Tabela 26

Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje dveh položajev; LR sproščena

OSEBA B	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; DR aktivna, LR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,21	0,08	0,53	1,14
DRUGIČ V SMERI	0,34	0,13	0,53	1,14

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 26 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca B.

Tabela 27
Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%); DR sproščena

OSEBA B	PLEZANJE - LEVA ROKA AKTIVNA, DESNA SPROŠČENA							
	PRVIČ V SMERI				DRUGIČ V SMERI			
	LN	LR	DN	DR	LN	LR	DN	DR
1. položaj	0,39	0,49	0,51	0,27	0,31	0,53	0,93	0,29
2. položaj	0,24	0,64	0,42	0,15	0,29	0,75	0,57	0,23
3. položaj	0,22	0,83	0,16	0,08	0,32	0,68	0,23	0,09
4. položaj	0,09	0,88	0,35	0,04	0,48	0,82	0,48	0,18

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

V Tabeli 27 so predstavljene vrednosti aEMG merjenca B med 1., 2., 3. in 4. položajem ter med prvo in drugo (zadnjo) ponovitvijo plezanja smeri. Gre za tri-oporne položaje, pri katerih je leva roka aktivna, desna pa sproščena (v zraku). Merjenec B je smer v celoti splezal enkrat, med drugo ponovitvijo pa je zaradi napora prenehal s plezanjem (padec).

Tabela 28
Merjenec B; normalizirane vrednosti aEMG (%) – povprečje dveh položajev; DR sproščena

OSEBA B	POVPREČJE ŠTIRIH POLOŽAJEV; LR aktivna, DR sproščena			
	LN	LR	DN	DR
PRVIČ V SMERI	0,24	0,71	0,36	0,14
DRUGIČ V SMERI	0,35	0,70	0,55	0,20

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; DN – desna noga; DR – desna roka

Tabela 28 predstavlja povprečne vrednosti aEMG štirih položajev za vsako okončino pri različni utrujenosti (zaporedni ponovitvi plezanja smeri) merjenca B.

Pri vseh merjencih se vrednosti aEMG aktivne roke z vsako ponovitvijo povečujejo zaradi vedno večje utrujenosti. Pri plezalcu C to skoraj ni opazno (do utrujenosti ne prihaja). Najvišje vrednosti dosega plezalec B. Sledi mu plezalec A, najnižje vrednosti pa dosega plezalec C.

Plezalec B že pri prvi ponovitvi plezanja dosega vrednosti, višje od NHK-ja (1,14). Pri plezalcu A se to zgodi šele pri zadnji – osmi ponovitvi plezanja (1,03). Plezalcu C se vrednosti zelo malo spreminjajo. Pri osmi ponovitvi plezanja znaša normalizirana vrednost aEMG aktivne roke 0,66.

Sposobnejšim plezalcem smer ne predstavlja tolikšnega napora kot manj sposobnim. Zato so aktivne mišice veliko manj aktivirane. Manjša aktivnost (nižje aEMG) pomeni manj porabljene energije in počasnejše utrujanje. Opazimo začaran krog, saj večje kot je utrujanje, večje je vključevanje mišičnih vlaken v posamezno mišično akcijo. Zaradi tega prihaja do večje porabe energije in posledično do hitrejšega utrujanja.

Tabela 29

Normalizirane vrednosti aEMG (%); Primerjava oseb: razmerja rok proti nogam

OSEBA A	Leva	Desna	Razmerje	Leva	Desna	
	sproščena	aktivna		aktivna	sproščena	
	LR/N	DR/N		LR/N	DR/N	
	PRVIČ V SMERI	0,48	1,28	PRVIČ V SMERI	2,27	0,28
	TRETJIČ V SMERI	0,29	1,69	TRETJIČ V SMERI	2,27	0,13
	SEDMIČ V SMERI	0,18	1,81	SEDMIČ V SMERI	2,72	0,17
	OSMIČ V SMERI	0,08	0,80	OSMIČ V SMERI	2,59	0,16
OSEBA C	Leva	Desna	Razmerje	Leva	Desna	
	sproščena	aktivna		aktivna	sproščena	
	LR/N	DR/N		LR/N	DR/N	
	PRVIČ V SMERI	0,34	1,25	PRVIČ V SMERI	2,01	0,35
	TRETJIČ V SMERI	0,37	1,41	TRETJIČ V SMERI	1,71	0,24
	SEDMIČ V SMERI	0,22	1,60	SEDMIČ V SMERI	2,51	0,36
	OSMIČ V SMERI	0,36	1,57	OSMIČ V SMERI	2,44	0,35
OSEBA B	Leva	Desna	Razmerje	Leva	Desna	
	sproščena	aktivna		aktivna	sproščena	
	LR/N	DR/N		LR/N	DR/N	
	PRVIČ V SMERI	0,21	3,06	PRVIČ V SMERI	2,39	0,46
	DRUGIČ V SMERI	0,29	2,60	DRUGIČ V SMERI	1,54	0,44

Legenda. LN – leva noga; LR – leva roka; N – povprečje leve in desne noge

Tabela 29 prikazuje posameznikovo razmerje med rokami in nogami. Izračunali smo razmerje med levo roko in povprečjem nog (formula 2) ter razmerje desne roke in povprečjem nog (formula 3).

$$\text{Formula 2: Razmerje} = \frac{\text{aktivnost upogibalk prstov LR}}{((LN + DN)/2)}$$

$$\text{Formula 3: Razmerje} = \frac{\text{aktivnost upogibalk prstov DR}}{((LN + DN)/2)}$$

Dobljena razmerja nam pokažejo, kolikšna je uporaba rok proti nogam. Višje vrednosti pomenijo, da je plezalec manj učinkovito uporabljal noge oz. je med plezanjem bolj obremenjeval roke. Manjše kot je razmerje, bolj učinkovito je plezalec plezal – manjše obremenjevanje rok in večja obremenitev nog.

Vidimo, da se z vsako ponovitvijo smeri razmerje med rokami in nogami povečuje pri vseh merjenjih. Zaradi konstantne obremenitve prihaja do utrujenosti in posledično večje aktivacije mišic upogibalk prstov rok, medtem ko aktivacija nog ostaja relativno podobna.

Pogostost plezanja osebe B sovпада s sposobnostmi plezanja, saj je slabše pripravljena kot osebi A in C. To se vidi tudi po rezultatih, predstavljenih v tabeli 15. Razmerje osebe B je že v prvi ponovitvi plezanja precej višje (3,06 in 2,39) kot pri osebah A (1,28 in 2,27) in C (1,25 in 2,01). Plezalec B je smer splezal v celoti le enkrat, v drugi ponovitvi je sledil padec. Po 15 min

počitka se je v smeri preizkusil še enkrat, ampak je uspel splezati le v eno stran (do polovice smeri).

Oseba C je nekoliko bolje pripravljena kot oseba A (anketa – sposobnosti), kar so pokazali tudi rezultati. Oseba C ima nižja razmerja kot oseba A tako pri prvi, kot pri zadnji ponovitvi plezanja. Razmerje se je pri osebi C s ponovitvami plezanja počasneje povečevalo kot pri osebi A. Plezalec C se je med plezanjem smeri počasneje utrujal kot plezalec A.

Opazimo lahko tudi proces učenja. Plezalec C se je na gibe v smeri navadil in smer z vsako ponovitvijo plezal hitreje – za plezanje smeri je porabil vedno manj časa (tabela 30). Možno je, da se je koordinacija gibanja izboljševala, kar je vplivalo na občutke o zahtevnosti smeri. Merjenec C je na meritvah izjavil, da mu je smer postajala vedno lažja.

Pri plezalcu A se čas, ki ga je porabil za smer ni bistveno spreminjal.

Plezalec B je pri prvi ponovitvi plezanja padel tik pred koncem in porabil skoraj 2 min. Za smer je porabil več časa kot merjenca A in C. Predstavljala mu je večji napor kot plezalcema A in C.

Tabela 30
Čas plezanja

	ČAS PLEZANJA (min:sek)							
	1. ponovitev	2. ponovitev	3. ponovitev	4. ponovitev	5. ponovitev	6. ponovitev	7. ponovitev	8. ponovitev
OSEBA A	1:20	1:30	1:21	1:21	1:20	1:24	1:28	1:23
OSEBA C	1:30	1:22	1:09	1:14	1:07	1:01	0:57	0:55
OSEBA B	1:59	//	//	//	//	//	//	//

Predpostavimo lahko, da boljši plezalci plezajo hitreje (Tabela 30). Manj sposoben plezalec, ki mu smer predstavlja velik napor, pleza počasneje kot plezalec, ki mu ista smer ne predstavlja posebnega napora. To pomeni, da slabši plezalec oprimke drži dalj časa ter z višjim odstotkom aktivacije mišic in se zato utruja hitreje, saj je časa za relaksacijo mišic manj. Tako pride do začaranega kroga, saj z večjo utrujenostjo pleza še počasneje in manj ekonomično.

4 RAZPRAVA O HIPOTEZAH

Cilj naloge je bil s pomočjo elektromiografije izmeriti aktivnost mišic upogibalk prstov rok in iztegovalk gležnja med plezanjem ter na podlagi rezultatov določiti razmerje med uporabo rok (upogibalke prstov) in nog posameznika med plezanjem. Razmerje smo izračunali z uporabo formule 1. Višje kot je razmerje, večja je aktivnost upogibalk prstov rok in/ali manjša aktivnost iztegovalk gležnja. To pomeni, da merjenec manj učinkovito uporablja noge med plezanjem – pleza manj ekonomično.

Z meritvami smo na skupini treh različno treniranih plezalcev prišli do ugotovitev, ki so opisane v nadaljevanju. Med plezanjem pri 80-stopinjskem naklonu plezalci rok ne obremenjujejo, temveč jih uporabljajo le za ravnotežje in oporo. Večina plezalčeve mase je prenesena na noge – plezalec v smeri napreduje izključno z uporabo nog, zato so razlike med merjenci zelo majhne. Pri dveh od štirih plezalnih položajih smo najvišja razmerja ugotovili pri najslabše pripravljenem plezalcu.

Večje razlike so opazne pri 90-stopinjskem naklonu plezalne stene (navpičnica). V vseh preverjenih plezalnih položajih (3., 4., 5. položaj) dosega najvišje vrednosti upogibalk prstov rok plezalec z najslabšimi sposobnostmi. Najvišje vrednosti dosega tudi pri izračunanih razmerjih. Najnižje vrednosti dosega oseba C, ki je najbolj fizično pripravljena. Med plezanjem namreč najmanj aktivira mišice upogibalke prstov (najnižje vrednosti aEMG), hkrati pa aktivno uporablja noge – visoke vrednosti aEMG mišice soleus. To pomeni, da plezalec C pleza najbolj ekonomično.

Podobno opazimo pri plezanju pri 100-stopinjskem naklonu plezalne stene (previs). Aktivnost sproščene roke se med plezalci ne razlikuje, pri NV aEMG aktivne roke pa opazimo podobno kot doslej. Najvišje vrednosti dosega najslabše pripravljen plezalec, najnižje pa plezalec z najboljšimi sposobnostmi. Dobljeni rezultati torej sovpadajo s fizičnimi sposobnostmi plezalcev. Pri primerjanju razmerji je prišlo do drugačne razvrstitve. Kljub nižjim vrednostim aEMG upogibalk prstov rok je plezalec A pri petem in šestem položaju plezanja dosegel višje razmerje kot plezalec B zaradi manjših vrednosti aEMG mišic soleus. Do tega je prišlo bodisi zaradi slabše plezalne tehnike osebe A bodisi zaradi nižje telesne višine osebe A. Vemo, da je bila plezalna smer ista za vse preizkušance, zato so bili gibi za manjše plezalce relativno daljši, posledično se je plezalec bolj iztegoval do višje ležečih oprimkov in s tem manj obremenjeval stope. Tega ne potrjuje oseba C, ki je enako visoka kot oseba A, obremenitev nog pa je bila podobna kot pri osebi B. Hipoteze 4 ne moremo zavriniti, saj se s povečevanjem naklona povečuje razmerje v smeri upogibalk prstov rok.

Pri plezanju smeri se z vsako ponovitvijo plezanja vrednosti aEMG aktivne roke povečujejo, zaradi vedno večje utrujenosti. Pri najbolj sposobnem plezalcu – oseba C – je povečevanje najmanj opazno (Tabela 24) oz. do utrujanja skoraj ne prihaja (Tabela 22). Najvišje vrednosti aEMG dosega plezalec B, ki je najslabše fizično pripravljen. Že pri prvi ponovitvi mišice upogibalke prstov presegajo vrednosti NHK-jev. Pri plezalcu A se to zgodi pri zadnji – osmi ponovitvi (Tabela 18), pri plezalcu C do tega ne pride (Tabela 22). Sposobnejšim plezalcem smer ne predstavlja tolikšnega napora kot manj sposobnim, zato so njihove mišice upogibalke prstov dosti manj aktivirane. Manjša aktivacija pomeni manj porabljene energije in počasnejše utrujanje.

S primerjanjem razmerji opazimo podobno. Z vsako ponovitvijo se razmerje povečuje pri vseh merjenjih. Na podlagi tega hipoteze 5 ne moremo zavrniti. Razmerje se je pri boljših plezalcih s ponovitvami povečevalo počasneje, vrednosti pa so bile nižje tako pri prvi kot pri zadnji ponovitvi. Opazimo tudi proces učenja. Plezalec C je smer z vsako ponovitvijo plezal hitreje. Manj sposobnim plezalcem smer predstavlja večji napor, zato plezajo počasneje, oprimke držijo dlje časa in se posledično hitreje utrujajo.

Na podlagi vseh ugotovitev hipotez 1 in 3 ne moremo zavrniti. Iz dobljenih rezultatov hipoteze 2 ne moremo niti zavreči niti potrditi. Plezalni staž namreč ne vpliva na sposobnosti plezanja, temveč nanj vpliva količina in kvaliteta vadbe (treninga).

5 ZAKLJUČEK

Športno plezanje je kompleksen šport, saj na uspešnost vpliva veliko dejavnikov (sposobnosti). V raziskavah Magiera, Rocznio, Maszczyk, Czuba, Kantyaka in Kurek (2013) primerjajo in raziskujejo 43 spremenljivk, ki vplivajo na športno plezanje. Ključnih je 7 lastnosti (spremenljivk), ki pojasnjujejo kar 77 % uspešnosti. Te sposobnosti so maksimalna relativna moč prstov, plezalna tehnika, psihološka pripravljenost (vzdržljivost), izometrična vzdržljivost moči prstov, ape index, idr. Najvišje vrednosti sta dosegli maksimalna moč prstov v povezavi s telesno maso plezalca in plezalna tehnika. Z učinkovito plezalno tehniko plezamo ekonomično in tako varčujemo z močmi.

Z raziskavo smo poskušali ugotoviti, kako sta pri posameznih plezalcih izražena tehnika in moč glede na sposobnosti ter plezalni staž posameznega plezalca. Plezalni staž in sposobnosti plezalca smo pridobili z anketo. V raziskavi so sodelovali trije merjenci – plezalci z različnimi sposobnostmi. Za kvalitetnejše raziskovanje in delo bi bilo v prihodnje potrebno imeti večji vzorec.

Na meritvah smo uporabili površinsko elektromiografijo, ki je ena izmed najpogosteje uporabljenih merilnih tehnik v kineziologiji. Z njo spremljamo bioelektrične signale akcijskih potencialov iz motoričnih enot. Merili smo aktivnost mišic soleus in upogibalk prstov rok med plezanjem. Najprej smo izmerili EMG največjega hotenega krčenja (NHK) vseh mišic. NHK upogibalk prstov smo izmerili z visenjem z obema rokama na 2,5 cm letvici. Izkazalo se je, da so plezalci med plezanjem v utrujenem stanju celo presegli izmerjene vrednosti NHK-jev. To se je zgodilo med tri-opornim položajem, ko se je plezalec v steni držal le z eno roko, druga pa je bila v zraku na poti proti naslednjemu oprimku. Vrednosti aktivne roke so kljub temu, da je plezalec uporabljal noge, presegle izmerjene NHK-je rok. V prihodnjih raziskavah, bi merjenje NHK-jev spremenili. Izbrali bi lahko večje letvice za visenje, merjenca pa bi obtežili z utežmi, tako da bi v vesi lahko zdržali le npr. 10 sekund.

Za NHK mišice soleus smo izbrali najvišje vrednosti aEMG, ki so se pojavljale med merjenjem prvega dela meritev. V prvem delu je potekalo merjenje EMG med ponavljajočim gibanjem (plezanjem) pri 80°, 90° in 100-stopinjskim naklonom.

V drugem delu smo merili EMG med plezanjem daljše smeri. Smer so merjenci plezali do osemkrat z vmesnim odmorom do 15 sekund. Pri boljših plezalcih do velikega povečanja aEMG (pokazatelj utrujanja) ni prišlo niti pri osmi ponovitvi smeri, saj jim je smer predstavljala manjši napor, v času odmora med ponovitvami pa so se bolje regenerirali kot slabši plezalci. Pri nadaljnjih raziskavah bi ta odmor ukinili, plezalci pa bi magnezijo uporabili med visenjem na začetnem (končnem) oprimku v smeri.

Na naš glavni parameter – aEMG – vpliva tudi dinamika krčenja mišic. Pri izometričnih krčenjih so izmerjene vrednosti bolj stabilne kot pri koncentričnih in ekscentričnih krčenjih. Poleg tega ugotavljamo, da bi bilo za bolj poglobljeno razumevanje problemov, izpostavljenih v diplomskem delu, potrebno tudi vzporedno merjenje sil mišic.

6 VIRI

- Adam Ondra, the 100 x 9a or harder interview. (5. 12. 2014). *Planetmountain*. Pridobljeno iz <http://www.planetmountain.com/english/News/shownews1.lasso?l=2&keyid=42342>
- Barnes, W.S. (1980). The relationship between maximum isometric strength and intramuscular circulatory occlusion. *Ergonomics*, 23(4), 351–357.
- Cano-Herrera, C. L. in Cuesta-Vargas, A. I. (2014). Surface electromyography during physical exercise in water. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 2014(6). Pridobljeno iz <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=11&sid=e8b6be7d-41ab-40f4-a617-78b89326301c%40sessionmgr4001&hid=4112>
- Cecić Erpič, S., Čufar, M., Grilc, P., Guček, V., Leskošek, B. in Simonič, A. (2003). *Osnove športnega plezanja*. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Inštitut za šport.
- Czuba, M., Kantyaka, J., Kurek, P., Magiera, A., Maszczyk, A. in Rocznik, R. (2013). The Structure of Performance of a Sport Rock Climber. *Journal of Human Kinetics* 36(11), 107–117. Pridobljeno iz <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=6&sid=fcf532d3-af7c-408a-8bc0-0f95ba735216%40sessionmgr114&hid=109>
- Česen, T., Klofutar, J. (2006). *Trening športnih plezalcev*. Gradivo za inštruktorje športnega plezanja. PZS, Komisija za športno plezanje.
- Enoka, R. M. (2002). *Neuromechanics of human movement*. Champaign IL: Human Kinetics.
- Geržević, M. (2011). *Utrujanje med različno intenzivnim 6-minutnim veslanjem* (Doktorska disertacija). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana.
- Goddard, D., Neumann, U. (1999). *Učinkovito skalno plezanje*. Jesenice: Elecma d.o.o.
- Grant, S., Shields, C., Fitzpatrick, V., Ming Loh, W., Whitaker, A., Watt, I. and Kay, J.W. (2003). Climbing-specific finger endurance: a comparative study of intermediate rock climbers, rowers and aerobically trained individuals. *Journal of Sports Sciences*, 2003(21), 621–630. Pridobljeno iz <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=70d75811-9531-4c85-91bb-3cd87f159c14%40sessionmgr4005&vid=6&hid=4214>
- Heyward, V.H., McMinn, S.M., Mermier, C.M. in Robergs, R.A. (1997). Energy expenditure and physiological responses during indoor rock climbing. *British Journal of Sports Medicine*, 1997(31), 224–228. Pridobljeno iz <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=2&sid=8baf4f95-510e-4b6e-85a7-69d81da6208b%40sessionmgr4004&hid=4109>

- Horvatin-Fučkar, M., Medved, V. in Kasović, M. (2007). Elektromiografska aktivnost mišične mase nogu pri izvođenju osnovnog koraka na različitim visinama step klupice. *Hrvat. Športskomed. Vjesn.*, 2007(22), 16–24. Pridobljeno iz <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=e8b6be7d-41ab-40f4-a617-78b89326301c%40sessionmgr4001&hid=4112>
- Magiera, A., Ryguła, I. (2007). Biometric Model and Classification Functions in Sport Climbing. *J of Human Kinetics*, 2007(18), 87–98.
- Quaine, F., Vigouroux, L. in Martin, L. (2003). Finger Flexors Fatigue in Trained Rock Climbers and Untrained Sedentary Subjects. *International Journal Sports Med*, 2003(24), 424–427.
- Quaine, F., Vigouroux, L. (2004). Fingertip force and electromyography of finger flexor muscles during a prolonged intermittent exercise in elite climbers and sedentary individuals. *Journal of Sports Sciences*, 24(2), 181–186. Pridobljeno iz <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=b0df825d-a041-4ec7-af72-2e37579719db%40sessionmgr115&vid=5&hid=123>
- Štirn, I. (2009). *Vrednotenje mišičnega utrujanja z analizo površinskega elektromiograma* (Doktorska disertacija). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana.
- Tomažin, K. (2001). *Spremembe površinskega EMG signala pod vplivom periferne utrujenosti* (Doktorska disertacija). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana.
- Uлага, M. (1999). *Povezanost morfoloških, motoričnih in psiholoških dimenzij z uspešnostjo v športnem plezanju* (Magistrska naloga). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport. Pridobljeno iz http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Mag/Ulaga_Magisterij.pdf
- Watts, P. B., Jensen, R. L., Agena, S. M., Majchrzak, J. A., Schellinger, R. A. in Wubbels, C. S. (2008). Changes in emg and finger force with repeated hangs from the hands in rock climbers. *International Journal of Exercise Science*, 1(2), 62–70. Pridobljeno iz <http://eds.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=d85f8acd-eab2-4ed4-8369-56238dfc06c3%40sessionmgr4005&vid=9&hid=4108>
- Watts, P. B., Jensen, R.L., Gannon, E., Kobeinia, R., Maynard, J. in Sansom, J. (2008). Forearm emg during rock climbing differs from Emg during handgrip dynamometry. *International Journal of Exercise Science*, 1(1), 4–13. Pridobljeno iz <http://eds.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?sid=d85f8acd-eab2-4ed4-8369-56238dfc06c3%40sessionmgr4005&vid=5&hid=4108>
- Zadravec, M. (2006). *Vpliv vadbe aktivacije na moč upogibalk prstov pri mlajših rekreativnih plezalcih* (Diplomsko delo). Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Ljubljana. Pridobljeno iz <http://www.fsp.uni-lj.si/COBISS/Diplome/Diploma22047960ZadravecMarko.pdf>