

UNIVERZA V LJUBLJANI  
FAKULTETA ZA ŠPORT  
Kineziologija

**PRIMERJAVA ELEKTRIČNE AKTIVNOSTI MIŠIC GOLENI  
PRI HOJI PO RAVNI PODLAGI IN PRI HOJI PREČNO PO  
NAKLONINI**

DIPLOMSKO DELO

MENTOR:  
doc. dr. Aleš Dolenc

RECEZENT:  
prof. dr. Vojko Strojnik

AVTOR DELA:

Anže Zdolšek  
22110114

Ljubljana, 2015

Na začetku bi se rad zahvalil mentorju, doc. dr. Alešu Dolencu, ki mi je pomagal ter me usmerjal pri raziskavi in izdelavi diplomske naloge.

Hvala tudi recezentu prof. dr. Vojku Strojniku in drugim profesorjem, ki so delili svoje znanje.

Hvala Roku Bavdku za vso pomoč pri raziskavi in meritvah.

Iskreno se zahvaljujem svoji družini, staršema in sestri za podporo pri študiju na Fakulteti za šport.

Hvala tudi vsem udeležencem meritev.

**Ključne besede: aktivacija mišic, mišice goleni, navadna hoja, hoja po naklonini, evertorji**

## **PRIMERJAVA ELEKTRIČNE AKTIVNOSTI MIŠIC GOLENI PRI HOJI PO RAVNI PODLAGI IN PRI HOJI PREČNO PO NAKLONINI**

**Anže Zdolšek**

### **IZVLEČEK**

Hoja je najpogostejša lokomocija in je prisotna vsak dan v človekovem življenju. Hoja ne poteka samo po ravnih površinah in tako se po različnih podlagah spremenijo značilnosti hoje. Spremeni se tako biomehanika hoje, kot tudi aktivacija mišic pri različni hoji. Pri hojah po neravnih površinah je ponavadi večja aktivacija mišic evertorjev, ki so odgovorne tudi za vzpostavljanje in ohranjanje ravnotežja med hojo. Namen naše raziskave je bil ugotoviti razliko aktivacije šestih mišic goleni (m. tibialis anterior - TA, m. peroneus longus - PL, m. peroneus brevis - PB, m. soleus - SO, m. gastrocnemius medialis - GM, m. gastrocnemius lateralis - GL) med navadno bosonogo hojo - Hoja, med bosonogo hojo po naklonini s 30° inverzije – Hoja A in med bosonogo hojo po naklonini s 30° inverzije, z navodilom, da so merjenci držali lateralni del stopala v zraku – Hoja A2. Zanimale so nas razlike v aktivaciji mišic goleni med kombinacijami vseh treh hoj, spremljali pa smo tudi osnovne biomehانيčne lastnosti posameznih hoj (dolžina koraka, kontaktni čas in hitrost hoje). V raziskavi je sodelovalo 18 merjencev (10 moških, 8 žensk), s povprečno starostjo 26,8±5,6 let, telesno višino 177,2±8,2 cm in telesno težo 73±13,1 kg. Po 6- minutnem ogrevanju smo izmerili maksimalne hotene izometrične kontrakcije gibov plantarne fleksije, dorzalne fleksije, everzije, inverzije, zunanje rotacije in notranje rotacije stopala v naključnem vrstnem redu, ki smo jih uporabili za normalizacijo EMG signala. Po izometričnih meritvah, smo izvedli meritve vseh treh hoj, prav tako v naključnem vrstnem redu in merili aktivacijo mišic goleni v fazi predaktivacije (100 ms pred dotikom s peto) in v fazi kontakta (100 ms po dotiku s peto). Raziskava je pokazala da se pri hojah po naklonini spremeni tako biomehanika hoje, kot aktivacija mišic goleni. Statistične razlike v dolžini koraka so bile ugotovljene med kombinacijami vseh hoj (najdaljša je bila pri Hoji, najkrajša pa pri Hoji A2), medtem ko je bila razlika pri hitrosti opažena samo med Hojo in Hojo A2, kjer je bila pri slednji hitrost hoje nižja. V fazi predaktivacije ni bilo statističnih razlik pri TA, SO in GL. Pri PL so bile v fazi predaktivacije ugotovljene razlike pri kombinacijah vseh treh hoj (najmanjša aktivacija PL je bila pri Hoji, največja pa pri Hoji A2), pri PB so bile razlike samo med Hojo in obema hojama po naklonini (večja aktivacija PB pri Hoji A in Hoji A2), pri GM so bile presenetljivo opažene razlike med Hojo in Hojo A (večja aktivacija GM pri Hoji A). V fazi kontakta ni bilo statističnih razlik pri SO, GM in GL. Pri TA so bile v fazi kontakta ugotovljene razlike samo med Hojo in Hojo A2 (Pri Hoji A2 je bila večja aktivacija TA), pri PL so bile razlike med Hojo in Hojo A ter Hojo in Hojo A2 (Večja aktivacija PL pri Hoji A in Hoji A2), pri PB so bile opažene enake razlike kot pri PL, torej med navadno hojo in hojama po naklonini (večja aktivacija PB pri hojama po naklonini). Ugotovilo smo, da so pri hojah po naklonini veliko bolj aktivne mišice evertorjev stopala, predvsem v fazi kontakta, zato je ta vrsta hoje še posebej primerna za ljudi z nestabilnimi gležnji ali šibkimi mišicami evertorjev.

**Key words: muscle activation, lower-limb muscles, normal walking, walking on side incline surface, evertors**

## **COMPARISON OF ELECTRIC ACTIVITY OF LOWER LEG MUSCLES DURING WALKING ON FLAT SURFACE AND WALKING ON SIDE INCLINE SURFACE**

**Anže Zdolšek**

### **ABSTRACT**

Walking is most often used locomotion of people and is executed on a daily basis. Walking on different and non smooth terrain affects fundamental characteristics of walking. Changes are indicated in biomechanical characteristics and in muscle activity. Ankle evertors are usually, at walking on uneven terrains more active, because they are responsible for maintaining and establishing balance during walking. The purpose of our study was to determine differences in activation of six lower limb muscles (m. tibialis anterior - TA, m. peroneus longus - PL, m. peroneus brevis - PB, m. soleus - SO, m. gastrocnemius medialis - GM and m. gastrocnemius lateralis - GL) between barefoot walking on flat surface - Hoja, barefoot walking on the side incline surface with 30° of inversion - Hoja A and between barefoot walking on the side incline surface with 30° of inversion, with added instruction, that subject kept his lateral side of foot in the air - Hoja A2. We examined differences between muscle activation of lower limb muscles between combination of all three types of walking. We also measured basic biomechanical characteristics. In this study participated 18 subjects (10 men, 8 women), with average age 26,8±5,6 years, average body height 177,2±8,2 cm and average body weight 73±13,1 kg. After warm up protocol we measured maximal voluntary isometric contraction of plantar flexion, dorsal flexion, adduction, abduction, eversion and inversion of the foot, that we used for normalization of EMG signal. After all isometric measures, we made measures of all three types of walking in random order. We measured lower limb muscle activity in 100 ms before heel contact and in contact phase. The study showed, that walking on the side incline surface affects fundamental biomechanical characteristics and lower limb muscle activity. We found statistical differences in step length between combination of all three types of walking (longest step length was during Hoja, shortest step length was during Hoja A2). Statistical difference of speed was noticed only between Hoja and Hoja A2 (walking speed was faster during Hoja). At 100 ms before heel contact there weren't any statistical differences in combination of all three types of walking in muscles TA, SO and GL. PL activation was statistically significant in this phase between combination of all three types of walking (lowest PL activity during Hoja, highest PL activity during Hoja A2). PB showed statistical differences between Hoja and both types of walking on the side incline surface (higher activation of PB during Hoja A and Hoja A2). Surprisingly, there were observed statistical differences in GM between Hoja and Hoja A (highest muscle activity GM during Hoja A). In contact phase, there was no significant differences in activation of SO, GM and GL. TA was statistically significant between Hoja and Hoja A2 (higher TA activity during Hoja A2) and PL was statistically significant between flat surface walking and both types of walking on the side incline surface (higher PL activity during Hoja A and Hoja A2), muscle activity in PB was significant to PL in contact phase. During both types of walking on the side incline surface, muscle activity in foot evertors is higher than walking on a flat surface, so we would recommend this type of walking to all people who have weak evertor muscles or unstable ankle.

## Kazalo vsebine

1. UVOD .....	7
1.1 ANATOMIJA GOLENI IN STOPALA .....	7
1.1.1 KOSTI GOLENI IN STOPALA .....	7
1.1.2 MIŠICE GOLENI .....	9
1.1.3 MIŠICE STOPALA .....	11
1.1.4 SKLEPI IN LIGAMENTI STOPALA .....	11
1.1.5 GIBI STOPALA .....	13
1.2 HOJA .....	15
1.2.1 BIOMEHANIKA HOJE .....	16
1.2.2 FAZA OPORE .....	17
1.2.3 FAZA ZAMAHA .....	18
1.2.4 SKLEPI PRI HOJI .....	19
1.2.5 HOJA PO RAZLIČNIH PODLAGAH .....	20
1.2.6 NAMEN NALOGE .....	21
1.3 CILJI IN HIPOTEZE .....	22
2. METODE .....	23
2.1 PREIZKUŠANCI .....	23
2.2 PRIPOMOČKI .....	23
2.3 POSTOPEK .....	27
3. REZULTATI IN RAZPRAVA .....	32
3.1 REZULTATI .....	32
3.1.1 BIOMEHANIKA HOJE .....	32
3.1.2 AKTIVACIJA MIŠIC .....	33
3.2 RAZPRAVA .....	39
3.2.1 PRIMERJAVA HOJE PO RAZLIČNIH POVRŠINAH .....	39
4. SKLEP .....	41
5. VIRI .....	42

## Kazalo slik

Slika 1: Kostni goleni: Tibia - golenica in fibula - mečnica.....	8
Slika 2: Kostni in sklepi stopala .....	9
Slika 3: Mišice goleni.....	10
Slika 4: Mišice stopala .....	11
Slika 5: Notranji in zunanji lateralni ligament zgornjega skočnega sklepa.....	12
Slika 6: Sklepi stopala .....	13
Slika 7: Plantarna in dorzalna fleksija .....	13
Slika 8: Pronacija in supinacija .....	14
Slika 9: Abdukcija in addukcija stopala .....	14
Slika 10: Everzija in inverzija stopala .....	14
Slika 11: Fazi koraka - faza opore in faza zamaha.....	16
Slika 12: Faza zamaha s tremi podfazami .....	18
Slika 13: Zgornji skočni in tranzverzni tarzalni sklep.....	19
Slika 14: Upornica za meritve izometričnih gibov stopala (inverzija, everzija, zunanja rotacija in notranja rotacija) .....	23
Slika 15: Prikaz opor za nastavitve stopala v prvi upornici .....	24
Slika 16: Upornica za izometrične meritve stopala (plantarna in dorzalna fleksija).....	25
Slika 17: Površina z naklonom 30° inverzije .....	26
Slika 18: Ogrevanje merjenca s stopanjem na skrinjo.....	27
Slika 19: Izvajanje maksimalne hotene izometrične kontrakcije (everzija, inverzija, notranja in zunanja rotacija stopala) .....	28
Slika 20: Izvajanje maksimalne hotene izometrične kontrakcije (plantarna in dorzalna fleksije stopala) .....	29
Slika 21: Prikaz dveh vrst hoj po naklonini.....	30
Slika 22: Hoja po ravni podlagi - Hoja.....	30
Slika 23: Aktivacija mišice tibialis anterior v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.. .....	33
Slika 24: Aktivacija mišice peroneus longus v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.....	34
Slika 25: Aktivacija mišice peroneus brevis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.....	35
Slika 26: Aktivacija mišice soleus v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.....	36
Slika 27: Aktivacija mišice gastrocnemius medialis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.....	37
Slika 28: Aktivacija mišice gastrocnemius lateralis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah.....	38

## Kazalo tabel

Tabela 1: Povprečna dolžina dvokoraka (dveh zaporednih korakov), povprečen čas kontakta stopala s podlago in povprečna hitrost hoje s standardnimi odkloni vseh merjencev pri vseh treh hojah. .... 32

# 1. UVOD

## 1.1 ANATOMIJA GOLENI IN STOPALA

Ker nas v raziskovalnem diplomskem delu, zanimajo mišice goleni in njihova aktivnost pri različnih tipih hoje je smiselno predstaviti anatomijo goleni in stopala. Gleženj je za razliko od nekaterih drugih sklepov, kompleksen sklep, ki je v določenih trenutkih stabilen v drugih pa mobilni. Statičen je v stoječem položaju, ko stopalo prevzema celotno težo in jo prenaša na podlago. Dinamičen pa med hojo, tekom, poskoki oz. med gibanji kjer stopalo dviga telo od podlage, se prilagaja podlagi ter ublaži in amortizira udarce s podlago. Tako deluje stopalo kot elastični regulator hoje. Glavni funkciji stopala sta vzravnana/bipedalna hoja in prenos teže, kar omogoča stopalo s svojimi tremi stopalnimi loki. Stopalo ima 26 kosti, 2 fabeli (tibia in fibula), 33 sklepov, 19 mišic in 107 ligamentov (Pungartnik, 2011 in Moj Axis, 2015).

### 1.1.1 KOSTI GOLENI IN STOPALA

Kosti, ki tvorita skelet goleni sta fibula (mečnica) in tibia (golenica). Mečnica je na zunanji strani goleni in je tanka kost, trikotne oblike in nekoliko zasukana preko svoje vzdolžne osti, tako da njeni robovi niso povsem ravni. Je cevasta kost, ki ima telo in dva okrajka. Proksimalni okrajek je glava (caput fibulae), ki ima na medialni strani sklepno ploskev za stik z golenico. Distalni okrajek tvori zunanji gleženj, ki ima na medialni strani sklepni ploskvi za golenico in skočnico. Takšna oblika daje kosti določeno prožnost, tako da se lahko njena ukrivljenost nekoliko spreminja (Calais-Germain, 2007; Štiblar Martinčič, Cvetko, Cör, Marš in Finderle, 2014).

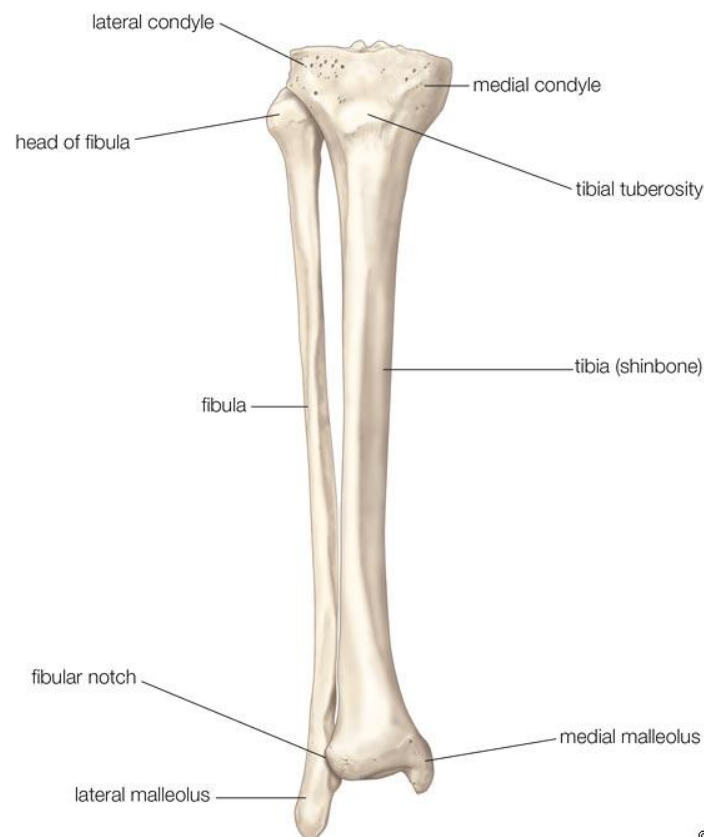
Golenica je na zunanji strani goleni in je v prerezu njeno deblo trikotne oblike, s tremi ploskvami in tremi robovi. Je močna cevasta kost in ima telo ali diafizo, ki je na prerezu trikotne oblike, ter proksimalni in distalni okrajek. Proksimalni okrajek je zadebeljen v medialni in lateralni kondil z ravnima gladčinama za stik s kondiloma stegenice. Pod lateralnim kondilom je sklepna ploskev za glavico mečnice. Spredaj je grčavina golenice, ki je narastišče štiriglave stegenske mišice. Distalni okrajek je tanjši kot proksimalen. Na notranji strani je notranji gleženj (malleolus medialis). Lateralno je mečnična zarez za stik z distalnim okrajkom mečnice (Calais-Germain, 2007).

Kosti sta po vsej dolžini povezani z medkostno membrano, ki poteka z notranje površine mečnice na zunanji rob golenice.

Obe kosti sta med seboj gibljivi v dveh točkah:

- Zgoraj je stik med njima diartroza, ki povezuje ovalno sklepno površino na glavi mečnice in skladno sklepno površino v zadajšem delu previsne zgornje ekstremitete golenice

- Spodaj sta kosti povezani s psevdosklepom: v stiku sta dve kostni površini namesto sklepne hrustanca je med njima vezivno tkivo (Calais-Germain, 2007; Štiblar Martinčič idr., 2014)



© 2007 Encyclopædia Britannica, Inc.

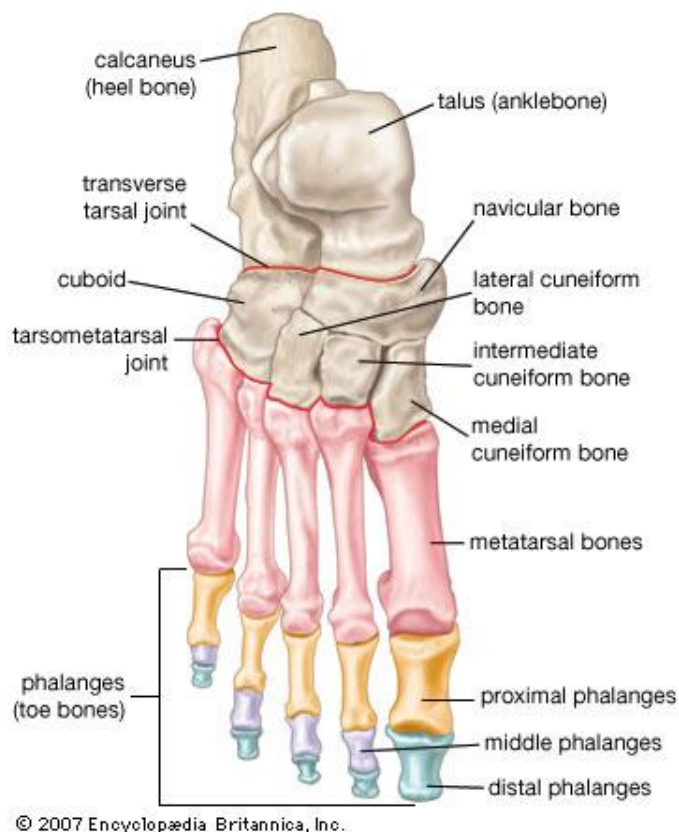
**Slika 1. Kostni goleni: Tibia - golenica in fibula - mečnica (Encyclopædia Britannica, 2007)**

Zgornji del stopala – TARSUS (nartnice) ima 7 kosti, ki so razporejene v medialno in lateralno skupino. Največji sta skočnica (talus) in petnica (calcaneus), pred njima je še pet manjših kosti: trije klini, čolniček in kocka. Skočnica ima glavo, vrat in telo. Glava ima spredaj sklepno ploskev za stik s čolničem. Telo je na zgornji strani valjaste oblike. Ima sklepne ploskve za golenico, mečnico in petnico in je zagozdno med oba gležnja. Čolniček je med skočnico in klini. Zadaj ima sklepno ploskev za skočnico, spredaj pa za tri kline. Klini so med čolničem in prvimi tremi stopalnicami. Ločimo medialni, srednji in lateralni klin. Petnica je nepravilne oblike in ima zgoraj tri sklepne ploskve za skočnico. Sprednja in srednja sta na medialnem odrastku, zadnja pa je na zgornji ploskvi telesa. Grča petnice je edini del petnice, ki se pri hoji dotika tal. Srednji del stopala – METATARSUS (stopalnice) ima 5 kosti. To so cevaste kosti, imajo telo (carpus) in dva okrajka – proksimalni okrajek ali bazo (basis) in distalni okrajek ali glavo (caput). Najmočnejša stopalnica je prva ali palčeva, ker nosi polovico celotne obremenitve stopalnic. Prstnice – DIGITI so tudi cevaste kosti. Palec ima dve, vsi drugi prsti pa po tri, torej jih je 14 (Calais-Germain, 2007; Štiblar Martinčič idr., 2014).

Kosti noge tvorijo vzdolžni obok, ki se dotika tal samo s petnico in glavicami stopalnic. Lateralni rob stopala se dotika tal, medtem ko je medialni dvignjen. Noga je obokana tudi prečno. Obokanost stopala je pomembna za hojo, vzdržujejo jo vezi in mišice (Calais-



Germain, 2007; Štiblar Martinčič idr., 2014).



**Slika 2. Kosti in sklepi stopala (Encyclopaedia Britannica, 2007)**

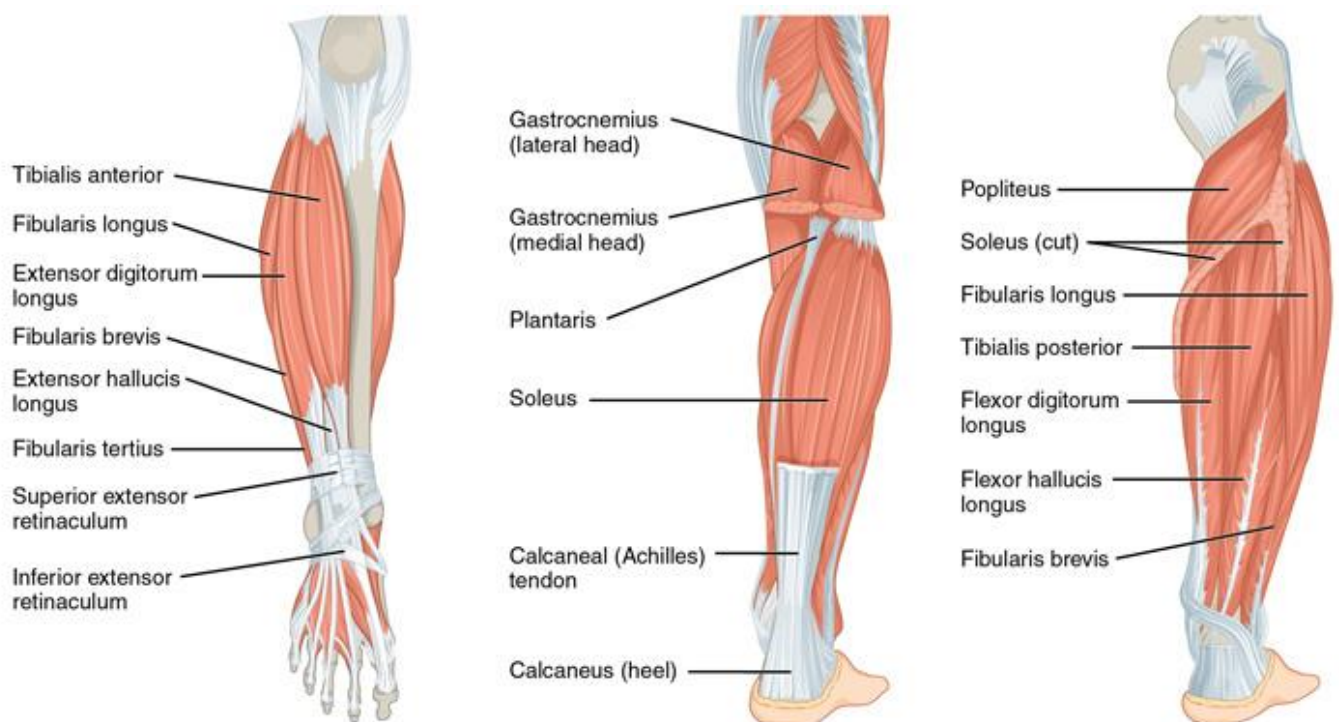
### 1.1.2 MIŠICE GOLENI

Mišice goleni delimo v tri skupine: sprednjo, stransko in zadajšnjo.

Najpomembnejša mišica, ki se nahaja v sprednji golenski skupini je **sprednja golenska mišica** (m. tibialis anterior), ki izvira z lateralne ploskve golenice in medkostne opne ter se narašča na prvo klinasto kost in na bazo prve stopalnice. Funkcija m. tibialis anterior je dorzalno upogibanje stopala (med vsemi mišicami, ki izvajajo ta gib, je najmočnejša) in obračanje stopala navznoter (supiniranje). V to skupino sodita tudi dolga iztezalka prstov (m. extensor digitorum longus) in dolga palčna iztezalka (m. extensor hallucis longus). Obe mišica sodelujeta pri dorzalni fleksiji gležnja.

V stranski golenski skupini sta dolga in kratka mečnična mišica. **Dolga mečnična mišica** (m. peroneus longus) izvira na mečnici in njena kita poteka za lateralnim gležnjem na stopalo, ga križa in se pripšenja na bazo 1. in 2. stopalnice ter na medialni klin. Upogiba stopalo (plantarna fleksija), ga odmika (abducira) in obrača navzven (pronira). **Kratka mečnična mišica** (m. peroneus brevis) izvira z zunanje ploskve mečnice in se pripenja na bazo 5. stopalnice. Stopalo odmika (abducira) in ga obrača navzven (pronira) (Štiblar Martinčič idr., 2014). Obe mečnični mišici stabilizirata nogo in preprečujeta izgubo ravnotežja pri nagibanju noge navzven (še posebej pri stoji na zunanjem robu noge). To je še posebno očitno pri stoji na prstih. Prav tako mišici sodelujeta pri stabilizaciji gležnja (Calais-Germain, 2007).

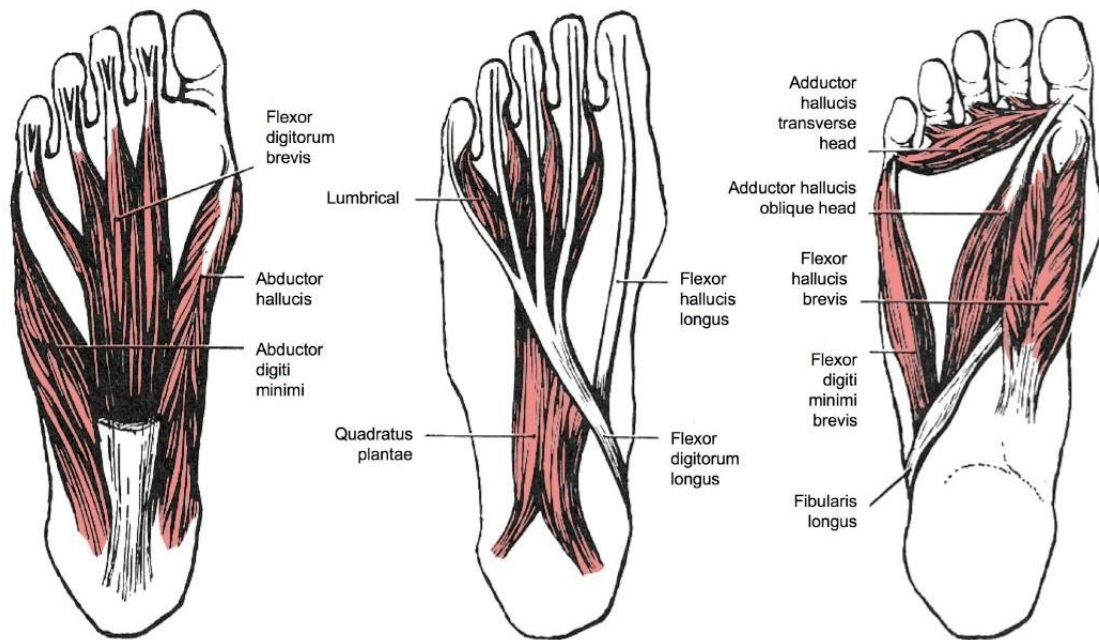
Glavna mišica v zadajšnji skupini je **troglava mečna mišica** (m. triceps surae), ki jo sestavljata dve mišici: **dvoglava mečna mišica** (m. gastrocnemius) in **velika mečna mišica** (m. soleus). M. gastrocnemius ima lateralno glavo (caput laterale), ki izvira z lateralnega epikondila in zadajšnje ploskve stegenice in sklepne ovojnice kolena ter medialno glavo (caput mediale), ki izvira iz medialnega epikondila in zadajšnje ploskve stegenice in sklepne ovojnice kolena. Velika mečna mišica izvira z glave mečnice in zadajšnje ploskve golenice. Obe mišici se združita v skupno močno kito – petna (Ahilova) kita, s katero se pripneta na grčo petnice - tuber calcanei (Štiblar Martinčič idr., 2014). Troglava mečna mišica upogiba (plantarno flektira) stopalo, s tendenco noge k inverziji (zaradi oblike sklepnih ploskev spodnjega skočnega sklepa). Plantarna fleksija noge je združena z addukcijo in supinacijo) in posredno, kita mišice povleče tudi skočnico v plantarno fleksijo. Pri stoji na prstih je funkcija troglave mečne mišice nujna, vendar s svojim delovanjem le na zadajšni del ni zadostna. Če koleno iztegnemo ali je pokrčeno pod velikom kotom, je mišica napeta in mnogo bolj učinkovita – npr. to je položaj na začetku hoje ali ob odzivu pri startu teka (Calais-Germain, 2007). Poleg troglave mečne mišice je tudi pomembna **zadajšnja golenična mišica** (m. tibialis posterior), ki izvira z zgornjega dela zadajšnje ploskve golenice. Njena funkcija je plantarno upogibanje, obračanje navznoter (supinacija) in primikanje (addukcija) stopala. V to skupino sodijo še podplatna mišica (m. plantaris) – ojačuje funkcijo troglave mečne mišice, podkolenska mišica (m. popliteus) – obrača golen navzven, dolga upogibalka prstov (m. fleksor digitorum longus) – upogiba stopalo in prste ter dolga upogibalka palca (m. fleksor hallucis longus) – upogiba stopalo in prste (Calais-Germain, 2007; Štiblar Martinčič idr., 2014)



**Slika 3. Mišice goleni (Travel strong, 2013)**

### 1.1.3 MIŠICE STOPALA

Mišic stopala je veliko in jih ločimo na plantarno in dorzalno stran. Plantarno stran delimo še v palčno (kratka palčna odmikalka, kratka palčna primikalka, kratka upogibalka palca), mezinčno (kratka odmikalka mezinca, kratka upogibalka mezinca, mezinčna protivnica) in vmesno skupino (kratka upogibalka prstov, kvadratna podplatna mišica, glistaste mišice, podplatne medkostne mišice). Na dorzalni strani je kratka iztezalka prstov. Te mišice so razporejene po stopalu v večih plasteh (Štiblar Martinčič idr., 2014)



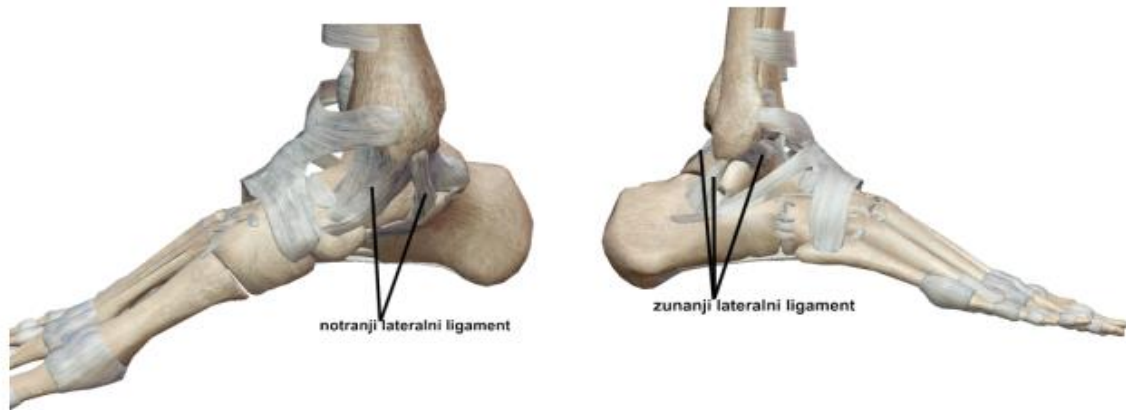
**Slika 4. Mišice stopala (Cross Fit Fly, 2015)**

### 1.1.4 SKLEPI IN LIGAMENTI STOPALA

Kosti so med seboj povezane s sklepi, ki omogočajo stopalu njegovo gibljivost. Sklepi v stopalu se delijo na zgornji skočni sklep (golenica – mečnica – skočnica), transverzalno tarzalni sklep, spodnji skočni sklep (skočnica – petnica), kunenavikularni sklep, interkuneiformni sklep, tarsometatarzalne sklepe, intermetatarzalne sklepe, metatarzofalangealne sklepe in interfalangealne sklepe (Moj Axis, 2014).

**Zgornji skočni sklep** ima na sprednji strani sklepne površine v stilu angleškega ključa, ki ga tvorita golenica in mečnica in se natančno prilegajo telesu skočnice. Sklep ima valjasto obliko, sklepne površine pa prekriva sklepni hrustanec. V tem sklepu je gibanje najpomembnejše za funkcijo noge. Zgornji skočni sklep obdaja sklepna ovojnica, ki je pritrjena ob sklepne ploskve golenice, mečnice in skočnice. S strani jo krepijo lateralni ligamenti, ki so razporejeni simetrično. Položaji gležnja določajo napetost ligamentov. Med dorzalno fleksijo sta zadnja snopa lateralnih ligamentov napeta, sprednja pa ohlapna. Med

plantarno fleksijo pa je ravno obratno, tako da sta sprednja snopa ligamentov skočnega sklepa napeta. Pri zvinu gležnja je največkrat poškodovan ta ligament (Calais-Germain, 2007).

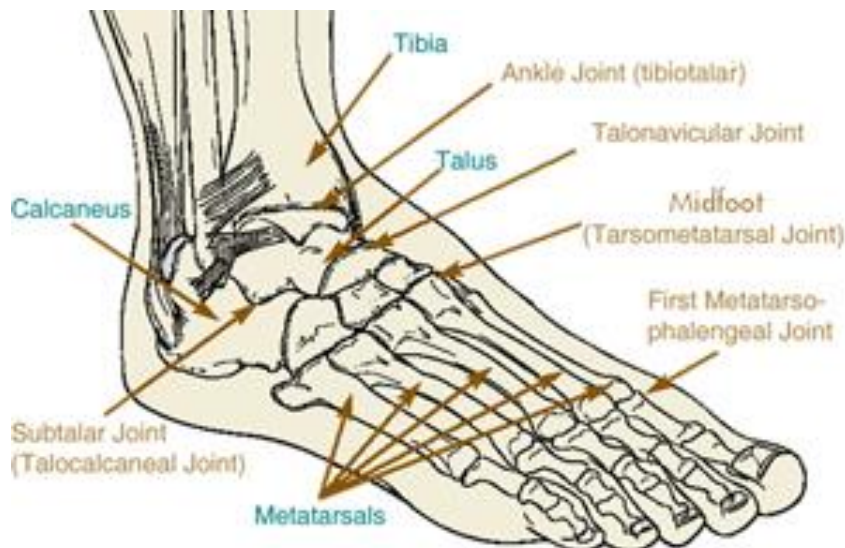


**Slika 5. Notranji in zunanji lateralni ligament zgornjega skočnega sklepa (Moj Axis, 2014)**

**Spodnji skočni sklep** je subtalarni sklep med skočnico in petnico. Za razliko od zgornjega skočnega sklepa, so v njem možni gibi v številnih smereh. Amplitude gibov so majhne. Če gledamo v frontalni ravnini (opazujemo petnico, ki se nagiba na notranjo ali zunanjo stran), sta giba supinacija in pronacija. Če gledamo v sagitalni ravnini (opazujemo petnico, ki se premika v smeri od spredaj navzad) sta giba plantarna in dorzalna fleksija. Če združimo vse tri ravnine dobimo giba inverzijo in everzijo. Spodnji skočni sklep sestavljajo dve sklepni ovojnici (zadaj in spredaj), ki povezujeta spodnji skočni sklep z tansverzalnim tarzalnim sklepom. Spodnji skočni sklep sestavljajo interosalni talokalkanearni ligament, posteriorni in anteriorni ligament (Calais-Germain, 2007).

**Chopartov sklep ali transverzalni tarzalni sklep** sestavljajo sklepne površine združene med zadajšnjim in sprednjim delom narta. Gibanja v tem sklepu so ista kot pri spodnjem skočnem sklepu, prevladujeta pa abdukcija in addukcija. Transverzalni tarzalni sklep je sestavljen iz petih ligamentov (Calais-Germain, 2007).

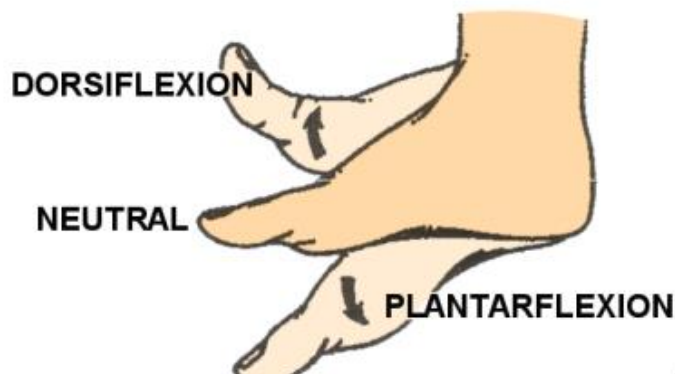
**Tarzometatarzalni sklep** imenujemo sklepne površine sprednjih nartnih kosti in zadajšnje sklepne površine stopalnic. V teh sklepih je možno le minimalno gibanje, prevladujeta pa plantarna in dorzalna fleksija. **Metatarzofalangealni sklep** je povezan preko glavice stopalnice in baze proksimalne falange v vsakem od petih kostnih stebričkov noge. V sklepu so možni gibi v vseh treh ravninah (plantarna in dorzalna fleksija, abdukcija, addukcija, cirkumdukcija in aksialna rotacija z omejeno gibljivostjo). Amplituda dorzalne fleksije je večja kot amplituda plantarne fleksije, ker je površina sklepnega hrustanca na dorzalni strani večja. **Interfalangealni sklepi** so tečajasti sklepi in se delijo na proksimalni in distalni interfalangealni sklep. V teh sklepih sta možni plantarna in dorzalna fleksija (Calais-Germain, 2007).



**Slika 6. Sklepi stopala (Family Podiatry, 2015)**

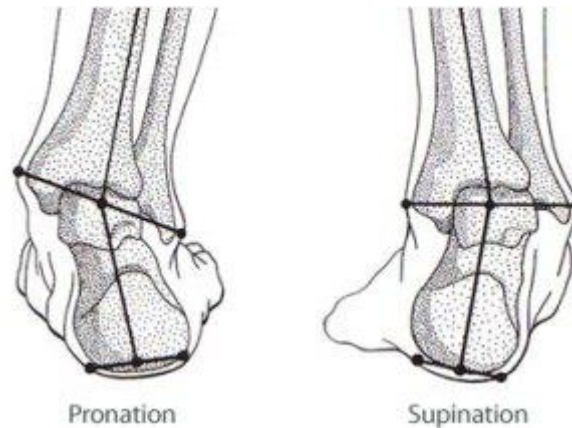
### 1.1.5 GIBI STOPALA

Giba stopala s sagitalne ravnine sta plantarna fleksija (ekstenzija) in dorzalna fleksija (fleksija). Plantarna fleksija predstavlja gib proti podplatu, dorzalna fleksija pa gib proti hrbtišču noge. Amplituda dorzalne fleksije je večja, če je koleno pokrčeno, zaradi večje napetosti dvoglave mečne mišice - m. triceps surae (Calais-Germain, 2007).



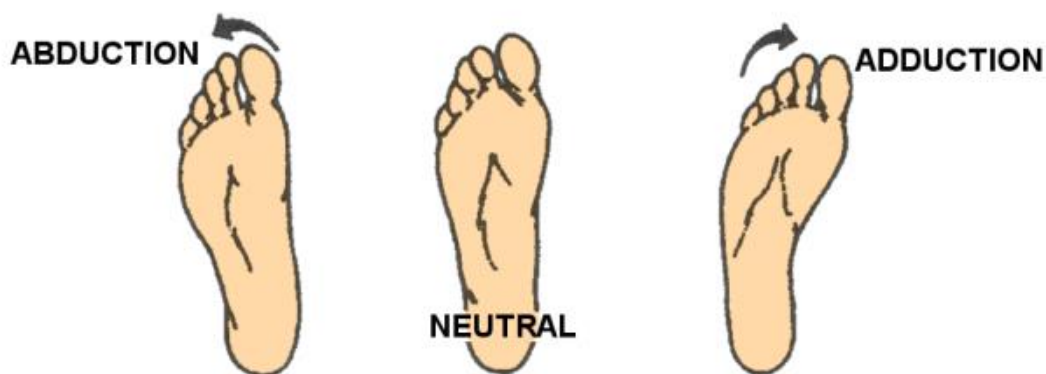
**Slika 7. Plantarna in dorzalna fleksija (Elearnuk, 2015)**

Supinacija (gib, ki usmeri podplat navznoter – dvigne se notranji rob stopala) – kombinacija plantarne fleksije in inverzije ter pronacija (gib, ki usmeri podplat navzven (dvigne zunanji rob stopala) – kombinacija dorzalne fleksije in everzije sta giba stopala iz frontalne ravnine (Calais-Germain, 2007).



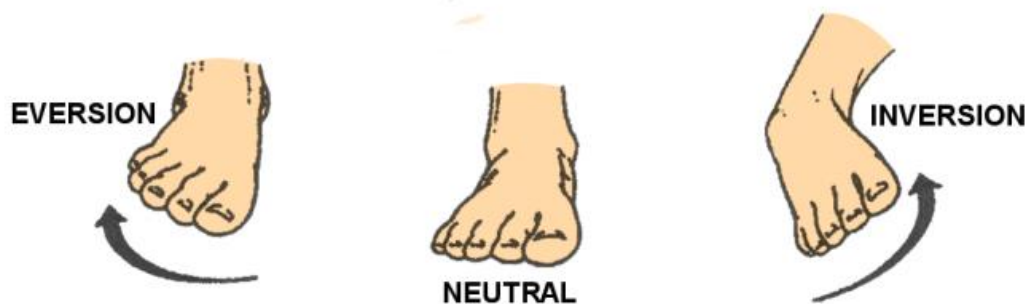
**Slika 8. Pronacija in supinacija (The sneaker project, 2012)**

V horizontalni ravnini, v stoječem položaju poznamo abdukcijo ali primik stopala (gib, ki premakne sprednji del noge navzven) in addukcijo ali odmik stopala (gib, ki premakne sprednji del noge proti medialni ravnini telesa). Te gibe lahko hitro zamenjamo z rotacijo v kolku ali kolenu (Calais-Germain, 2007).



**Slika 9. Abdukcija in addukcija stopala (Elearnuk, 2015)**

Giba everzija in inverzija potekata v čelni ravnini. Inverzija je gibanje sestavljeno iz notranje rotacije stopala in dorzalne fleksije (notranji rob stopala pomaknemo navzgor), inverzijo pa sestavljata giba zunanja rotacija stopala in dorzalna fleksija (notranji rob stopala pomaknemo navzdol) (Štiblar Martinčič, 2011).



**Slika 10. Everzija in inverzija stopala (Elearnuk, 2015)**

## 1.2 HOJA

Definicij hoje je zelo veliko, nekaj izmed njih je zapisanih spodaj:

- Premikanje tako, da postavimo eno nogo pred drugo na ta način, da se naslednja noga dotakne podlage preden jo prejšnja zapusti (Cambridge Dictionaries Online, 2015).
- Počasno premikanje s stopali; premikanje s počasnimi ponavljajočimi koraki (The King James Bible Page, 2015)
- Ritmična, dinamična in aerobna aktivnost velikih skeletnih mišic (Morris in Hardman, 1997)
- Lokomocija, ki vključuje celotno telo (De Koster, O'Reilly, Jackson in Buxton 2015)

Od vseh gibanj človeka, je hoja najbolj preučeno in objasnjeno. Hoja je elementarno ter tudi najpogosteje uporabljeno gibanje in je prisotno vsak dan v človekovem življenju. Sestavljena je iz cikličnih dogodkov, ki so izzvani s strani generatorja centralnih vzorcev. Ta se nahaja v spinalnem jedru. Človeška hoja je pogosto uporabljena za doseganje določenega cilja in je ponavadi omejena z različnimi vidnimi in prostorskimi ovirami, zato mora človek prilagoditi gibanje telesa okolici (Courtine in Schieppati, 2003).

Človekova hoja se je skozi evolucijo razvila iz štirinožne hoje v bipedalno (dvonožno), kar pomeni da imata glavno vlogo pri hoji spodnji okončini. Evolucija je spremenila težišče telesa in s tem povzročila prilagoditev in delovanje stopal. Zaradi bipedalne hoje morata nogi opravljati nalogi prenašanja celotne telesne teže in prilagajanja podlagi ter s tem posledično izvajanje kompleksih dinamičnih korakov (Calais-Germain, 2007).

Človek je naravnan k doseganju različnih ciljev pri hoji. Glavni cilji hoje so (Foot Education, 2015):

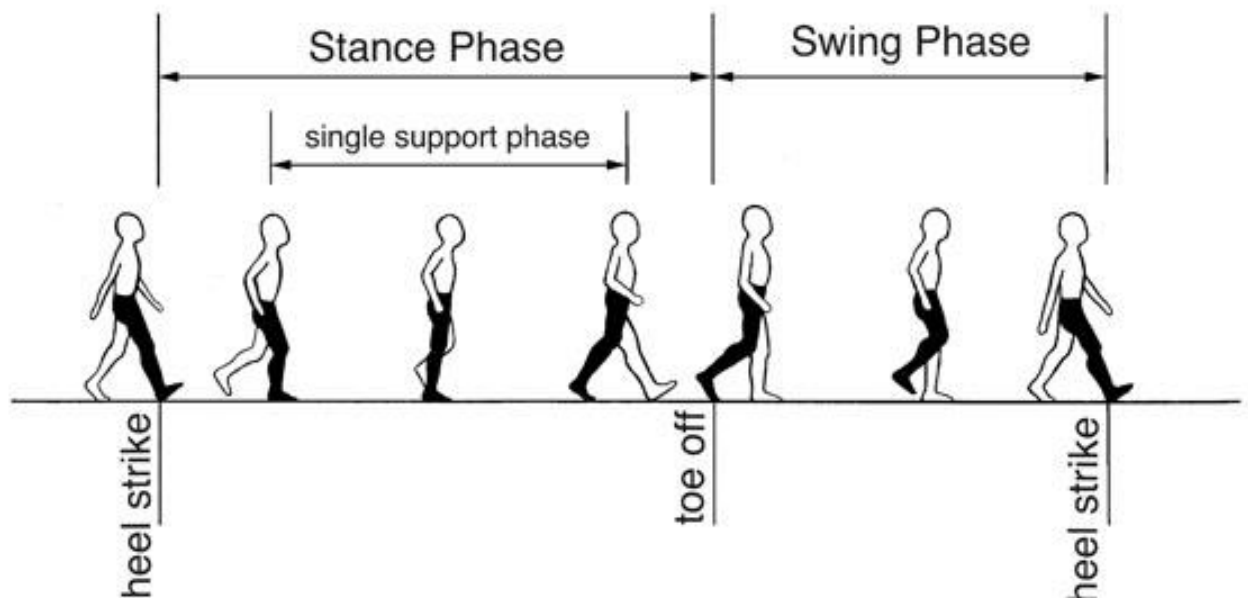
- Premikanje telesa proti ciljni lokaciji z željeno hitrostjo
- Telo uporabi čimmanj energije, da doseže zgoraj opisani cilj (to naredi tako, da se premika v kolikor je mogoče ravni liniji naprej. Med hojo je najbolj učinkovito gibanje tisto, med katero se telo čimmanj premika gor in dol)
- Ljudje z bolečinami hodijo tako, da si prizadanejo čimmanj bolečine. (Človeški možgani imajo različne strategije za doseg tega. Npr. Manj pritiska z bolečo nogo na podlago)
- Stopalo absorbira silo telesa pri stiku s podlago
- Stopalo postane tog vzvod in ob koncu koraka omogoči silo telesa naprej

## 1.2.1 BIOMEHANIKA HOJE

Biomehanika je po definiciji znanost, ki raziskuje in se ukvarja z mehaniko živih organizmov. Kot taka je interdisciplinirana ter združuje mehaniko in biologijo. Kljub temu, da se je biomehanika zgodovinsko ukvarjala predvsem z osnovnimi zakonitostmi gibanja (težišče telesa, pomen krčenja mišic, aerodinamika), je danes to področje bistveno širše. Poleg funkcionalnega razumevanja makro gibanja človeka in živali zajema tudi mehanske lastnosti in funkcijo tkiv, celic, dihal in krvnih obtočil.

Nas pa zanima okvirna biomehanika hoje, ki je pomembna za razumevanje osnov in lastnosti hoje. Za lažje razumevanje bom definirala tudi pojma kinematika in kinetika. Kinematika spada v področje mehanike in je opazovanje gibanja telesa, kjer se ne menimo za vzroke gibanja. Kinetika pa se ukvarja s silami, ki povzročijo gibanje.

Hoja je ciklično gibanje sestavljeno iz korakov. Koraki so aktivnost, ki nastajajo med stikom pete ene noge in naslednjim stikom pete druge noge. Najlažje si predstavljamo faze hoje tako, da pomislimo kaj se zgodi z vsako nogo pri hoji. Tako imamo dve fazi: faza opore in faza zamaha (Research Gate, 2015). Pri normalni hoji traja faza opore 60% časa, faza zamaha pa 40% časa. Faza opore nastopi, ko je stopalo v stiku s podlago, faza zamaha pa, ko stopalo ni v stiku s podlago oz. ko se stopalo premika skozi zrak (Harrington, 2005).



*Slika 11. Fazi koraka - faza opore in faza zamaha (Harrington, 2005)*



## 1.2.2 FAZA OPORE

Faza opore (stik noge s podlago) je razdeljena še na pet podfaz, glede na položaj stopala: dotik s peto, zgodnja opora, pozna opora, dvig pete in dvig prstov (Foot Education, 2015).

**Dotik s peto:** se začne, ko se zgodi prvi stik pete s podlago in traja dokler ni celotno stopalo v stiku s podlago. V času prvega dotika pete s podlago, je kolk upognjen do  $30^\circ$ , koleno pa iztegnjeno. Stopalo se preko nevtralnega položaja (supinacija  $5^\circ$ ) premakne v plantarno fleksijo. Potem se koleno upogiba ( $5^\circ$ ), hkrati pa se plantarna fleksija veča (De Koster idr., 2015). V tej fazi ekscentrično delujejo anteriorne flektorne mišice goleni (m. tibialis anterior, m. extensor digitorum longus in m. extensor hallucis longus), tako da preko dorzalne vzpostavljajo plantarno fleksijo (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015).

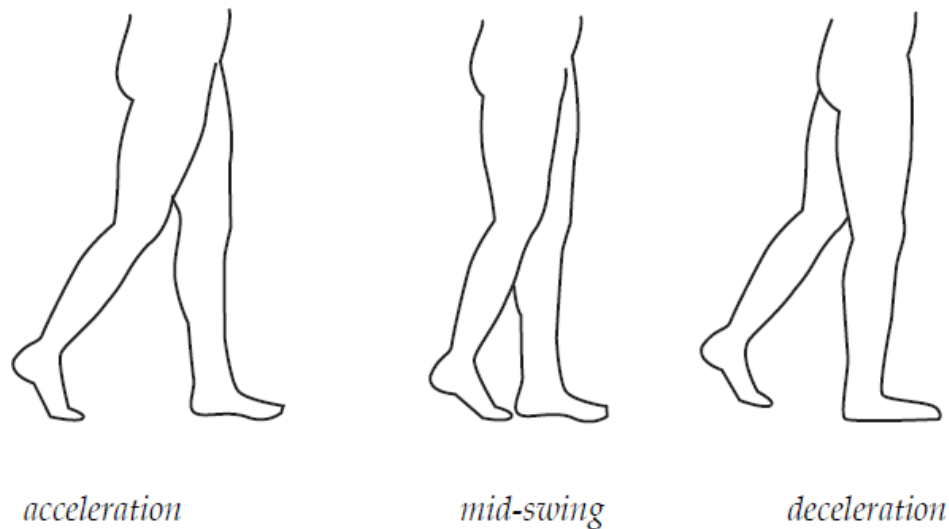
**Zgodnja opora:** ta podfaza se začne, ko je celotno stopalo v stiku s podlago. Konec zgodnje opore pa se pojavi, ko se os središča projekcije telesa prenese od zadaj v smeri premikanja naprej preko stopala. Glavna naloga te podfaze je to, da dovoli stopalu da absorbira sile reakcije podlage ob stiku stopala s podlago (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015). Kolk se počasi premakne v ekstenzijo, koleno pa v  $15-20^\circ$  fleksije. Plantarna fleksija stopala se poveča na  $10-15^\circ$  (De Koster idr., 2015). Plantarna fleksija stopala omogoča telesu da se premakne naprej, klub temu, da deluje sila vertikalno na podlago. Poleg tega pa ima še funkcijo absorpcije sil podlage in amortizacije stopala. Stopalo je nekaj časa v prostem padu, ko pa začnejo delovati tibialne mišice, upočasnijo gibanje stopala proti podlagi, tako da povzroči podfazo zgodnje opore (Perry, 1992). V tej fazi delujejo mišice, ki podpirajo stopalo in sicer vsi invertorji in evertorji (m. tibialis posterior, m. tibialis anterior, m. peroneus brevis in m. peroneus longus). Te mišice zagotavljajo stopalu oporo na podlagi (Foot Education, 2015).

**Pozna opora:** Ko je os središča projekcije telesa prenesena naprej preko stopala se začne podfaza pozna opora, konča pa se ob dvigu pete od podlage. Med to podfazo mora stopalo spremeniti svojo nalogo od absorbiranja sile reakcije podlage, do tega, da postane tog vzvod in pomakne telo naprej (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015). Kot v kolku se spremeni iz  $10^\circ$  fleksije do ekstenzije, koleno pa najprej doseže maksimalno fleksijo, nato pa se začne ekstenzija. Stopalo se supinira in dorzalno flektira  $5^\circ$  (De Koster idr., 2015). V pozni opori se ekscentrično vključijo mišice posteriornega dela goleni (m. gastrocnemius, tibialis posterior in m. soleus). Med to fazo se posteriorne mišice goleni močno krčijo in kontrolirajo premikanje telesa tako, da telo ne pade naprej preko prstov (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015).

**Dvig pete:** Ta podfaza se začne z dvigom pete od podlage. Med to fazo je funkcija stopala, da je tog vzvod in da premika telo v določeni smeri naprej. Tukaj so sile, ki jih absorbira stopalo približno 1,5x večje od telesne teže telesa. Če upoštevamo, da človek naredi od 3000-5000 korakov na dan (aktivni tudi več kot 10000 na dan) ni čudno, da stopalo razvije razne kronične probleme (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015). Kolk se pomakne iz hiperekstenzije ( $10-13^\circ$ ) do fleksije, koleno pa je rahlo flektirano ( $0-5^\circ$ ). Stopalo se supinira in plantarno fleksira (De Koster idr., 2015). V tej podfazi delujejo posteriorne mišice goleni (m. tibialis posterior, m. gastrocnemius in m. soleus), ampak ne delujejo več ekscentrično, temveč koncentrično (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015).

**Dvig prstov:** Začne se, ko prsti izgubijo stik s podlago in označuje začetek faze zamaha. Kolk postane manj ekstenziran, koleno pa je flektirano 35-40°. Plantarna fleksija stopala se poveča do 20° (De Koster idr., 2015). V tej fazi nastopi odziv stopala od podlage, pri katerem naj bi delovala predvsem mišica gastrocnemius. Znaki učinkovite faze dviga prstov sta skoraj nevtralna pozicija stopala in minimalni gibanje v sklepu (Perry, 1992). V tej fazi še naprej koncentrično delujejo posteriorne mišice goleni do začetka faze zamaha (Calais-Germain, 2007; Foot Education, 2015).

### 1.2.3 FAZA ZAMAHA



**Slika 12. Faza zamaha s tremi podfazami (Bienenfeld, 2015)**

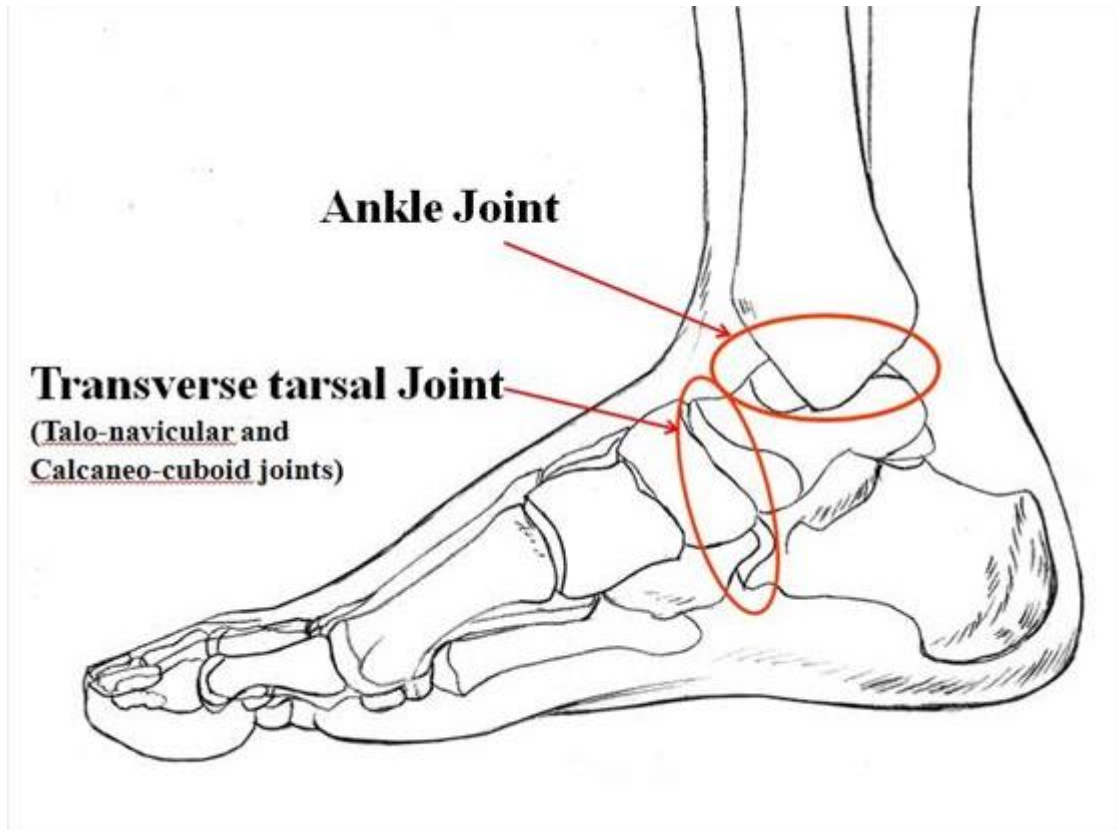
**Zgodnji zamah:** stopalo se odmakne od tal, tako da na stopalu v zamahu ne deluje več reakcijska sila podlage. Kot v kolku se ekstendira do 10°, koleno se flektira od 40° do 60°. Stopalo se premakne od kota 20° plantarne fleksije preko dorzalne fleksije do nevtralnega položaja (De Koster idr., 2015). V tej fazi delujejo anteriorne mišice goleni (m. tibialis anterior), ki izvedejo dorzalno fleksijo do nevtralnega položaja stopala (Foot Education, 2015).

**Srednji zamah:** Za to fazo je značilno gibanje dvojnega nihala, ki ga predstavljata golenica in stegnenica. V slednjih in gležnju ni nobene sile, zato ni ne generiranja in ne absorpcije energije. Kolk se flektira do 30°, koleno pa do 60°, nato pa ekstendira nazaj do 30°. Stopalo izvede dorzalno fleksijo na račun kontrakcije m. tibialis anterior (De Koster idr., 2015).

**Pozni zamah:** Začne se z 25-30° fleksije kolka in zaklenjenim položajem iztegnjenega kolena. Gleženj je v nevtralnem položaju in je pripravljen na novo fazo opore. V tej fazi deluje m. tibialis anterior, tako da izvede rahlo dorzalno fleksijo stopala in pripravi peto na dotik s podlago (De Koster idr., 2015).

## 1.2.4 SKLEPI PRI HOJI

Glavna sklepa pri hoji sta tranzverzni tarzalni sklep in spodnji skočni sklep (Foot Education, 2015).



**Slika 13. Zgornji skočni in tranzverzni tarzalni sklep (Foot Education, 2015)**

Zgornji skočni sklep omogoča stopalu da se pomika gor (dorzalna fleksija) in dol (plantarna fleksija). To mu omogočaja anteriorne in posteriorne mišice.

Tranzverzni tarzalni sklep je sestavljen iz kalkaneokuboidnih in talonavikularnih sklepov. Tranzverzni sklep je tudi odvisen od pravilne funkcije subtalarnega sklepa, tako mu subtalarni sklep omogoča da se premika normalno. Skupaj s subtalarnim sklepom omogoča stopalu nekaj stranskega primikanja, tako da se lahko stopalo prilagaja tudi neravni površini. Ker je tranzverzni sklep sestavljen iz dveh sklepov je lahko gibljiv ter mehak (podfaza zgodnje opore) ali pa tog (podfazi pozne opore in dvig pete) v določeni fazi koraka. Kalkaneokuboidni in talonavikularni sklepi imajo paralelne osi ko je kalkaneus evertiran in neparalelne ko je kalkaneus invertiran. To pomeni, da je ob everziji stopalo mehko ter gibljivo in tako absorbira sile reakcije podlage ob hoji. Ob inverziji pa je stopalo togo, da prepreči premikanje sklepa. To je zelo pomemben mehanizem pri tranzverznom tarzalnem sklepu. Ko se peta dotakne podlage so sile na zgornji skočni sklep majhne, ker je tranzverzni tarzalni sklep zaklenjen in tog. Med fazo zgodnjega zamaha, pa ta sklep ni zaklenjen, kar omogoči premikanje sklepa (Foot Education, 2015).

### 1.2.5 HOJA PO RAZLIČNIH PODLAGAH

V vsakdanjem življenju človek hodi in teče po različnih kompleksnih površinah. Lokomocija po naravnih površinah, kot na primer po travi, snegu ali pesku povzroča povečanje porabe energije v primerjavi s hojo po ravni površini (Voloshina, 2015). Kljub temu, so raziskave biomehanike in aktivacije mišic večinoma potekala pri hoji po ravni podlagi.

Murley, Buldt, Trum in Wickham (2007) so primerjali aktivacijo m. tibialis posterior in m. peroneus longus z igelno metodo med bosonogo hojo po ravni podlagi. Rezultati za večino merjencev kažejo, da je EMG signal m. tibialis anterior in m. peroneus longus največji v prvi fazi kontakta s podlago in takrat, ko je noga na podlagi v opori. Sprememba aktivacije obeh mišic je podobna v intenziteti signala EMG v primerjavi z drugimi fazami koraka.

Louwerens, Van Linge, De Klerk, Mulder in Snijders (1995) so ugotavljali razlike med različnimi nalogami hoje pri merjencih z nestabilnimi gležnji in tistimi, ki nimajo težav z gležnji. Ugotovili so, da so merjenci z nestabilnimi gležnji imeli veliko večjo aktivacijo mišice peroneus longus med fazo opore stopala, in sicer v podfazi pozne opore. Po tem so sklepali, da m. peroneus longus služi ohranjanju ravnotežja in da se funkcija mišice manjša z večanjem hitrosti, tako se ne moramo zanesti, da bi preprečila poškodbo inverzijskega zvina gležnja med navadno hojo. Ugotovili so tudi, da je m. tibialis anterior najbolj aktivna po dotiku pete s podlago in da se njena aktivnost poveča tudi ob izgubi ravnotežja. Sklepali so, da ima m. tibialis anterior tudi vlogo pri ravnotežju, čeprav ni to njena glavna funkcija. Ugotovili so tudi večjo aktivacijo m. tibialis anterior pri merjencih z nestabilnimi gležnji.

Hopkins, Coglianesi, Reese in Seeley (2013) so ugotavljali razlike aktivacije invertorjev in evertorjev med korakom v smeri naprej med merjenci z nestabilnim gležnjem in merjenci s stabilnimi gležnji. Pri m. peroneus longus niso ugotovili razlik med obema skupinama v fazi opore, pri m. tibialis anterior pa je bila rahlo večja aktivacija na začetku in na koncu faze opore pri merjencih z nestabilnimi gležnji. Manjšo aktivacijo mišice peroneus longus med atleti z nestabilnim gležnjem med hojo pa so ugotovili Santilli idr. (2011).

Courtine in Schieppati (2003) sta opravila raziskavo in primerjala hojo naravnost in hojo v krogu. Ugotovila sta, da se je faza kontakta pri hoji v krogu povečala, tako pri notranji, kot pri zunanji nogi. Mišica tibialis anterior je bila pri hoji v krogu bolj aktivna pri obeh nogah med fazo zamaha, medtem ko se je aktivnost m. peroneus longus zmanjšala pri hoji v krogu, še posebej med fazo zamaha.

Donovan, Hart in Hertel (2014) so izdelali obuvalo, ki ruši ravnotežje tako, da se stopalo ob hoji rahlo invertira in ugotavljali aktivacijo mišic med hojo z izdelanim obuvalom. Ugotovili so večjo aktivacijo v fazi predaktivacije pri mišici peroneus longus pri hoji z obuvalom. Podaljšal se je tudi čas aktivacije m. tibialis anterior med fazo koraka, m. peroneus longus pa se je prej aktiviral, kot pa pri hoji brez obuvala.

Gao, Oksa, Rintamaki in Holmer (2007) so izvedli raziskavo, v kateri so ugotavljali razliko med navadno hojo in hojo po ledeni površini. Ugotavljali so tudi razliko pri teh hojah z naklonom. Med fazo dotika pete s podlago se je pri hoji po ledeni površini zelo zmanjšala aktivacija mišice tibialis anterior. Aktivacija m. tibialis anterior in m. gastrocnemius lateralis se je znatno povečala med fazo opore pri hoji po ledeni površini z naklonom.

Yen, Gutierrez, Wang in Murphy (2015) so ugotavljali aktivacijo mišic peroneus longus in tibialis anterior okoli faze dotik s peto (30 ms pred in 30 ms po fazi). Merjencem so dodali zunanje breme na dorzalno-lateralno stran stopala, tako so povzročili rahlo everzijo stopala. Merili so EMG signal mišic pred dodanim bremenom, z bremenom (prilagoditev) in na koncu še enkrat brez bremena (po prilagoditvi). Merjenci so imeli povečano everzijo z bremenom in tudi po prilagoditvi, ko so odstranili breme. Ugotovili so povečano aktivacijo m. tibialis anterior 30 ms pred fazo dotika s peto med fazo hoje z dodanim bremenom. Statističnih razlik v aktivaciji m. peroneus longus in mišični koaktivaciji mišic tibialis anterior in peroneus brevis ni bilo ugotovljenih.

Voloshina, Kuo, Daley in Ferris (2013) so naredili tekalno stezo z neravno podlago, sestavljeno iz lesa in ugotavljali razlike med kinematiko hoje in aktivacijo mišic pri hoji po neravni podlagi. Dolžina koraka se je pri hoji po neravni površini zmanjšala za 3,7% glede na hojo po ravni površini, medtem ko se je amplituda spreminjanja kota v stopalu povečala za več kot dvakrat. Pri hoji po neravni površini se je povečala aktivacija mišic m. soleus (28%), m. gastrocnemius medialis (17%), medtem ko se pri m. tibialis anterior in m. gastrocnemius lateralis niso pojavile statistične razlike aktivacije mišic med povprečjem enega koraka. Aktivnost m. tibialis anterior se je rahlo povečala le v prvih 10% koraka. Vse štiri mišice goleni so pokazale večji standardni odklon aktivacije pri hoji po neravni površini (30%).

## 1.2.6 NAMEN NALOGE

Hoja je eno izmed najbolj raziskanih področij, ampak kljub temu je bilo raziskav pri hojah po različnih površinah dokaj malo, saj so po večini usmerjena v hojo po ravni površini. Pri hoji po neravnih površinah pa naj bi bile v primerjavi s hojo po ravni površini bolj aktivne peronalne mišice (Voloshina, 2015). Peronalne mišice so v osnovi evertorji stopala in so predvidoma aktivni pri fazi opore med hojo. Prav tako opravljajo nalogo plantarnih fleksorjev na začetku faze zamaha. Za peronalne mišice naj bi veljalo, da med hojo ob postavitvi stopala na podlago preprečujejo inverzijo stopala, če so te mišice v tej fazi aktivne. Ampak, še vedno ni jasno ali so peronalne mišice vedno aktivne ob postavitvi stopala na podlago (Louwerens idr., 1995). Raziskave navajajo tudi (Garrick in Requa, 1988), da so zvini gležnjeve najpogostejše poškodbe gležnja (85%) in da posledično povzročajo šibke mišice evertorjev, ki naj bi zagotavljali absorpcijo sile reakcije podlage pri hoji (Glick, Gordon in Nishimoto, 1976).

Z raziskovalnim diplomskim delom želimo ugotoviti razlike aktivacije površinskega EMG signala šestih različnih mišic goleni: m. tibialis anterior (sprednja golenska mišica), m. gastrocnemius medialis (medialna glava dvoglave mečne mišice), m. gastrocnemius lateralis (lateralna glava dvoglave mečne mišice), m. soleus (velika mečna mišica), m. peroneus brevis (kratka mečnična mišica) in m. peroneus longus (dolga mečnična mišica). Zanima nas razlika EMG signala teh mišic pri navadni bosonogi hoji, pri bosonogi hoji po podlagi s 30° naklonine inverzije in pri hoji po notranjem delu stopala po podlagi s 30° naklonine inverzije.

### 1.3 CILJI IN HIPOTEZE

V nalogi smo si zastavili naslednje cilje:

**Cilj 1:** Primerjava površinskega EMG signala vseh šestih mišic goleni pri navadni bosonogi hoji in pri bosonogi hoji po podlagi s 30° naklonine inverzije.

**Cilj 2:** Primerjava površinskega EMG signala vseh šestih mišic goleni pri navadni bosonogi hoji in pri bosonogi hoji po podlagi s 30° naklonine inverzije, z dodanim navodilom, da merjenci med hojo poskušajo obdržati lateralni del stopala v zraku.

**Hipoteza 1:** Pri hoji po površini s 30° naklonom inverzije bo večja aktivacija mišic peroneus brevis, peroneus longus in tibialis anterior v primerjavi s hojo po ravnem naprej.

**Hipoteza 2:** Pri hoji po površini s 30° naklonom inverzije, z dodanim navodilom, da merjenci med hojo obdržijo lateralni del stopala v zraku, bo večja aktivacija mišic peroneus brevis, peroneus longus in tibialis anterior v primerjavi s hojo po ravnem naprej.

## 2. METODE

### 2.1 PREIZKUŠANCI

V raziskavi je sodelovalo 18 preizkušancev, in sicer 10 moških in 8 žensk, s povprečno starostjo  $26,8 \pm 5,6$  let, telesno višino  $177,2 \pm 8,2$  cm in telesno težo  $73 \pm 13,1$  kg. Merjenci so bili v času meritev zdravi, brez bolezni, brez poškodb in bolečin v gležnju. Vsi so bili seznanjeni s potekom meritev in metodami dela.

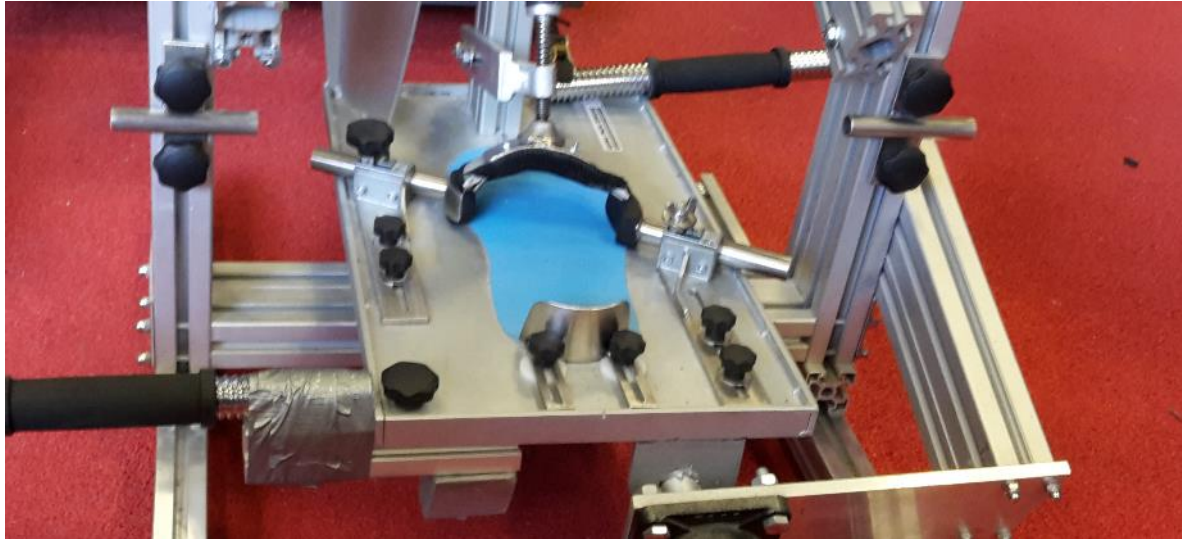
### 2.2 PRIPOMOČKI

Uporabili smo štoparico za merjenje časa, lesen zabojnik visok 20 cm za ogrevanje s stopanjem na zabojnik ter metronom za določanje tempa pri ogrevanju.

Za izometrične meritve gibov everzija, inverzija, zunanja rotacija in notranja rotacija stopala, smo uporabili upornico (Slika 14), izdelano v Kineziološkem laboratoriju na Fakulteti za šport v Ljubljani. Zaradi njene osi, se upornica prilega samo desni nogi. Kot v kolku in kolenu pri merjenjih je bil  $90^\circ$ . Na strani ima upornica dve opori, zadaj eno in zgoraj eno, ki se lahko namestijo tako da se prilegajo posameznem stopalu merjenca (Slika 15). Pomembne so za oporo stopala. Na desni strani je nameščena ročka, na katero se lahko dodajajo uteži. Spodaj pa je ročka podložena, tako da se doseže nevtralni začetni položaj pri giba. Upornica je povezana z ojačevalcem za EMG signal (STG 8-F, Slovenija), tako da lahko merimo tudi navor posameznega giba.



**Slika 14.** Upornica za meritve izometričnih gibov stopala (inverzija, everzija, zunanja rotacija in notranja rotacija)



**Slika 15. Prikaz opor za nastavitve stopala v prvi upornici**

Za merjenje EMG signala mišic maksimalne izometrične kontrakcije plantarne in dorzalne fleksije smo uporabili drugo opornico (Slika 16), ki je bila narejena v Kineziološkem laboratoriju, na Fakulteti za šport v Ljubljani. Opornica ima oporo zadaj in zgoraj, tako da je stopalo stabilno. Ima tudi oporo za koleno, tako da se koleno med izvedbo plantarne in dorzalne fleksije s pokrčenim kolenom  $90^\circ$ . Kot v kolku je tudi  $90^\circ$ . Z opornico je povezan tudi ojačevalec za EMG signal, tako da lahko merimo tudi navor gibov.





**Slika 16. Upornica za izometrične meritve stopala (plantarna in dorzalna fleksija)**

Za potrebe hoje smo poleg elektrod uporabili pospeškometer, ki je bil povezan preko pretvornika analognega v digitalni signal Biovision (BioVision, Wahrheim, Nemčija) na mini prenosni računalnik Viliv (Yukyung Technologies Corp., Južna Koreja) Za nadzor in dolžino korakov pri hoji smo uporabili kamero Panasonic DMC-FZ200 (Panasonic UK, Velika Britanija). Za kontrolo hitrosti pa radar Stalker ATS (Applied Concepts, Inc./Stalker Radar, ZDA).

Površina z naklonino  $30^\circ$  inverzije je bila izdelana v Kineziološkem laboratoriju, na Fakulteti za šport. Narejena je iz lesa in oblepljena s papirjem za brušenje, da onemogoča drsenje stopal pri hoji. Površina je dolga 8,25 m, lesene ploskve pa se stikajo pod naklonom  $30^\circ$ .



**Slika 17. Površina z naklonom 30° inverzije**

Za merjenje EMG signala mišic goleni smo uporabili samolepilne ECG elektrode Kendall s premerom 24 mm (Nemčija), ki so bile povezane preko pretvornika signala Biovision na računalnik. Za ojačitev signala obeh opornic smo uporabili ojačevalec EMG signala. Podatke smo zajeli s programoma DasyLab 10 (Irska). Za obdelavo EMG podatkov smo uporabili Labchart 7 (AD Instruments, Nova Zelandija), za obdelavo posnetkov hoje Windows Movie Maker (Microsoft, Washington, ZDA) in program Kinovea (The Kinovea project, Francija). Za statistično obdelavo podatkov pa program SPSS (SPSS za Windows Inc., Chicago, IL, ZDA) in Microsoft Excel (Microsoft, Chicago, IL, ZDA).

## 2.3 POSTOPEK

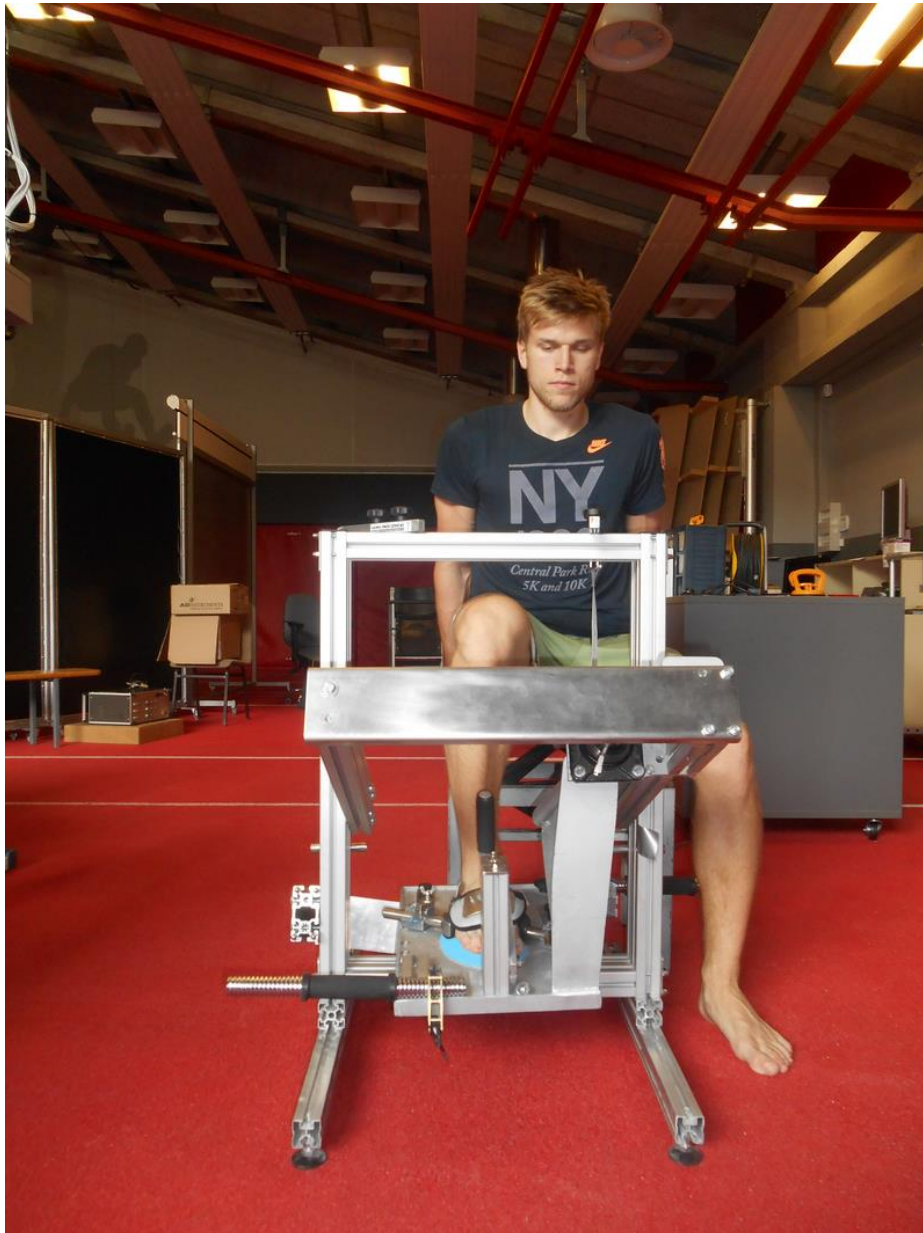
Raziskava je potekala v Kineziološkem laboratoriju na Fakulteti za šport v Ljubljani. Meritve so potekale v obdobju enega meseca po naključnem vrstnem redu. Vsak merjenec je meritev opravil enkrat. Meritve so potekale tako v dopoldanskem, kot v popoldanskem času. Merjenci so bili v času meritev v športni opreми. Obvezne so bile kratke hlače, saj smo tako zagotovili ustrezno pritrdjevanje elektrod. Vsi so meritve izvajali bosi.

Na vsakem merjencu smo opravili meritve samo na desni nogi. Najprej smo merjencu, v skladu s priporočili SENIAM, namestili površinske bipolarne elektrode na naslednje mišice: m. tibialis anterior – TA, m. peroneus longus – PL, m. peroneus brevis – PB, m. soleus – SO, m. gastrocnemius medialis – GM in m. gastrocnemius lateralis – GL. Nato se je merjenec ogrel s stopanjem na 20 cm visok lesen zabojnik. Ogrevanje je trajalo 6 minut, z določenim tempom (100 udarcev na minuto). Čas ogrevanja smo merili s štoparico, tempo stopanja na klop pa z metronomom. Tako smo zagotovili vsem merjencem enake pogoje. Na vsako pretečeno minuto je merjenec zamenjal začetno nogo pri stopanju na zabojnik, tako da je med ogrevanjem 5x menjal nogo.



**Slika 18.** Ogrevanje merjenca s stopanjem na skrinjo

Za ogrevanjem je merjenec pričel z izvajanjem največje hotene izometrične kontrakcije gibov everzija, inverzija, notranja rotacija in zunanja rotacija v prvi upornici. Merjenec se je usedel v stol z nastavljivo višino, tako da je imel kot v kolku in kolenu  $90^\circ$ . Koleno je imel poravnano s kolkom in med izvedbo meritev ni premikal kolena. Stopalo je imel fiksirano z stranskima, zgornjo in zadnjo opora v upornici, kot prikazuje Slika 19. Merjenec je izvedel želeni gib na povelje "tri, štiri, zdaj" in držal nekajsekundno maksimalno kontrakcijo, medtem pa smo mu merili EMG signal vseh šestih mišic goleni (TA, PL, PB, SO, GM, GL). Te meritve smo uporabili za normalizacijo EMG signala mišic v primerjavi s hojami.



**Slika 19. Izvajanje maksimalne hotene izometrične kontrakcije (everzija, inverzija, notranja in zunanja rotacija stopala)**

Merjenec se je nato prestavil na drugo opornico, kjer je sledilo merjenje največje hotene izometrične kontrakcije gibov plantarne in dorzalne fleksije v sedečem položaju. Merjenec se je usedel na poseben stol z nastavljivo višino in pred opornico, tako da je bil kot v kolenu in kolku  $90^\circ$ . Merjenec je imel koleno poravnano s kolkom. Stopalo smo fiksirali z zadnjo in

zgornjo oporo. Za fiksacijo kolena smo uporabili kolensko oporo (Slika 20). Merjenec je izvedel gib na povelje "tri, štiri, zdaj" in držal nekajsekundno maksimalno kontrakcijo, medtem pa smo mu merili EMG signal vseh šestih mišic goleni (TA, PL, PB, SO, GM, GL). Meritve mišic goleni smo uporabili za normalizacijo EMG signala mišic v primerjavi s hojami.



**Slika 20. Izvajanje maksimalne hotene izometrične kotrakcije (plantarna in dorzalna fleksije stopala)**

Po meritvah vseh maksimalnih hotenih izometričnih kontrakcij gibov je sledila navadna hoja in hoji po naklonini s 30° inverzije. Hojo po naklonini so merjenci izvajali na dva različna načina (Slika 21). Pri prvem načinu so normalno postavljali stopala na podlago – Hoja A, pri drugem pa so poizkušali obdržati zunanji del stopala v zraku (hodili so samo po notranjem delu stopala) – Hoja A2.



Hoja A

Hoja A2

**Slika 21. Prikaz dveh vrst hoj po naklonini**

Merjenci so izvajali hoje v poljubnem vrstnem redu. Merjencu smo namestili pospeškometer in ga povezali z računalnikom, tako da smo beležili začetek dotika stopala s podlago in s tem koraka. S kamero smo beležili pravilnost izvedbe ter dolžino koraka, z radarjem pa nadzorovali hitrost hoje. Merjenci so hodili 4 dolžine po 8,25 m hoje, medtem pa smo beležili EMG signal mišic goleni (TA, PL, PB, SO, GM, GL).



**Slika 22. Hoja po ravni podlagi - Hoja**

Za obdelavo EMG signala maksimalnih hotenih izometričnih kontrakcij smo v Programu Labchart 7 najprej filtrirali EMG signal (500Hz/20Hz), nato vzeli absolutno vrednost tega signala in poravnali osnovno linijo. Pri vsaki izmed šestih mišic smo vzeli največjo vrednost in jo uporabili za normalizacijo pri hoji. Pri obdelavi EMG signala pri hojah smo uporabili isti postopek (filtriranje, absolutna vrednost, glajenje osnovne linije), nato pa še vnesli normalizirano vrednost vsake mišice goleni za vsakega merjenca. Signam EMG hoje smo

izmerili v fazi predaktivacije (100 ms pred fazo dotika s peto) in fazi kontakta (od dotika pete s podlago do dviga pete od podlage) in vzeli povprečje 18-ih pravilno narejenih korakov.

Statistično obdelavo podatkov smo opravili s programom SPSS. Analizo smo izvedli z ANOVO za ponovljive meritve. Primerjali smo vrednosti in statistično pomembne razlike med tremi vrstami hoje, tako pri biomehaničnih lastnostih hoje (dolžina koraka, hitrost hoje, kontaktni čas), kot pri mišični aktivaciji. Če je bila alfa vrednost manjša od 0.05, je bila razlika statistično pomembna.

### 3. REZULTATI IN RAZPRAVA

#### 3.1 REZULTATI

Hoja na oba načina po naklonini s 30° inverzije (Hoja A in Hoja A2) je povzročila veliko sprememb v biomehaničnih lastnostih in mišični aktivaciji v primerjavi s hojo po ravni podlagi. Merjenci so pri hojah po naklonini imeli krajšo dolžino koraka in nižjo hitrost hoje. Merjenci so tudi imeli večjo aktivacijo mišic TA, PL, PB in GM pri hojama po naklonini s 30° inverzije v določeni fazi koraka (predaktivaciji ali kontaktni fazi).

##### 3.1.1 BIOMEHANIKA HOJE

**Tabela 1**

**Povprečna dolžina dvokoraka (dveh zaporednih korakov), povprečen čas kontakta stopala s podlago in povprečna hitrost hoje s standardnimi odkloni vseh merjencev pri vseh treh hojah. \* -  $p < 0.01$ , \*\*\* -  $p < 0.001$ .**

	<b>Hoja</b>	<b>Hoja A</b>	<b>Hoja A2</b>
<b>Povprečna dolžina dvokoraka (cm)</b>	130,7±11,9 ***	113,5±13,2 ***	88,6±19,8 ***
<b>Povprečen čas kontakta (s)</b>	0,66±0,09	0,74±0,08	0,73±0,27
<b>Povprečna hitrost hoje (km/h)</b>	3,28±0,48	3,05±0,38	2,72±0,33 *

V tabeli (Tabela 1) je opazno, da se pri različnih načinih hoje spremenijo tudi osnovne biomehanične lastnosti hoje. ANOVA za ponovljene meritve je pokazala statistično značilne spremembe ( $p < 0,05$ ) v dolžini dvokoraka med vsemi kombinacijami hoj in v spremembi hitrosti med Hojo in Hojo A2.

Povprečna dolžina dvokoraka je najdaljša pri navadni hoji, najkrajša pa pri hoji po notranjem delu stopala po naklonini s 30° inverzije (Hoja A2). Dolžina dvokoraka je pri Hoji A, glede na navadno hojo krajša za 17,2 cm oz. 14% ( $p < 0,00$ ;  $r = 0,90$ ), medtem ko je pri Hoji A2 dolžina krajša kar za 42,1 cm oz. za 38,5% ( $p < 0,00$ ;  $r = 0,90$ ). Velika razlika je torej tudi med obema hojama po naklonini (24,9%) ( $p < 0,00$ ;  $r = 0,90$ ).

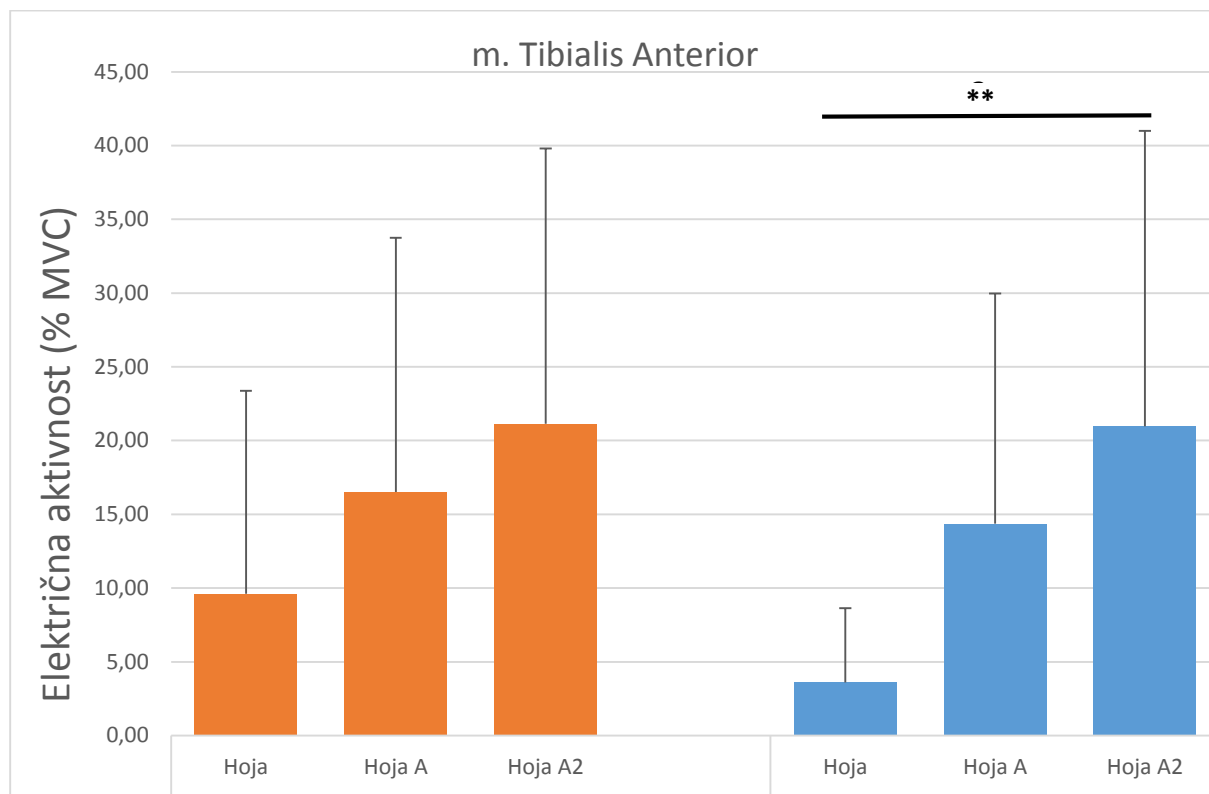
Čeprav so merjenci imeli pri hojah po naklonini daljši povprečen čas kontakta, se te razlike niso odražale statistično.

Povprečna hitrost je bila pri Hoji A2 za 0,56 km/h (18,7%) manjša v primerjavi z navadno hojo ( $p = 0,03$ ,  $r = 0,66$ ). Pri drugih kombinacijah hoj se niso pojavile statistične razlike v hitrosti.



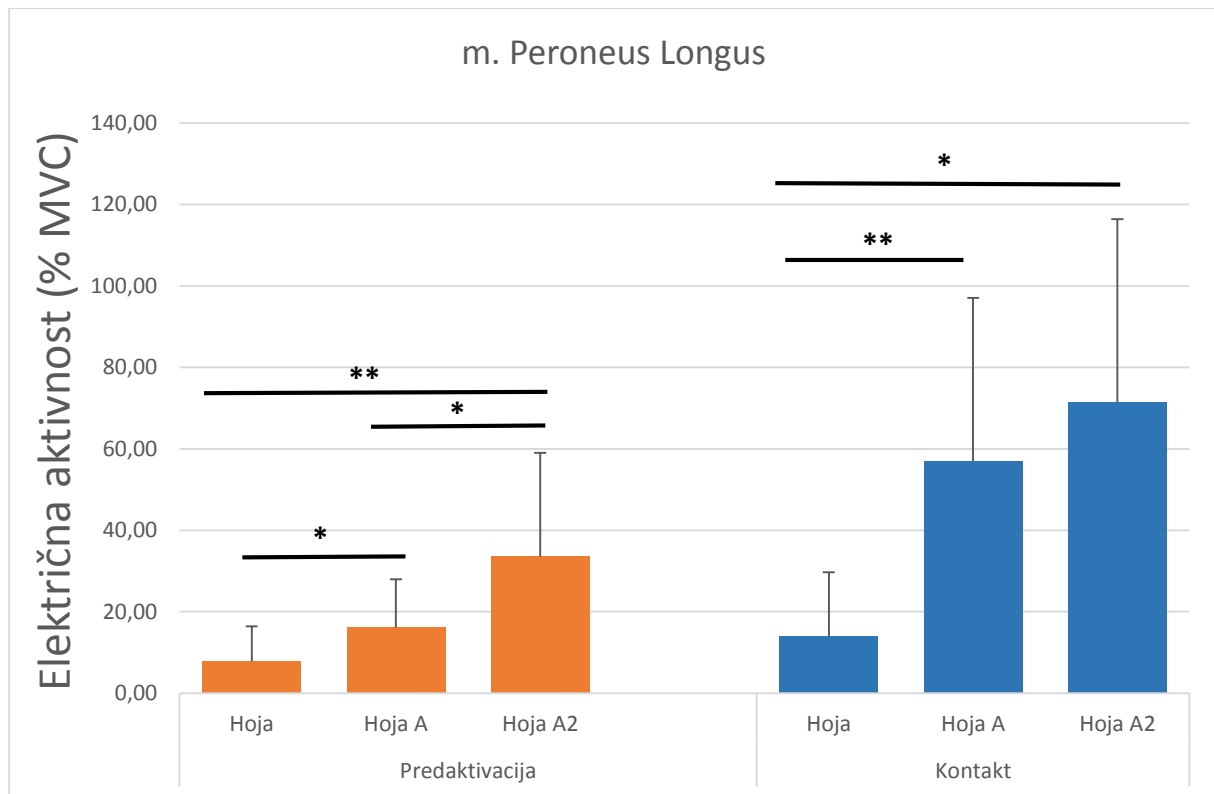
### 3.1.2 AKTIVACIJA MIŠIC

Statističnih razlik je bilo skupaj 11, od tega 6 v fazi predaktivacije in 5 v fazi kontakta. Največ razlik pri različnih hojah je bilo ugotovljenih pri mišici peroneus longus (5) ter mišici peroneus brevis (4). Pri mišicah soleus in gastrocnemius lateralis ni bilo ugotovljenih statističnih razlik.



**Slika 23. Aktivacija mišice tibialis anterior v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. \*\* -  $p < 0.05$ . %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Graf (Slika 23) prikazuje povprečno aktivacijo mišic tibialis anterior v fazi predaktivacije in v fazi kontakta pri vseh treh hojah. Vrsta hoje je vplivala na aktivacijo mišice TA med fazo kontakta. ANOVA za ponovljene meritve je pokazala statistično značilno spremembo aktivacije ( $p=0,007$ ,  $r=0,82$ ) TA samo med navadno hojo – Hoja in hojo po notranjem delu stopala po naklonini s  $30^\circ$  inverzije - Hoja A2, in sicer je bila večja aktivacija mišice pri Hoji A2 v fazi kontakta.

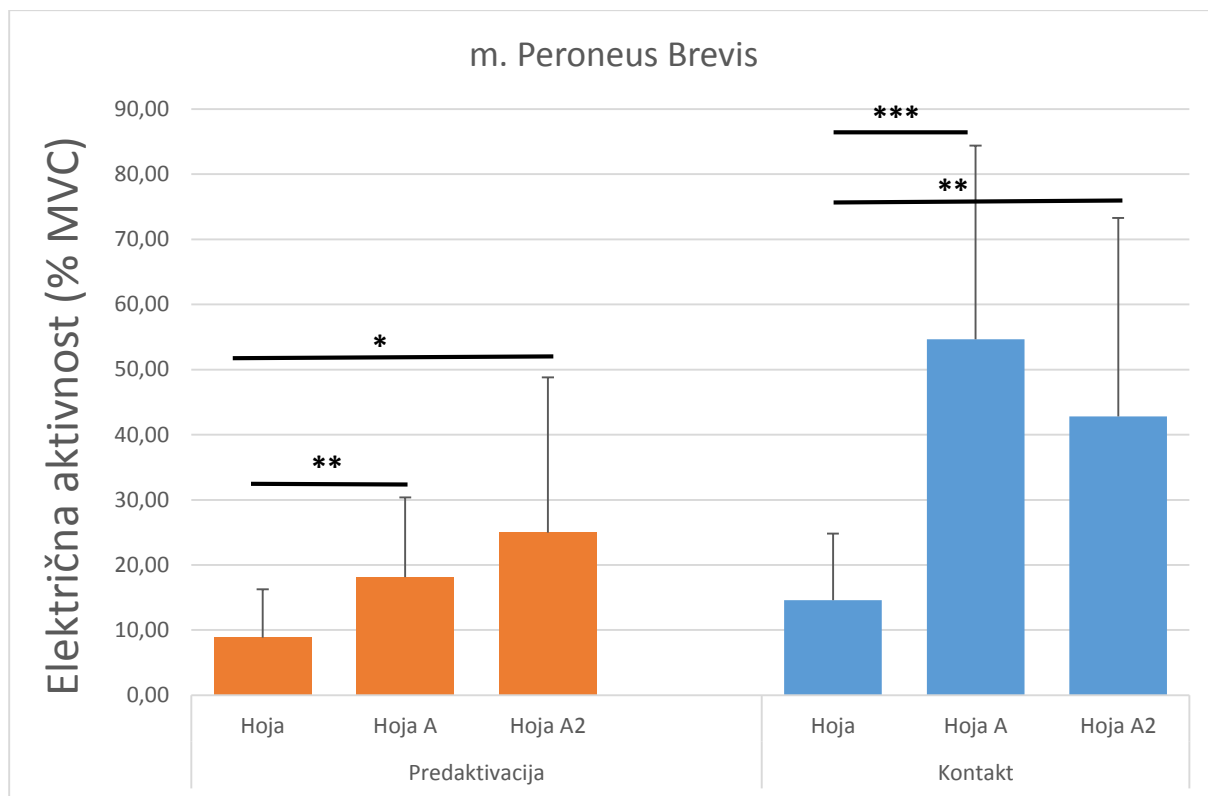


**Slika 24. Aktivacija mišice peroneus longus v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. \* -  $p < 0,05$ , \*\* -  $p < 0,01$ . %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Na grafu (Slika 24) je primerjava povprečja aktivacije mišice peroneus longus vseh merjencev pri vseh treh hojah v fazi predaktivacije in v fazi kontakta. Pri m. peroneus longus je bilo ugotovljeno največ statističnih razlik med hojami. V fazi predaktivacije so bile ugotovljene razlike med vsemi kombinacijami treh hoj.

V fazi predaktivacije je ANOVA za ponovljene ponovitve je pokazala statistične razlike med navadno hojo in Hojo A ( $p=0,021$ ;  $r=0,74$ ) – aktivacija PL je bila večja pri Hoji A. Prav tako tudi med Hojo in Hojo A2 ( $p=0,001$ ;  $r=0,74$ ) – večja aktivacija PL pri Hoji A2 in med Hojo A in Hojo A2 ( $p=0,017$ ;  $r=0,74$ ) – večja aktivacija PL pri Hoji A2.

V fazi kontakta je test pokazal razlike med Hojo in Hojo A ( $p=0,001$ ;  $r=0,75$ ) v prid aktivacije PL med Hojo A in med Hojo in Hojo A2 ( $p=0,001$ ;  $r=0,75$ ), kjer je bila večja aktivacija PL pri Hoji A2. Statističnih razlik med obema hojema po naklonini s  $30^\circ$  inverzije ni bilo ugotovljenih.

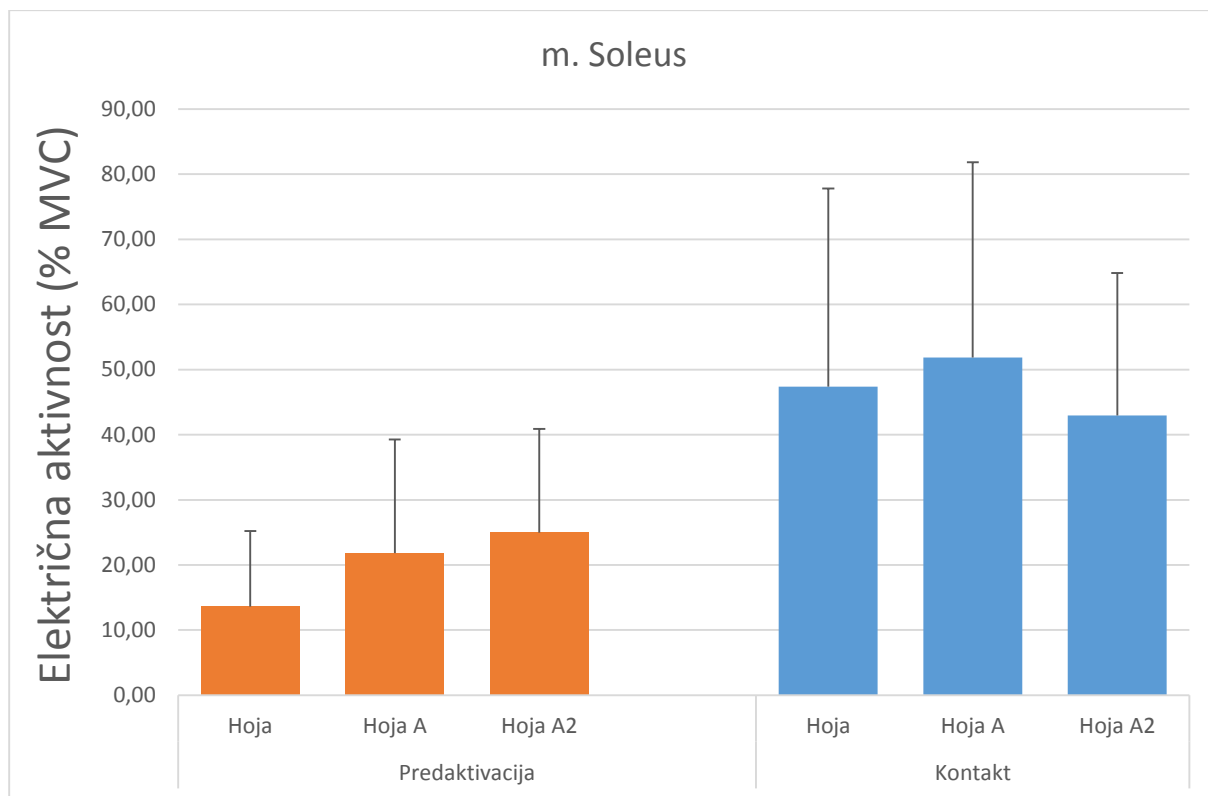


**Slika 25. Aktivacija mišice peroneus brevis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. \* -  $p < 0,05$ , \*\* -  $p < 0,01$ , \*\*\* -  $p < 0,001$ . %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Zgornji graf (Slika 25) prikazuje povprečno aktivacijo PB vseh merjencev pri vseh treh hojah v fazi predaktivacije in fazi kontakta. Statistične razlike so bile ugotovljene pri aktivaciji PB med navadno hojo in obema hojema tako v fazi predaktivacije, kot v fazi kontakta, medtem ko med Hojo A in Hojo A2 ni bilo ugotovljenih nobenih razlik v nobeni fazi koraka.

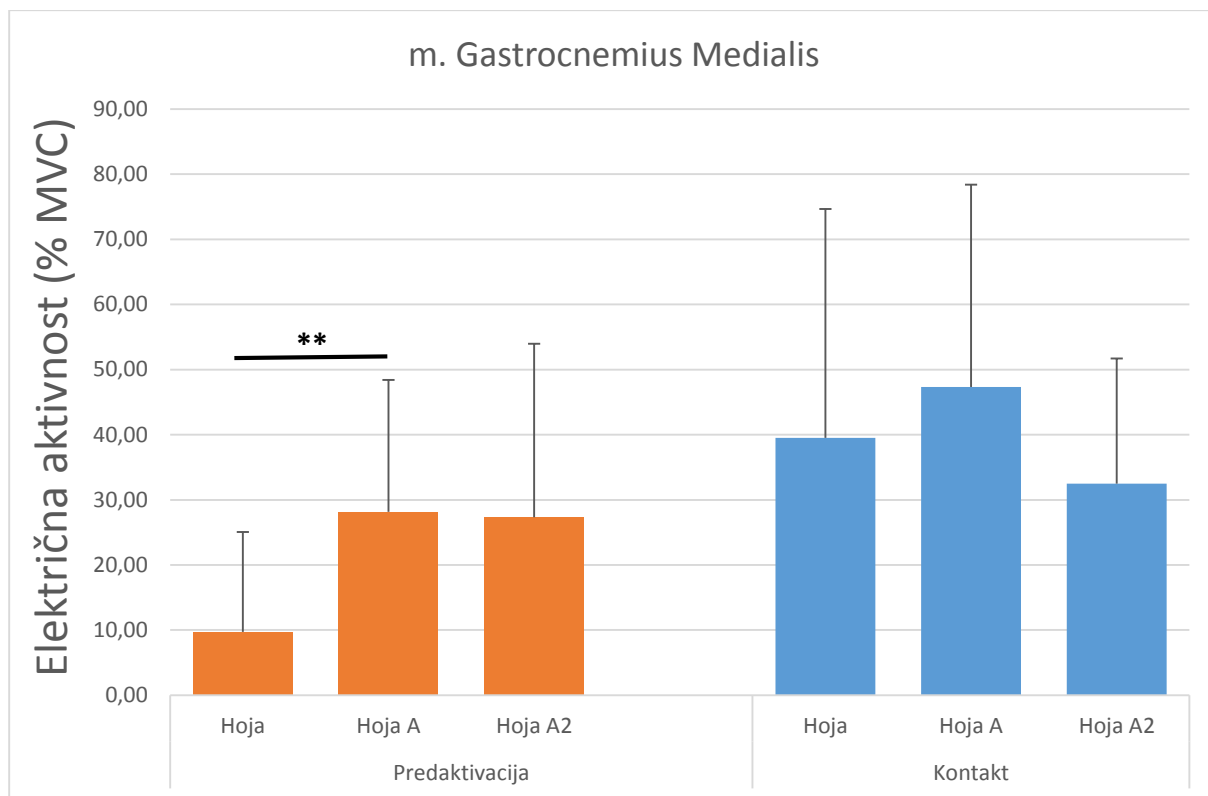
V fazi predaktivacije med Hojo in Hojo A ( $p=0,009$ ;  $r=0,63$ ) je bila večja aktivacija PB pri Hoji A. Med Hojo in Hojo A2 ( $p=0,012$ ;  $r=0,63$ ) je bila ugotovljena večja aktivacija PB pri Hoji A2.

V fazi kontakta med Hojo in Hojo A ( $p < 0,00$ ;  $r=0,90$ ) je bila ugotovljena večja aktivacija PB pri Hoji A. Med Hojo in Hojo A2 ( $p=0,001$ ;  $r=0,90$ ) je bila večja aktivacija PB pri Hoji A2.



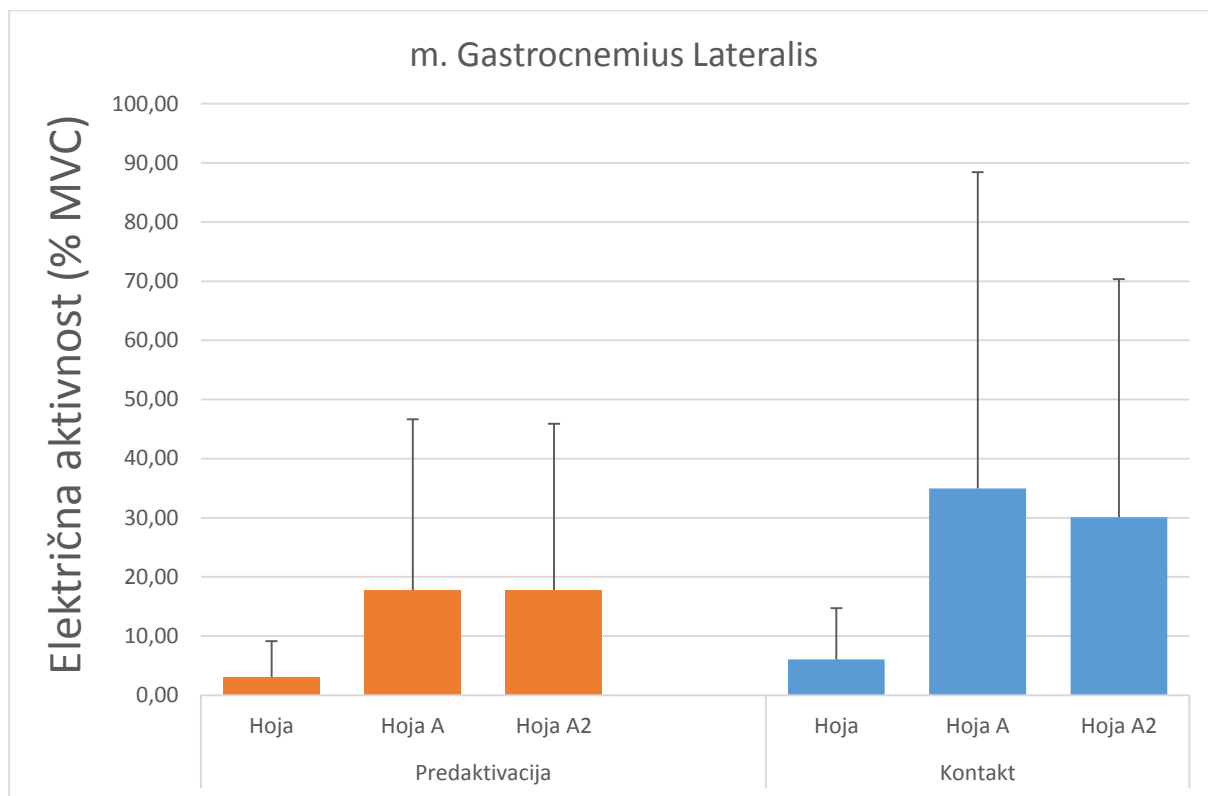
**Slika 26. Aktivacija mišice soleus v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Graf (Slika 26) prikazuje povprečje aktivacije mišice soleus vseh merjencev v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh načinih hoje. Test za ponovljive meritve ni pokazal statistično značilnih razlik pri nobeni kombinaciji hoje v nobeni fazi koraka pri mišici soleus.



**Slika 27. Aktivacija mišice gastrocnemius medialis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. \*\* -  $p < 0.01$ . %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Zgornji graf (Slika 27) prikazuje povprečje aktivacije mišice gastrocnemius medialis vseh merjencev v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh vrstah hoje. Test je pokazal statistično značilno razliko v fazi predaktivacije pri GM med navadno hojo in Hojo A ( $p=0,001$ ,  $r=0,81$ ) in sicer je bila večja aktivacija GM pri hoji po naklonini s  $30^\circ$  inverzije (Hoja A). Pri drugih kombinacijah hoje ni bilo ugotovljenih nobenih statističnih razlik pri GM v nobeni fazi koraka.



**Slika 28. Aktivacija mišice gastrocnemius lateralis v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh hojah. %MVC – Normalizirana vrednost aktivacije mišice glede na maksimalne hotene izometrične kontrakcije.**

Graf (Slika 28) prikazuje povprečno aktivacijo GL vseh merjencev v fazi predaktivacije in fazi kontakta pri vseh vrstah hoje. Test za ponovljive meritve ni pokazal statistično značilnih razlik pri nobeni kombinaciji hoje v nobeni fazi koraka pri GL.

## 3.2 RAZPRAVA

V raziskovalnem diplomskem delu smo ugotavljali razlike med navadno hojo in dvema vrstama hoje po naklonini s 30° inverzije. Obe hipotezi sta bili potrjeni. Ugotovili smo, da je bila pri hoji po površini s 30° naklonom inverzije večja aktivacija mišic peroneus brevis, peroneus longus in tibialis anterior v primerjavi s hojo po ravnem naprej. Pri hoji po površini s 30° naklonom inverzije naprej, z dodanim navodilom, da merjenci obdržijo zunanji del stopala v zraku je prav tako bila večja aktivacija mišic peroneus brevis, peroneus longus in tibialis anterior v primerjavi s hojo po ravnem.

### 3.2.1 PRIMERJAVA HOJE PO RAZLIČNIH POVRŠINAH

Na neravnih podlagah je veliko lastnosti, zaradi katerih se pojavljajo razlike v hoji. Površina in naklon podlage vplivata na energetiko in dinamiko hoje, prav tako pa aktivnost mišic, ki sodelujejo pri hoji (Voloshina idr., 2013). Nekaj raziskav karakterizira lastnosti hoje po neravnih podlagah, vendar se naša raziskava ne more natančno primerjati z nobeno, saj je bila površina z naklonino ročna izdelana in točno takšna raziskava še ni bila narejena. V raziskavi smo ugotovili za 14% krajšo dolžino dvokoraka pri hoji po naklonini s 30° inverzije, še bolj pa se je skrajšala dolžina dvokoraka (38,5%) pri hoji po notranjem delu stopala po naklonini 30° glede na navadno hojo. Razlika v dolžini dvokoraka je bila tudi (24,9%) med obema hojama po naklonini. Razlike so nastopile tudi v hitrosti, saj so merjenci imeli znatno nižjo hitrost (18,7%) pri Hoji A2 v primerjavi z navadno hojo. Druge raziskave tudi potrjujejo, da se pri hoji po neravni površini in z oteženimi pogoji skrajša dolžina koraka (Voloshina idr., 2013) in hitrost hoje (Kuni, Wolf, Zeifang in Thomsen, 2014).

#### *Tibialis Anterior*

V aktivaciji m. tibialis anterior smo pričakovali več razlik v aktivaciji pri različnih hojah predvsem v fazi predaktivacije kot so ugotovili Yen idr., 2015, vendar se je le-ta pojavila samo med Hojo in Hojo A2 v fazi kontakta, tako kot pri raziskavi, ki so jo opravili Yen idr., 2015. Prav tako je bila opažena večja aktivacija TA pri ljudeh z nestabilnimi gležnji (Hopkins idr., 2013; Louwerens idr., 1995), kar lahko primerjamo s Hojo A2, saj gre tudi tukaj za rušenje in vzpostavljanje stabilnega položaja stopala. TA opravlja tudi nalogo vzpostavljanja in ohranjanja ravnotežja (Louwerens idr., 1995), zato je večja aktivacija v fazi kontakta pri Hoji A2 v primerjavi z navadno hojo pričakovana.

#### *Peroneus Longus*

Kot pričakovano se je največ razlik pri različnih hojah pojavilo pri evertorjih stopala. Pri PL se je v fazi predaktivacije pojavila večja aktivacija pri obeh hojah po naklonini (Hoja A in Hoja A2) v primerjavi z navadno hojo. Prav tako je bila večja aktivacija PL pri Hoji A2, kot pri Hoji A. V raziskavah (Konradsen in Højsgaard, 2007; McLoda, Hansen in Birrer, 2004) so ugotovili pomembno vlogo mišice PL v fazi predaktivacije. Določena stopnja inverzije (kot je pri hojah po naklonini), naj bi spodbudila spremembe in povečano aktivacijo peronalnih mišic v fazi pred dotikom pete s podlago (Konradsen in Højsgaard, 2007). V fazi kontakta pa je bila večja aktivacija v obeh hojah po naklonini (Hoja A in Hoja A2), glede na navadno hojo. V raziskavah so potrdili, da je aktivacija PL največja v fazi opore, saj naj bi PL zagotavljal

ohranjanje ravnotežnega položaja med hojo (Louwerens idr., 1995; Murley idr., 2007). Pri hojah po naklonini je ob vsakem koraku prisotno rušenje ravnotežnega položaja in s tem dobi PL večjo funkcijo, zato se tudi bolj aktivira kot pri navadni hoji. Louwerens idr., 1995, so ugotovili, da ima PL večjo funkcijo vzpostavljanja ravnotežja ob manjši hitrosti. To lahko povežemo tudi z manjšo hitrostjo pri Hoji A2, tako da je tam PL imel večjo funkcijo in s tem večjo aktivacijo.

#### *Peroneus Brevis*

Ker ima PB v osnovi enako funkcijo kot PL smo lahko pričakovali podobne spremembe kot pri PL. Pojavilo se je veliko statističnih razlik tako v fazi predaktivacije, kot v fazi kontakta. Pri PB je bila v fazi predaktivacije statistično večja aktivacija mišice med navadno hojo in obema hojama po naklonini (Hoja A in Hoja A2). V raziskavah so že ugotovili, da ima PB vlogo tudi v fazi predaktivacije, ta pa se poveča, če je stopalo v določeni stopnji inverzije (Konradsen in Højsgaard, 2007; McLoda, Hansen in Birrer, 2004). V fazi kontakta so prav tako bile ugotovljene večje aktivacije PB pri Hoji A in Hoji A2, v primerjavi z navadno hojo. Tako kot PL, ima PB funkcijo vzpostavljanja ravnotežja, ki se še poveča ob manjši hitrosti hoje (Louwerens idr., 1995), kar se je zgodilo pri Hoji A2 v fazi kontakta.

#### *Soleus*

Pri SO pričakovano ni bilo opaženih nobenih razlik v aktivaciji tako v predaktivaciji, kot tudi v kontaktni fazi, saj je glavna funkcija mišice soleus plantarna fleksija stopala (Štiblar Martinčič idr., 2014), ki se poveča samo pri hoji navkreber .

#### *Gastrocnemius Medialis*

Pri GM se je presenetljivo pojavila večja aktivacija mišice v fazi predaktivacije pri Hoji A. Večjo aktivacijo GM so pri hoji po neravni podlagi že ugotovili Voloshina idr., 2013. Lahko predvidevamo, da je ta sprememba nastala zaradi povečane koaktivacije mišice TA/GM v fazi predaktivacije. Večja koaktivacija TA/GM vpliva na togost v gležnju in posledično tudi na stabilizacijo stopala med kontrakcijami z veliko silo (Voloshina idr., 2013).

#### *Gastrocnemius Lateralis*

Pri GL, pričakovano ni bilo opaženih statističnih razlik.



## 4. SKLEP

V raziskovalnem diplomskem delu smo ugotavljali razlike aktivacije šestih mišic goleni (TA, PL, PB, SO, GM, GL) pri treh vrstah hoje – navadni hoji, hoji po naklonini s 30° inverzije in hoji po notranjem delu stopala po naklonini s 30° inverzije. Zanimale so nas predvsem spremembe v aktivaciji mišic TA, PL in PB, ki so najbolj aktivne pri hojah po različnih površinah, pri vzpostavljanju ravnotežja in pri ljudeh z nestabilnimi gležnji (Hopkins idr., 2013; Louwerens idr., 1995; Voloshina idr., 2013).

Za normalizacijo EMG signala pri hojah smo uporabili šest izometričnih maksimalnih meritev gibov gležnja (everzija, inverzija, zunanja rotacija, notranja rotacija, dorzalna fleksija in plantarna fleksija). Pri hoji pa smo uporabili pospeškometer, nadzorovali hitrost z radarjem, nadzorovali izvedbo hoje s kamero.

Podatke smo obdelali z ANOVO za ponovljene meritve. Rezultati raziskave so pokazali razlike v biomehaniki hoje pri površinah z naklonino (krajša dolžina dvokoraka in nižja povprečna hitrost). Statistične razlike so bile tudi v aktivaciji mišic TA, PL, PB in GM in sicer so bile večje pri hojah po naklonini. Potrdili smo obe hipotezi, da se pri hojah po naklonini poveča aktivacija mišic TA, PL in PB v določenem delu koraka.

Raziskava je obsegala veliko časa in veliko število meritev, zato bi lahko izpostavili kakšno pomanjkljivost. Zaradi lastnosti upornic, nismo mogli vsem merjencem zagotoviti idealnih pogojev pri merjenju maksimalnih hotenih izometričnih kontrakcij. Probleme so imeli predvsem visoki in tisti z velikim stopalom. Pri izometričnih meritvah je bilo težko nadzorovati premik v kolenu merjenca, saj se je ta skoraj vedno premaknil za nekaj mm (pri nekaterih merjencih več, pri drugih manj), vendar to ni vplivalo na rezultate meritev, saj smo bili pozorni da so bili ti premiki minimalni, silo pa je merjenec razvijal postopoma.

Meritve niso bile izvedene vedno v enakem časovnem okvirju, tako je bilo nekaj meritev v dopoldanskem času, nekaj pa v popoldanskem času. To bi lahko vplivalo na počutje merjencev in s tem tudi na drugačen rezultat meritev. Prav tako so bili merjenci na meritvah različno predhodno utrujeni, na kar nismo mogli vplivati. Nekateri so prišli spočiti, drugi pa so pred tem imeli že kakšno športno aktivnost in tudi to je lahko vplivalo na rezultate.

V prihodnje bi bilo smiselno opraviti še kakšno podobno raziskavo, kjer bi spremljali kakšen vpliv ima učenje na hojo po površini s 30° naklona inverzije.

## 5. VIRI

- Bienenfeld, D. (26.6.2015). *Dan Bienenfeld. Slaves zombies and prisoners*. Pridobljeno iz <http://danbienenfeld.com/blog/slaves-zombies-and-prisoners/>
- Biomechanics of Walking (Gait)*. (14.7.2014). Foot Education. Pridobljeno iz <http://www.footeducation.com/foot-and-ankle-basics/biomechanics-of-foot-and-ankle/biomechanics-of-walking-gait/>
- Calais-Germain, B. (2007). *Anatomija gibanja: uvod v analizo telesnih tehnik*. Ljubljana: Zavod EMANAT.
- Courtine, G. in Schieppati, M. (2003). Human walking along a curved path. II. Gait features and EMG patterns. *European journal of neuroscience*, 18, 191-205.
- De Koster, K., O'Reilly, N., Jackson, D. in Buxton, S. (2.7.2015). *Gait*. Physiopedia. Pridobljeno iz [http://www.physio-pedia.com/Gait#cite\\_note-Loudon-2](http://www.physio-pedia.com/Gait#cite_note-Loudon-2)
- Donovan, L., Hart, M. J. in Hertel, J. (2014). Lower-extremity electromyography measures during walking with ankle-destabilization devices. *Journal of sport rehabilitation*, 23, 134-144.
- Encyclopaedia britannica. (2.7.2015). *Foot: bones in humans*. Pridobljeno iz <http://www.britannica.com/science/human-body/images-videos/Bones-of-the-foot-showing-the-calcaneus-talus-and-other/101314>
- Encyclopaedia britannica. (2.7.2015). *Tibia: human tibia and fibula*. Pridobljeno iz <http://www.britannica.com/science/human-body/images-videos/Anterior-view-of-the-bones-of-the-lower-right-leg/101354>
- Gait. pronation and supination* (20.7.2012). The sneaker project. Pridobljeno iz <https://thesneakerguide.wordpress.com/2012/07/20/gait-pronation-and-supination/>
- Gao, C., Oksa, J., Rintamaki, H. in Holmer, I. (2008). Gait muscle activity during walking on an inclined icy surface. *Industrial health*, 46, 15-22.
- Garrick, J., Requa, R. (1988). The epidemiology of foot and ankle injuries in sport. *Clinical Journal of Sports Medicine*, 7, 29 - 36.
- Glick, J.M., Gordon, R.B., Nishimoto, D. (1976). The prevention and treatment of ankle injuries. *American Journal of Sports Medicine*, 4, 136 - 141.
- Harrington, I. J. (2005). Symptoms in the opposite or uninjured leg. *Workplace Safety and Insurance Appeals Tribunal*. Pridobljeno iz [http://www.wsiat.on.ca/english/mlo/symptoms\\_leg.htm](http://www.wsiat.on.ca/english/mlo/symptoms_leg.htm)
- Hopkins, J. T., Coglianese, M., Reese, S. In Seeley, K. M. (2013). Alterations in Evertor/Invertor Muscle Activation and Cop Trajectory during a Forward Lunge in Participants with Functional Ankle Instability. *Clinical Research on Foot and Ankle*. Pridobljeno iz <http://www.esciencecentral.org/journals/alterations-in-evertorinvertor-muscle-activation-and-cop-trajectory-during-a-forward-lunge-in-participants-with-functional-ankle-instability-2329-910X-1-122.pdf>

- Joints*. (2.7.2015). Family Podiatry of Maryland. Pridobljeno iz <http://familypodiatryofmd.com/images/joints.jpg>
- Kuni, B., Wolf, I. S., Zeifang, F. in Thomsen, M. (2014). Foot kinematics in walking on a level surface and on stairs in patients with hallux rigidus before and after cheilectomy. *Journal of foot and ankle research*, 7. Pridobljeno iz <http://www.jfootankleres.com/content/7/1/13>
- KJV Dictionary Definition: walk*. (26.6.2015). The King James Bible Page. Pridobljeno iz <http://av1611.com/kjbp/kjv-dictionary/walk.html>
- Louwerens, K. J. W., Van Linge B., De Klerk, W. L. L., Mulder, G. H. P. in Snijders, J. C. (1995). Peroneus longus and tibialis anterior muscle activity in the stance phase. *Acta orthop scand*, 66 (6), 517-523.
- Matjačić Z., Bajd, T. in Gregorič, M. (2006). *Osnove biomehanike bipedalne hoje*. Ljubljana: Inštitut Republike Slovenije za rehabilitacijo.
- Meaning of walk*. (26.6.2015). Cambridge Dictionaries Online. Pridobljeno iz <http://dictionary.cambridge.org/dictionary/british/walk>
- Morris, J. N. In Hardman, A. E. (1997). Walking to health. *Sports Med*. 23(5), 306-320.
- Movements of the foot*. (2.7.2015). Elearn UK. Pridobljeno iz <http://www.elearnuk.co.uk/uploads/courses/168.pdf>
- Murley, S. G., Buldt, K. A., Trump, J. P. in Wickham, B. J. (2007). Tibialis posterior EMG activity during barefoot walking in people with neutral foot posture. *Journal of electromyography and kinesiology*, 19(2), 69-77.
- Owen, W. (7.7.2013). *How to build strong calf muscles*. Travelstrong. Pridobljeno iz <https://travelstrong.net/calf-muscles/>
- Perry, J. (1992). *Gait analysis. Normal and Pathological Function*. Thorofare: Slack incorporated.
- Pungartnik, R. T. (2011). *Funkcionalna anatomija stopala* (izročki predavanj). Neobjavljeno delo. Medicinska fakulteta, Univerza v Ljubljani, Ljubljana, Slovenija.
- Santilli, V., Frascarelli, A. M., Paoloni, M., Frascarelli, F., Camerota, F., De Natale, L. in De Santis, F. (2005). Peroneus longus muscle activation pattern during gait cycle in athletes affected by functional ankle instability: a surface electromyographic study. *The american journal of sports medicine*, 33 (8), 1183-1187.
- Skočni sklep in poškodbe. (8.2.2014). *Moj Axis*. Pridobljeno iz <http://mojaxis.si/skocni-sklep-in-poskodbe/>
- Smr series – feet*. (28.9.2012). Crossfit Fly. Pridobljeno iz <http://www.crossfitfly.com/smr-series-feet/>
- Stopalo in poškodbe*. (6.4.2014). *Moj Axis*. Pridobljeno iz <http://mojaxis.si/stopalo-poskodbe/>
- Supej, M. (2011). *Biomehanika I*. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za šport, Inštitut za šport, Ljubljana.

- Štiblar Martinčič, D., Cvetko, E., Cor, A., Marš, T. in Finderle, Ž. (2014). *Anatomija histologija Fiziologija*. 3. izdaja. Ljubljana: Medicinska fakulteta.
- Voloshina, S. A. (2015). *Biomechanics and energetics of bipedal locomotion on uneven terrain* (Doktorska disertacija, University of Michigan, Kinesiology and Mechanical Engineering). Pridobljeno iz [http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/111616/voloshis\\_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://deepblue.lib.umich.edu/bitstream/handle/2027.42/111616/voloshis_1.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Voloshina, S. A., Kuo, D. A., Daley, A. M. in Ferris, P. D. (2013). Biomechanics and energetisc of walking on uneven terrain. *The Journal of Experimental Biology*, 215, 3963-3970.
- Walking and gaits*. (6.1.2015). Teach me anatomy. Pridobljeno iz <http://teachmeanatomy.info/lower-limb/misc/walking-and-gaits/>
- Yen, S., Guitierrez, G., Wang, Y. in Murphy, P. (2015). Alteration of ankle kinematics and muscle activity during heel contact when walking with external loading. *European journal of applied physiology*. Pridobljeno iz [http://www.researchgate.net/publication/274087143\\_Alteration\\_of\\_ankle\\_kinematics\\_and\\_muscle\\_activity\\_during\\_heel\\_contact\\_when\\_walking\\_with\\_external\\_loading](http://www.researchgate.net/publication/274087143_Alteration_of_ankle_kinematics_and_muscle_activity_during_heel_contact_when_walking_with_external_loading)