

TARTU ÜLIKOOL
Spordibioloogia ja füsioteraapia instituut

Birgit Paluoja

Immobilisatsiooni ja järgneva taastusravi mõju hüppeliigese vigastuse puhul

Bakalaureusetöö
Füsioteraapia õppekava

Juhendaja: Eva-Maria Riso, PhD

Tartu 2013

SISUKORD

LÜHENDID	4
1. SISSEJUHATUS	5
2. SKELETILIHASKOE ÜLDISELOOMUSTUS.....	6
2.1 Lihaskoe ehitus	6
2.2 Lihaskiudude klassifikatsioonid.....	9
2.3 Lihaskontraktsioon.....	10
2.4 Verevarustus lihaskoes.....	12
3. IMMOBILISATSIOONI MÕJU SKELETILIHASKOELE	13
3.1 Immobiliseerimise ja inaktiivsuse põhjused	13
3.2 Atroofia ja selle tekkepõhjused.....	15
3.3 Kaltsiumi kasutamine sarkoplasmaatilises retiikulumis immobilisatsiooni ajal	16
3.4 Muutused fosfokreatiini tasemes immobilisatsiooni mõjul	17
3.5 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju erinevate alajäseme lihaste massile	17
3.5.1 Sääre kolmpealihhas - <i>musculus triceps surae</i> (TS).....	17
3.5.2 Reie nelipealihhas - <i>musculus quadriceps femoris</i>	18
3.5.3 Reie tagumise külje lihased	18
3.6 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju lihase ristlõikepindalale	19
3.7 Mõju lihase jõunäitajatele	20
3.8 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju kannakõõlusele (<i>Tendon Achillei</i>)	20
3.9 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju rasvkoele	21
4. IMMOBILISATSIOONIJÄRGNE FÜSIOTERAAPIA.....	22
4.1 Teraapia võimalused	22
4.1.1 Vastupidavustreening	23
4.1.2 Jõu ning vastupidavuse tõstmine	23
4.1.3 Lihaskõuetõstmine, vastupidavus- ning kõnnitreening.....	24
4.1.4 Venitusharjutused immobilisatsiooni järgselt	25
4.1.5 Manuaalteraapia efektiivsus	26
4.1.6 EMS – elektriline lihasstimulatsioon.....	26
4.2 Teraapia efektiivsus	27
4.2.1 Vastupidavustreeningu mõju	27

4.2.2 Lihase jõu ning vastupidavuse treeningu mõju	27
4.2.3 Lihase jõu ja vastupidavuse tõstmine ning kõnnitreening.....	28
4.2.4 Venitusteraapia	28
4.2.5 EMS-i mõju	29
5. KOKKUVÕTE	30
6. KASUTATUD KIRJANDUS	32
SUMMARY	36

LÜHENDID

ADP – adenosin trifosfaat

ATP – adenosin difosfaat

EMS – *electrical muscle stimulation*, elektriline lihasstimulatsioon

P_i - anorgaaniline fosfaat

PCr – fosfokreatiin

ROM – *range of motion*, liigesliikuvusulatus

1RM – ühekordne maksimaalne koormus

1. SISSEJUHATUS

Skeletilihase on kõige suurema osakaaluga kude inimese kehas, moodustades 40-50% keha massist (Sato *et al.*, 2011). Kolmest erinevast inimese kehas esinevast lihase tüübist on skeletilihase ainukene tahtele alluv lihas (Gaudin & Jones, 1989).

Skeletilihase valgud on pidevas uuenemisprotsessis, mida reguleerib tasakaal valkude sünteesimise ning lagundamise vahel. Kehaline aktiivsus (treening) tõstab valkude sünteesi taset lihastes, see eest lihaste mittekasutamine (immobilisatsioon ja inaktiivsus) ning haigused vähendavad lihastes olevate valkude hulka (Sato *et al.*, 2011).

Immobiliseerimine on tihti osa erinevate kirurgiliste protseduuride postoperatiivsest ravist, kaasa arvatud alajäsemete luumurrud (Christensen *et al.*, 2008).

Sportimisel esineb sageli traumasid, mille ravi vältimatuks osaks on immobilisatsiooniperiood (Court-Brown *et al.*, 2008). Kipslahast kasutatakse ebastabiilsete luude paigast liikumise ennetamiseks murdekohas või osteotoomia piirkonnas, et luude õige joondumine jääks pärast korrigeerimist ka püsima (DiDomenico ja Sann, 2013).

McBryde ja Hoffman (2004) leidsid, et 25% sportlaste vigastustest hõlmavad jalalaba ning hüppeliigest. Hüppeliigese luumurrud (sääreluu või pindluu distaalse osa) on väga levinud, enamasti hõlmab ravi endas hüppeliigese immobiliseerimist kipslahasega, paljudel juhtudel pärast operatiivset fikseerimist (Moseley *et al.*, 2005).

Mehhaanilise koormuse puudumine kutsub esile muutused lihase kontraktsiooniomadustes ning põhjustab atroofia teket (Gardetto *et al.*, 1989). Keskkonnatingimustega kiiresti kohaneva, plastilise koena, adapteerub skeletilihase ka inaktiivsuse tingimustega (Gardetto *et al.*, 1989).

Käesoleva töö eesmärk oli uurida hüppeliigese immobiliseerimise mõju skeletilihassüsteemile. Samuti oli eesmärgiks välja selgitada erinevate terapeutiliste lähenemiste efekt skeletilihasele immobilisatsioonijärgsel taastusravil.

2. SKELETILIHASKOE ÜLDISELOOMUSTUS

Sõna *lihas* (ing.k *muscle*) tuleneb ladinakeelsest sõnast *musculus*, mis tähendab „väike hiir“. Lihased said sellise nime, sest nende liikumine naha all arvati sarnanevat jooksva hiirega (Carola *et al.*, 1990).

Skeletilihas on kõige suurema osakaaluga kude inimese kehas, moodustades 40-50% keha massist (Sato *et al.*, 2011).

Peamine lihaskoe füsioloogiline omadus on tema võime kontraheeruda või lüheneda. Lisaks on lihaskoel veel kolm olulist füsioloogilist omadust: erutatavus – võime vastu võtta stiimuleid ning reageerida nendele; pikendatavus – võime venida; elastsus – võime pärast kontraheerumist või venitust võtta tagasi oma algne kuju. (Carola *et al.*, 1990).

Kolmest erinevast inimese kehas esinevast lihase tüübist on skeletilihas ainukene tahtele alluv lihas. Skeletilihas kinnitub mõlemast otsast kõõlustega luudele ning vastutab luukangide liigutamise eest. Kehas on skeletilihaseid umbes 400. Lisaks lihaskoele, sisaldab skeletilihas ka sidekude, veresooni, verd ning närvikude. (Gaudin & Jones, 1989).

2.1 Lihaskoe ehitus

Skeletilihas koosneb individuaalsetest, spetsialiseerunud rakkudest, mida kutsutakse lihaskiududeks. Need mitmetuumalised rakud on piklikud, silindri kujuga. Lihaskiud on keskmiselt 3.0cm pikkused, kuid inimkehas on ka 30cm ning ainult 0.1cm pikkuseid kiude, diameeter jääb keskmiselt 0.01-0.001cm vahel (Carola *et al.*, 1990).

Väljast ümbritseb lihast sidekoeline kest - epimüüsium, temast sissepoole ulatub sidekoeline kiht perimüüsium, mis koondab lihaskiud kimpudesse. Iga lihaskiu ümber on aga sidekoeline kiht endomüüsium. Iga skeletilihase kiud on ümbritsetud õhukese rakumembraaniga, mida

nimetatakse sarkolemmaks (Gr. *Sarkos*, liha + *lemma*, kest). Kiud sisaldavad mitmeid tuumasid ning spetsiaalset tüüpi tsütoplasmat – sarkoplasmat, milles on hulgaliselt mitokondreid ning individuaalseid niitjaid kiude – müofibrille, mis asetsevad piki kiudu üksteisega paralleelselt (Carola *et al.*, 1990).

Iga müofibrilli ümber ning nendega paralleelselt asetseb sarkoplasmaatiline retiikulum (SR), mis kujutab endast torude ja kaltsiumioone sisaldavate paunade võrgustikku. SR-iga risti asetsevad T-torukesed - seeria torukesi, mis jooksevad risti üle kiudude, moodustades torukeste süsteemi, mida nimetatakse triaadiks (Carola *et al.*, 1990).

Müofibrillid koosnevad paljudest peenetest ja jämedatest valgulistest niidikestest – müofilamentidest. Jämedad müofilamendid koosnevad suhteliselt suure molekulmassiga valgust – müosiinist, peened filamendid moodustuvad väiksema molekulmassiga valkudest – aktiinist, troponiinist ning tropomüosiinist (Carola *et al.*, 1990). Aktiin ja müosiin moodustavad umbes 80% skeletilihase valkudest (Greig ja Jones, 2009).

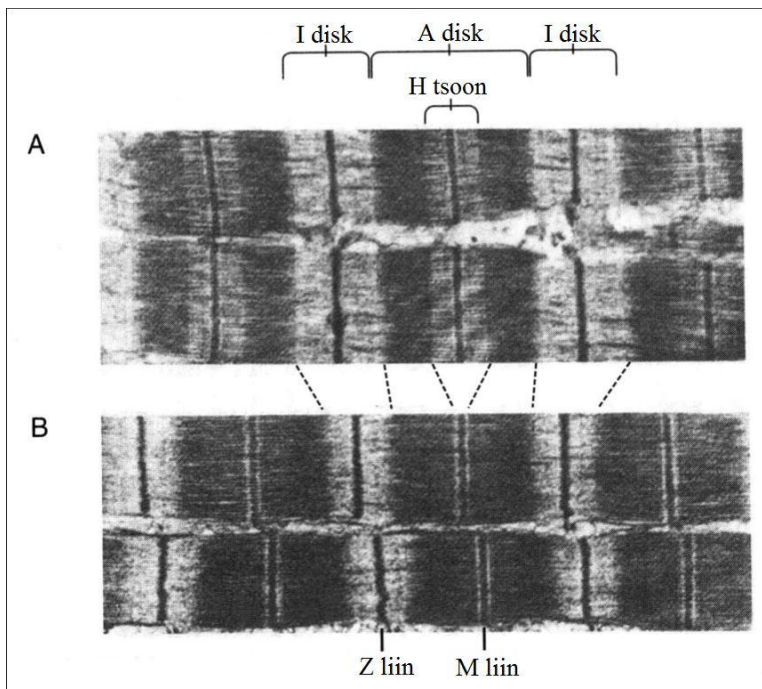
Jäme müosiini müofilament koosneb müosiini molekulidest, millel on ovaalse kujuga pead ning pikad sabad (Carola *et al.*, 1990). Sabaosad koonduvad ning moodustavad jämeda filamendi selgroo. (Pocock, Richards, 2006). Müosiin on kõige suurema osakaaluga kontraktilne lihasvalk (Bottinelli ja Reggiani, 2000).

Aktiini müofilament koosneb aktiinist, tropomüosiinist ning troponiini kompleksist (Carola *et al.*, 1990). Peenike filament kujutab endast aktiini kaksikheeliksit. Kahe aktiini filamendi vahelises õõnsuses asuvad omavahel pea-sabaga seostunud tropomüosiini molekulid. Iga tropomüosiini molekul keerdub ümber seitsme aktiini monomeeri ja on seotud troponiini kompleksiga. Troponiini kompleks koosneb kolmest subühikust: Troponiin T (TnT), Troponiin I (TnI) ja Troponiin C (TnC). Iga peenike filament on ühenduses nelja peene filamendiga, mis kuuluvad külgnevale sarkomeerile (Bottinelli ja Reggiani, 2000).

Troponiini kompleksi iga subühik esineb inimese skeletilihases kahe või enama isovormina. TnC on kaltsiumi siduv valk, esineb kahe isovormi kujul: TnC-*fast* (kiire) ja TnC-*cardiac-slow* (aeglane). Nende põhiline erinevus seisneb kaltsiumi sidumise võimes: TnC-*fast* omab kahte

kõrge ning kahte madalama sidumisaktiivsusega punkti, TnC-*cardiac-slow* aga ühte madala ja kahte kõrge aktiivsusega sidumispunkti. TnI pinnal asuvad sidumispunktid TnC, TnT ja aktiini jaoks võimaldavad otseselt osaleda aktiini-müosiini interaktsioonis koos TnC-ga (Bottinelli ja Reggiani, 2000).

Peenete ja jämedate filamentide kattumise alal moodustub valgusmikroskoobist vaadatuna tume A-disk (joonis 1). Jämedad filamentid moodustavad veidi heledama H-tsooni, peened filamentid paistavad heledate I-diskidena. Igat I-diski poolitab Z-liin. Iga H-tsooni keskel asub M-liin, mis ühendab kõrvuti asuvaid jämedaid filamente (Carola *et al.*, 1990). Inimese lihaste aeglastel kiududel on laiemad Z-liinid kui kiiretel kiududel (Bottinelli ja Reggiani, 2000).



Joonis 11 Sarkomeer. A. Lihas puhkeolekus. B. Kontraheerunud lihas (http://classconnection.s3.amazonaws.com/135/flashcards/665135/png/skeletal_muscle_tem1316405060776.png)

2.2 Lihaskiudude klassifikatsioonid

Skeletilihased on heterogeensed koed, sest nad peavad vastama eri loomaliikide väga erinevatele funktsionaalsetele nõuetele (Bottinelli ja Reggiani, 2000). Imetajate skeletilihastes eksisteerib mitu erinevat müosiini raskete ahelate isovormi, mis mõjutavad eri tüüpi lihaskiudude kontraktsioonimadusi ja sarkomeeri lühenemise kiirust (Greig ja Jones, 2009).

Funktsionaalne paindlikkus laseb sama lihast kasutada erinevat tüüpi ülesanneteks. Rühi hoidmine, korduvad maksimumilähedased kontraktsioonid ning kiired ja tugevad maksimaalsed kontraktsioonid põhinevad: 1. võimsal ja täpsel närvikontrollil (motoneuroni laengu edasi andmise kiirus), 2. eri tüüpi funktsionaalsete omadustega (nt: kontraktsiooni kiirus, maksimumvõimsus, maksimaalne lühenemise kiirus, vastupidavus väsimusele) lihaskiudude olemasolul igas lihases (Bottinelli ja Reggiani, 2000).

Skeletilihase kiud varieeruvad nii struktuurilt kui funktsioonilt. Kaks peamist inimese lihaskiudude jaotamise kategooriat on: aeglased ehk tüüp I kiud ning kiired ehk tüüp II kiud, viimane jaguneb veel alatüüpideks IIA ja IIX (Shaffer ja Neblett, 2010; Greig ja Jones, 2009).

Tüüp I ehk aeglaseid kiudusid nimetatakse nende müoglobiinirohkeuse tõttu ka punasteks kiududeks (Shaffer ja Neblett, 2010). Nad on vähem võimsad tüüp II kiududest , aga see eest väsimusele vastupidavamad, kohandunud eelkõige kehahoiu säilitamiseks ning igapäevasteks madala intensiivsusega pikaajalisteks tegevusteks (Greig ja Jones, 2009). Tüüp II kiudusid kutsutakse valgeteks kiududeks väiksemast verevarustusest tingitud heledama värvuse pärast (Shaffer ja Neblett, 2010). Nemad on võimsamad kiud ning neid rakendatakse tööle järskudeks, kõrge intensiivsusega lühiajalisteks pingutusteks, näiteks sprintimine või hüppamine (Greig ja Jones, 2009).

Kiire kontraktsioon ja suur jõud eeldavad kõrget ATP uuenemiskiirust ning see on võimalik ainult tänu glükolüüsile ning fosfokreatiini lagundamisele. Seega võib järeldada, et fosfokreatiini tase ning glükolüütiliste ensüümide aktiivsus on tüüp II kiududes kõrgem. Tüüp I kiududel on küll madalamad energeetilised nõuded, aga seda asendab süsivesikute ning

rasvade oksüdatiivne ainevahetus. Tüüp I kiude iseloomustab kõrge lipiiditilgakeste ning mitokondrite sisaldus, neis on ka rohkem kapillaare – parem hapnikurikka verrega varustatus ning rohkem müoglobiini (Greig ja Jones, 2009).

Enamik inimese lihastest sisaldab võrdse segu kiiretest ning aeglastest kiududest, kuid inimeseti on kiudude varieerumine suur. Tüüp I ja II kiudude osakaal määratakse juba väga varases arenguetapis, kapillaaride ning mitokondrite hulka saab aga vastava treeninguga mõjutada. (Greig ja Jones, 2009)

2.3 Lihaskontraktsioon

Skeletilihaskude on erutuv kude ning lihaskoe stimulatsioon viib kiiresti kogu raku erutumiseni. Aksoni iga haru, sisenedes lihasesse, varustab ühte ainukest kiudu (Pocock, Richards, 2006).

Skeletilihase kiud moodustavad keskmiselt 150 kiust koosnevaid kimpe. Kiude igas kimbus kontrollib üks motoneuron. Motoneuronit koos kiududega, mida ta innerveerib, nimetatakse motoorseks ühikuks (Carola *et al.*, 1990). Kõigil ühe motoorse ühiku lihaskiududel on samad kontraktiilsed, histoloogilised ning biokeemilised omadused (Greig ja Jones, 2009).

Valikuline motoorsete ühikute värbamine, vastavalt tegevuse nõuetele, võimaldab lihasel parimal viisil reageerida funktsionaalsetele nõuetele. Lihaskiudude heterogeensus on alus paindlikkusele, mis võimaldab sama lihast kasutada erinevateks ülesanneteks alates pidevatest madala intensiivsusega tegevustest kuni korduvate maksimumilähedaste kontraktsioonideni. Kiudude struktuur ning funktsionaalsed omadused võivad muutuda vastusena hormoonide või närvitegevuse mõjule (Schiaffino *et al.*, 2011).

Lihase olemus seisneb tema võimes genereerida jõudu ning võimaldada liikumist, kuigi tegelikult lihased ise ainult lühenevad kontraktsiooni käigus. Sarkomeer on lihase väikseim kontraktiilne üksus. (Greig ja Jones, 2009). Sarkomeer ulatub ühest Z-liinist teiseni (Carola *et*

al., 1990). Kontraktsiooni aluseks on valkude aktiini ja müosiini koostoime (Greig ja Jones, 2009).

Jämedate müosiini filamentide kõik pead on suunatud väljapoole, et nad saaksid moodustada sidemeid aktiini filamentidega - ristsillakesi. Müosiini peal on aktiini suhtes väga tugev tõmme ning kui nad saavad sideme luua, siis paindub kaelaosa roteerub, tõmmates aktiini filamenti sarkomeeri keskme suunas. Liigutus, mis ühe molekuli fleksioonil teostub, on väga väike, seetõttu on pideva liigutuse saavutamiseks vajalik müosiini pea eemaldumine aktiini filamendist töökäigu lõpus ning uue tsükli alustamine tagapool asetseva sidumiskohaga (Greig ja Jones, 2009). Iga ahelas olev aktiini molekul saab endaga siduda ühe müosiini pea piirkonna. (Pocock ja Richards, 2006).

Energia, mis on vajalik lihase kontraheerumiseks, tuleb vahetult ATP hüdroolüüsist ADP-ks ja P_i -ks (Carola *et al.*, 1990). ATP seondumine müosiiniga on see faktor, mis laseb müosiinil aktiini filamendist lahti lasta. ATP puudumise korral jäävad ristsillakesed seotuks (näiteks rigor morgis – koolnukangestus). ATP hüdroolüüsi käigus vabanenud energia põhjustab müosiini filamendi kaelapiirkonna pikenemist nii, et ta on jälle valmis aktiini filamendile kinnitades uut tsüklit alustama. Kogujõud, mis tegevuseks rakendatakse, on kõigi individuaalselt loodud ristsillakeste genereeritud jõu kogusumma. (Greig ja Jones, 2009)

Sarkoplasmaatilise retiikulumi (SR) kaltsiumioonide regulatsioon mängib samuti tähtsat rolli skeletilihase kontraktsioonil. Pärast aktsioonipotentsiaali edasi kandumist SR-ile, vabaneb Ca^{2+} SR-ist sarkoplasmasse, kus see seob ennast kontraktiilsete valkudega. Kaltsiumioon eemaldab troponiini pärssiva efekti ning seeläbi võimaldab lihaskontraktsiooni. Jõu arendamine skeletilihases on tingitud intratsellulaarse Ca^{2+} tõusust SR-ist. Intratsellulaarse Ca^{2+} stimulatsioonijärgse tõusu suurusjärk oleneb Ca^{2+} vabanemisest SR-ist, Ca^{2+} kasutuselevõtust SR poolt ja müoplasma Ca^{2+} eemaldamise kiirusest (Thom *et al.*, 2001).

2.4 Verevarustus lihaskoes

Lihaseid varustavad verega arterid, mis tungivad lihaseni läbi sidekoelise katte. Seejärel hargnevad arterid peenteks õhukeseseinalisteks veresoonteks, mida kutsutakse kapillaarideks. Iga individuaalne lihase rakk on ümbritsetud kapillaaridega, mis varustavad neid hapniku ning glükoosiga. Kuhjunud jääkained eemaldatakse lihastest samuti kapillaaride kaudu ning juhitakse venoosse verega südame poole (Carola *et al.*, 1990).

Ilma pideva ning adekvaatse hapnikuvarustusega ei oleks lihas võimeline korralikult kontraheeruma ning kui hapniku pealevool liiga kauaks katkeb, hakkab lihas nõrgenema ning kärbuma (Carola *et al.*, 1990).

3. IMMOBILISATSIOONI MÕJU SKELETILIHASKOELE

Skeletilihase valgud on pidevas uuenemisprotsessis, mida reguleerib tasakaal valkude sünteesimise ning lagundamise vahel. Kehaline aktiivsus (treening) ning anaboolsed hormoonid ja ravimid tõstavad valkude sünteesi taset lihastes. See eest sarkopeenia, lihaste mittekasutamine (immobilisatsioon ja inaktiivsus) ning haigused vähendavad lihastes olevate valkude hulka. Lihase valgusünteesi intensiivsuse langus ja valgudegradatsiooni suurenemine ilmnevad nii lihase kontraktilises aparatis kui rakuvälises maatriksis (Sato et al., 2011).

Immobiliseerimine on tihti osa erinevate kirurgiliste protseduuride postoperatiivsest ravist, kaasa arvates alajäsemete luumurrud (Christensen *et al.*, 2008).

Immobiliseerimiseks kasutatavate vahendite hulka kuuluvad: 1. kipslahas – kipsist või sünteetilisest materjalist valmistatud ning täpselt patsiendile kohandatav; 2. *backslab*-id – poolikud/lühikesed kipsid; 3. ortoosid – kaubanduses kätte saadavad toetused (Lin et al., 2008).

Kipsiga immobiliseerimine on üldtunnustatud ravivahend luumurdude ning operatsioonijärgse immobiliseerimise korral. Kipslahast kasutatakse ebastabiilsete luude paigast liikumise ennetamiseks murdekohas või osteotoomia piirkonnas, et luude õige joondumine jääks pärast korrigeerimist ka püsima (DiDomenico ja Sann, 2013).

3.1 Immobiliseerimise ja inaktiivsuse põhjused

Keskkonnatingimustega kiiresti kohaneva, plastilise koena, adapteerub skeletilihas ka inaktiivsuse tingimustega. Lisaks paljude traumade ravis vajalikule liikumatusperioodile esineb lihaste mittekasutamist ka mitmetel teistel juhtumitel, näiteks kaalutaolek kosmoselendudel ja denervatsioon. Mehhaanilise koormuse puudumine kutsub esile muutused lihase kontraktsiooniomadustes ning põhjustab atroofia teket (Gardetto *et al.*, 1989).

Sportimisel esineb sageli traumasid, mille ravi vältimatuks osaks on immobilisatsiooniperiood. Spordist tingitud vigastuste epidemioloogia erineb kogu maailmas vastavalt ühiskonna heaolule, vahendite kättesaadavusele ning eri spordialade hetkepopulaarsusele (Court-Brown *et al.*, 2008).

2000 aastal ravis *Royal Infirmary of Edinburgh* 5953 statsionaarset ning ambulatoorset luumurdudega patsienti. Nendest luumurdudest 761 (12.8%) põhjuseks oli spordivigastus. Ühe luumuru oli sportimine põhjustanud 734-l patsiendil, kaks luumurdu esines 25-l haigel ning kahel patsiendil oli lausa kolm luumurdu. 174 (22,9%) nendest luumurdudest esines alajäsemetes, millest kõige levinumad olid murrud hüppeliigese luudes, varbaluudes, metatarsaalluudes ning sääreluu keskosas. (Court-Brown *et al.*, 2008).

1988-1989 kuni 2003-2004 aastatel kogus *Collegiate Athletic Association (NCAA) Injury Surveillance System* andmeid traumade ning vigastuste kohta 15-lt erinevalt sportlikult tegevusalalt: meeste pesapall, meeste korvpall, naiste korvpall, naiste maahoki, meeste ameerika jalgpalli sügishooaeg, meeste ameerika jalgpalli kevadhooaeg, naiste võimlemine, meeste jäähoki, meeste *lacrosse* (kahvpall), naiste *lacrosse*, meeste jalgpall, naiste jalgpall, naiste *softball*, naiste võrkpall, meeste maadlus. Nende 16 aasta jooksul koguti andmeid 182 000 trauma ning natuke rohkem kui 1 miljoni vigastuse kohta, mis nõudsid meditsiinilist abi ning mille tulemusena vähemalt üks päev tuli sportimisest kõrvale jääda.

Rohkem kui 50% raporteeritud vigastustest oli alajäsemetele - põlve ja hüppeliigese vigastused neist kõige levinumad (Hootman *et al.*, 2007). McBryde ja Hoffman (2004) leidsid, et 25% sportlaste vigastustest hõlmavad jalalaba ning hüppeliigest.

Hüppeliigese luumurd on üks levinumaid alajäseme murde (Lin *et al.*, 2008). Hüppeliigese immobiliseerimiseks kipslahase või komposiitlahase kasutamine on levinud tava hüppeliigese nihestuse, metatarsaalluu või hüppeliigese luude murru korral (Grosset *et la.*, 2008; Psatha *et al.*, 2012).

Hüppeliigese immobiliseeritakse keskmiselt 4-10 nädalaks (Grosset *et al.*, 2008; Christensen *et al.*, 2008). Peamine ebamugavus hüppeliigese immobilisatsiooni juures on järgnev lihasatroofia ning skeletilihase funktsionaalse võimekuse langus, mis võivad kahjustada teisi kehalisi võimeid, takistada maksimaalse füüsilise võimekuse taastumist atleetidel (Grosset *et la.*, 2008).

Lihaste kärbumine põhjustab ka hüppeliigese stabiilsuse langust ning posturaalse stabiilsuse ja mobiilsuse halvenemist (Psatha *et al.*, 2012) Hüppeliigeste murdudega inimesed kogevad tihti valu, jäikust, nõrkust, paistetust ning aktiivsuse piiratust näiteks kõnnil (Lin *et al.*, 2008).

3.2 Atroofia ja selle tekkepõhjused

Atroofiat defineeritakse kui koe või organi mõõtmete kahanemist raku kokkutõmbumise tõttu (Bonaldo ja Sandri, 2013). Olenemata põhjusest (nt immobilisatsioon, denervatsioon, lihase raskusjõu ära võtmine, vananemine, erinevad haigused), iseloomustab skeletilihase atroofiat kiu diameetri ja jõu produktsiooni vähenemine ning kiire väsimine (Jackmann ja Kandarian, 2003). Raku suuruse vähenemine on põhjustatud organellide, tsütoplasma ning proteiinide hävimisest (Bonaldo ja Sandri, 2013).

Jõu langus on kõige märgatavam atroofia ilming. Lihase jõud väheneb kõige dramaatilisemalt esimesel immobilisatsiooni nädalal; edaspidi toimub väiksem nõrgenemine. Seda peegeldavad muutused mittekasutatud lihase EMG tulemustes, muutusi võib näha ka lihase kaalu ning lihaskiu suurusi vaadeldes. Aeglased lihased, milles esineb valdavalt oksüdatiivne ainevahetus, on kõige altimad atroofiale (Appell, 1990).

Hapnikuga varustamine võib olla mittekasutatavas lihases halvenenud, kuid müoglobiini sisaldus atroofilises lihases tõuseb. Mitokondrite funktsiooni täielik kadu esimestel mittekasutamise päevadel võib olla etioloogilise tähtsusega.

Erinevad atroofiat esile kutsuvad seisundid eeldavad ka erinevat tüüpi molekulaarseid *trigger*-eid ning eri signaali ülekanderadu, mis viivad lihase kärbumiseni (Jackmann ja Kandarian, 2003).

Pärast esimest füsioloogilist stiimulit - skeletilihas ei kannu enam raskust või ei kontraheeru, algab inaktiivsusega seotud molekulide - algatavate *trigger*-te ja signaalvalkude koostoimel, lihase valkude degeneratsiooni protsess (Jackmann ja Kandarian, 2003). Suurenenud degradatsioon ning vähenenud valgusüntees koos põhjustavad lihase valkude hävimise

immobilisatsiooni ajal. Kuigi atroofiat põhjustavad *trigger*-id võivad erineda, sisaldub igas erinevas lihassmassi kaotuse juhtumis sarnane proteolüüsi stimuleeriv programm (Zhang *et al.*, 2007).

3.3 Kaltsiumi kasutamine sarkoplasmaatilises retiikulumis immobilisatsiooni ajal

Üks mehhanism, mis võib algatada lihase atroofiat on intratsellulaarsete kaltsiumioonide (Ca^{2+}) homöostaasi muutused. On tõestatud, et püsiv intratsellulaarse kaltsiumi tõus stimuleerib lihases valkude katabolismi (Thom *et al.*, 2001).

Uuritavad immobiliseeriti 10 päevaks, puusast hüppeliigeseni, ning proovid võeti reie nelipealihasest (*musculus quadriceps femoris*). Juba kolmandaks päevaks oli Ca^{2+} kasutamine sarkoplasmaatilises retiikulumis (SR), mida analüüsiti mg/märja koe kohta, langenud 13,3%. Kümneandaks immobilisatsiooni päevaks oli Ca^{2+} kasutamine langenud 80,2%-ni kontrollväärtusest (Thom *et al.*, 2001).

SR Ca^{2+} kasutamise vähenemine koos muutumatu SR Ca^{2+} vabanemisega võivad olla põhjuseks, miks intratsellulaarse kaltsiumi tase kasvas. Uurimus näitab, et immobilisatsiooni põhjustatud lihasatroofiaga kaasnevad muutused SR Ca^{2+} kasutuses (Thom *et al.*, 2001).

Sarkoplasmaatilise retiikulumi Ca^{2+} kasutamise vähenemine ning muutused SR-is ei ole tingitud Ca^{2+} ATPaasi aktiivsuse langusest. Kuna normaalselt funktsioneerivas SR-is eraldub Ca^{2+} peamiselt SR-i läbi SR Ca^{2+} ATPaas-pumpade, võivad need muutused olla tingitud SR membraani pumpade uncoupling- protsessist või SR Ca^{2+} ATPaasi pumba ning SR Ca^{2+} kasutuse tasemete vahel ühenduse kadumiset (Thom *et al.*, 2001).

3.4 Muutused fosfokreatiini tasemes immobilisatsiooni mõjul

Lihase mittekasutamisele järgnevat funktsionaalsuse kadu ning lihase jõu arendamise langust on seostatud lihase kontraktiilse ala vähenemise ning metaboolsete omaduste muutustega. Pärast seitset nädalat säärelihase immobilisatsiooni oli patsientide puhkeoleku P_i sisaldus (8.41 ± 0.41 vs. 5.07 ± 0.33 mM) ning P_i/PCr suhe (0.22 ± 0.03 vs. 0.12 ± 0.01 mM) võrreldes kontrollgrupiga märgatavalt tõusnud. P_i sisaldus oli suurenenud 66% ning P_i/PCr suhe 83%. PCr kontsentratsioon ning pH baastase ei olnud kontrollgrupist oluliselt erinevad. Uurimistulemused näitavad, et energiarikaste fosfaatide sisalduse muutused mõjutavad immobilisatsiooni ajal skeetilihaste jõugenereerimise võimet (Pathare *et al.*, 2005).

3.5 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju erinevate alajäseme lihaste massile

Lihasmass võib märkimisväärselt tõusta vastusena kõrge vastupanuga treeningule ning väheneda vanuse, kroonilise haiguse või immobilisatsiooni tagajärjel (Psatha *et al.*, 2012)

3.5.1 Sääre kolmpealihase - *musculus triceps surae* (TS)

Sääre kolmpealihase suurimaks lihaseks on lestlihas (*musculus soleus*), suuruselt teine on kaksiksääremarjalihase mediaalne pea (*musculus gastrocnemius medialis* - GM) ning väikseim kolmest on kaksiksääremarjalihase lateraalne pea (*musculus gastrocnemius lateralis* - GL). Pärast nelja nädalat immobilisatsiooni selgus, et võrreldes immobilisatsioonieelse perioodiga olid kaksiksääremarjalihased kõige enam mõjutatud GL -26,7%; GM -28,3%. Lestlihase mass oli vähenenud 17,1%. Kogu TS lihas kokku oli oma massist kaotanud 21,9% Immobilisatsiooni ega taastumise periood aga ei muutnud lihaste suuruste vahekorda (Grosset *et al.*, 2008).

Psatha (2012) tegi enda uuringuga kindlaks, et säärelihase mass vähenes neljandaks immobilisatsiooni nädalaks 16,2%. Kipslahase põhjustatud lihasmassi kadu oli esialgu väga kiire, kuid muutus järjest aeglasemaks.

3.5.2 Reie nelipealihase - *musculus quadriceps femoris*

Jala ja hüppeliigese immobiliseerimine viib olulise lihase massi vähenemiseni kõigis reie nelipealihase peades, isegi kui see lihasgrupp ei ole otseselt immobiliseeritud (Grosset *et al*, 2008).

Reie nelipealihase suurimaks lihaseks on külgmine pakslihas (*musculus vastus lateralis* – VL), millele järgnevad vahepealne pakslihas (*musculus vastus intermedius* - VI, keskmine pakslihas (*musculus vastus medialis* – VM) ning viimasena reie sirglihas (*musculus rectus femoris* – RF). Nagu sääre kolmpealihaselgi, ei muutunud nende suuruste vahetõrge immobilisatsiooni ega taastumise perioodil (Grosset *et al*, 2008).

Enne ja pärast immobilisatsiooni tehtud mõõtmistel selgus, et kogu nelipealihase mass oli vähenenud 24,1%, neljast peast oli kõige rohkem mõjutatud VI -29,5% (Grosset *et al*, 2008).

3.5.3 Reie tagumise külje lihased

Hamstringlihaste gruppi kuuluvad poolkõõluslihas (*musculus semitendinosus* - ST), on neist neljas suurim, talle järgneb reie kakspealihase pikk pea (*musculus biceps femoris caput longum* – BFLH), poolkilelihas (*musculus semimembranosus* - SM) ning väikseim on reie kakspealihase lühike pea (*musculus biceps femoris caput breve* - BFSH). Immobilisatsiooni mõjul vähenes kogu hamstringlihaste grupi mass 6,5%, kõige rohkem vähenes reie kakspealihase lühike pea -10,8% (Grosset *et al*, 2008).

Kuigi põlv ei olnud immobiliseeritud, oli reie nelipealihase rohkem mõjutatud kui näiteks sääre kolmpealihase, sellest võib järeldada, et antigravitatsioonilised lihased – põlve ja hüppeliigese ekstensorid, on immobilisatsiooni poolt kõige rohkem mõjutatud (Grosset *et al*, 2008).

3.6 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju lihase ristlõikepindalale

ROM-walker-iga immobiliseeritud patsientidel, kellel oli poole immobilisatsiooni perioodi peal lubatud osaline keharaskuse kandmine kipsis jalale, leiti kompuutertomograafiat kasutades, et seitsme nädala möödudes oli immobiliseeritud jala säärelihase ristlõikepindala vähenenud 15% ($5,316 \pm 306 \text{ mm}^2$ -lt $4,517 \pm 307 \text{ mm}^2$ -le) (Christensen *et al.*, 2008).

Uuritavatele patsientidel, kellel pandi kips hüppeliigese murru tõttu 6 nädalaks, leiti MRI-d kasutades muutusi lihase ristlõikepindalas juba kolmandal immobilisatsioonipäeval. Kuuenda nädala lõpuks oli suurim kadu GM ristlõikepindalas -23.3%, talle järgnes SOL -19.0% ning GL -17.1%, kõige väiksem kärbumine toimus eesmisel sääreluulihases (*musculus tibialis anterior* – TA) -10.7%. Kontralateraalse jalaga tekkis mõõtmistulemustes märkimisväärne erinevus kaheksandaks päevaks. Huvitav oli see, et 29. ning 42. päeva vahel oli toimunud GM ning GL ristlõikepindalade suurenemine ehk lihase taastumine. Kuigi sääre posterioorsete lihaste vähenemine jäi keskmiselt 17-24% vahele, siis ühel patsiendil ulatus kärbumine peaaegu 40%-ni (Psatha *et al.*, 2012).

Dorsaalfleksori (TA) ristlõikepindala vähenemine oli ainult umbes pool plantaarfleksorite vähenemisest, mis tähendab suuremat vastupidavust immobilisatsioonist põhjustatud atroofiale. Kuna TA-s on suurem tüüp I lihaskiudude sisaldus, mis tähendab et ta on aeglane lihas, siis selle uuringu tulemusena selgub, et antigravitatsioonilised lihased ei ole kõige rohkem immobilisatsioonist mõjutatud. (Psatha *et al.*, 2012)

Ühepoolse hüppeliigese kesk-või külgsasariku (*malleolus medialis; malleolus lateralis*) murruga patsiendid immobiliseeriti pärast operatsiooni, hüppeliiges neutraalses asendis ning lühikese kipsiga keskmiselt 7 nädalaks. Esimesel kahel immobilisatsiooni nädalal tekkis üle 50% säärelihase plantaarfleksorite atroofiast - ristlõikepindala vähenes 14,1%. Võrreldes mõõtmistulemusi immobiliseerimata jalaga, leiti säärelihase plantaarfleksorite maksimaalse ristlõike pindala vähenemine seitsmenda nädala lõpuks 26,4% ning dorsaalfleksoritel 18,5% (Stevens, *et al.*, 2005).

3.7 Mõju lihase jõunäitajatele

Kümmel uuringus osalenud hüppeliigese kesk- või külgsasariku murdudega patsienti said operatiivset ravi, mille järgselt neil jalg immobiliseeriti lühikese kipslahasega kaheksaks nädalaks. Esimesel neljal nädalal oli kipsitud jalale raskuse kandmine keelatud, järgmisel neljal nädalal võis taluvuse piiiril raskust kanda.

Kaheksa immobilisatsiooninäda järgselt oli plantaarfleksori pöördemoment kõikidel testitavatel nurkkiirustel (0-st 30°, 60°, 120° ja 180°/s) ning asendites (0 ja 10° plantaarfleksiooni) langenud. Kipsis jala mõõtmistulemused olid umbes poole väiksemad võrrelduna terve jalaga ning lausa 68% väiksemad mittevigastatute grupi näitajatest (Shaffer *et al.*, 2000)

Enne taastusravi perioodi algusest esines immobiliseeritud ning kontrollgrupi inimeste plantaarfleksori pöördemomentide vahel oluline erinevus: $3.16 \pm 0.18 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$ ja $1.82 \pm 0.18 \text{ N}\cdot\text{m}/\text{cm}^2$. Immobiliseeritud jalaga inimestel oli näitaja 42% madalam kontrollgrupi tulemustest. (Pathare *et al.*, 2005)

Pärast seitset nädalat immobilisatsiooni lühikese kipsiga võrreldi mõõtmistulemusi immobiliseerimata jalaga ning leiti lihasaktiivsiooni langus 42.0% ning 75.1%-ne plantaarfleksori pöördemomendi vähenemine (Stevens *et al.*, 2005).

Christensen (2008) leidis enda uuritavatel, et pärast seitsmenädalat hüppeliigese immobiliseerimist ROM-walker-ig oli säärelihase isomeetriline jõud vähenenud 54% ($238.7 \pm 21.3 \rightarrow 110.4 \pm 16.7 \text{ N}\cdot\text{m}$)

3.8 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju kannakõõlusele (*Tendon Achillei*)

Kannakõõluse ristlõikepindala ei muutunud isegi mitmenädalase immobilisatsiooni järgselt (Christensen *et al.*, 2008).

Achilleuse kõõluse ristlõikepindala mõõdeti 3-7 päeva pärast hüppeliigese murru teket. Võrreldes tulemusi terve jalaga, oli immobiliseeritud jala Achilleuse kõõluse ristlõikepindala 16% suurem (75.2 ± 3.2 and 89.4 ± 7.4 mm²). Kõik teised mõõtmised mis tehti pärast immobilisatsiooni- ning remobilisatsiooniperioodi, ei näidanud suurt erinevust immobiliseerimata jala kõõluse ristlõikepindaga. (Christensen *et al.*, 2008).

Kuigi leiti kollageeni sünteesi tõus, oli see suure tõenäosusega tingitud suurenenud luukoe ainevahetusest murru piirkonnas. (Christensen *et al.*, 2008).

Uuringus, kus patsientide ühe jala hüppeliiges immobiliseeriti neljaks nädalaks (kõnnil pidid kasutama karke, jalale raskust ei tohtinud kanda) leiti aga et immobilisatsiooni põhjustas märkimisväärset ristlõikepindala suurenemist Achilleuse kõõluse ning distaalse aponeuroosi mingites osades. Ristlõikepindala suurenemist esines peamiselt Achilleuse kõõluse ning distaalse aponeuroosi distaalsemas osas. See osa on suure tõenäosusega posturaalsest manipulatsioonist tingitud vedelike ümberjaotumise reservuaariks.

Kogu kõõluse pikkus (kõõlus ning distaalne aponeuroosi pikkus) vähenes nelja nädala jooksul 1,6% ($21,7 \pm 2,2$ cm enne, $21,4 \pm 2,2$ cm pärast). Eraldi võttes toimus distaalse aponeuroosi ning kõõluse sarnane lühenemine, kuid need ei olnud nii märkimisväärsed tulemused.

Neli nädalat immobilisatsiooni põhjustas kõõluse hüpertroofiat (kude suurenes 6%), kuid vähendas jäikust. Selle põhjuseks arvatakse olevat muutused kõõluse koostises, sest hüpertroofia suurus ei olnud vastavuses kõõluse elastsete omaduste muutustega (Kinugasa *et al.*, 2010).

3.9 Hüppeliigese immobilisatsiooni mõju rasvkoele

Pärast 28 immobilisatsiooni päeva oli uuritava jala nahaalune rasvkoe mass oluliselt vähenes: reiel 9,0% ning säärel 10,2% (enne ja pärast immobilisatsiooni). Pärast kahekuust taastumist toimus rasvkoe kasv reiel 2,3% ning säärel 1,2% (Grosset *et al.*, 2008).

4. IMMOBILISATSIOONIJÄRGNE FÜSIOTERAAPIA

Kõik jalgade töö põhinevad spordialad rakendavad jalalabale ning hüppeliigesele olulist koormust, mis aja möödudes viib edasiste probleemideni. Ebastabiilsus, luumurd, juba olemasolev kaasasündinud või arenguhäirest tingitud probleem võib ilmnedakuutselt või kroonilise probleemina. Kui mõni mitteoptimaalne lähenemine ei ole edukas, võib operatiivne sekkumine taastusraviga võistlus- või tervisesportlase tagasi oma spordiga tegelemise juurde aidata (McBryde et al., 2004)

Täielik taastumine atroofiast on võimalik, kuid tavaliselt on taastumise faas pikem kui oli täieliku immobilisatsiooni periood (Appell, 1990).

4.1 Teraapia võimalused

Kahe kuu taastumise perioodil, ilma teraapiata, oli lihase massi kasv TS lihasel 0,26% päevas. Kogu lihase mass jäi aga 9,5% väiksemaks võrreldes immobilisatsioonieelse perioodiga. Pärast kahte kuud taastumist toimus reie nelipealihase kõigis neljas lihas osas lihase massi tõus 0,41% päevas. Kogu nelipealihase mass jäi siiski 5,2% väiksemaks immobilisatsioonieelsest perioodist. Hamstringi lihased olid eelmainitute palju vähem immobilisatsioonist mõjutatud ning taastumisel isegi ületasid vigastuseelse lihasmassi näitajaid. Lihase kasv päevas oli 0,16% (Grosset et al, 2008). Pärast kahekuust taastumist jäi nahaaluse rasvakoe hulk reiel siiski 6,9% ning säärel 9,2% väiksemaks võrreldes immobilisatsioonieelse perioodiga. (Grosset *et al*, 2008).

4.1.1 Vastupidavustreening

Pärast kahenädalast immobilisatsiooni sooritas uuringugrupp vastupidavustreeningut kuus nädalat, kolm korda nädalas. Esimesel ning teisel nädalal tegid uuritavad 2x15 (seeria x korduste arv) ühel jalal varvastele tõusu (kogu keharaskusega ning kogu liigesliikuvuse ulatuses), 2x15 plantaarfleksiooni istuvas asendis jõumasinal. Kolmandal ja neljandal nädalal sooritasid uuritavad 3x15 ühel jalal varvastele tõusu, juurde lisati 10% keharaskusest ning 3x15 ekstsentrilist dorsaalfleksiooni progresseeruva raskuse tõusuga (kontsentrilises faasis kasutasid mõlemat jalga, ekstsentrilises faasis ainult ühte). Viiendal ja kuuendal nädalal tegid patsiendid sama korduste ning seeriade arvu harjutusi, mis eelmisel kahel nädalal, kuid varvastele tõusul lisati juurde raskus, mis oli 20% nende keharaskusest. Seega sooritasid katsealused treeningu, mis oli suunatud jõu, lihasvastupidavuse ja sidekoevalkude uuenemise kasvule (Nedergaard *et al.*, 2012).

4.1.2 Jõu ning vastupidavuse tõstmine

Ühepoolse hüppeliigese kesk-või külgvasariku murruga patsiendid immobiliseeriti pärast operatsiooni keskmiselt 7 nädalaks. Teraapiaga keskenduti plantaarfleksorite jõu ning vastupidavuse tõstmisele. Füsioteraapiat teostati 10 nädala vältel, üks tund treeningut kolmel päeval nädalas. Võimlemist alustati ühe nädal möödumisel kipsi eemaldamisest, enne seda said patsiendid jalale soojaravi, liigese mobiliseerimist ning passiivseid venitusi.

Vastupidavustreening sisaldas endas jooksulindil ülesmäge kõndi, iganädalase kaldenurga tõusu (0-10%), kõnni kestuse pikenemise (10-20 min) ning kõnnikiiruse suurenemisega (1,5-3 mph). Jõutreeningut tehti ainult kipsis olnud alajäsemele ning see põhines progresseeruva vastupanuga treeningu printsiipidel. Kasutati eritellimusel tehtud hüdraulilist plantaarfleksiooni masinat, mis osutas kogu liigesliikuvusulatus (ROM) ulatuses plantaarfleksoritele vastupanu. Esimese jõutreeningu nädalal sooritati treeningut intensiivsusega 50% ühekordsest maksimaalsest koormusest (1RM). 1RM hinnati iga nädal. Igapäevasesse ravisse kuulus ka liigese mobiliseerimine, passiivsed venitusharjutused, soojakottide kasutamine ning hüppeliigese proprioretseptiivsed harjutused. (Stevens *et al.*, 2005)

4.1.3 Lihaskõnnitreening, vastupidavus- ning kõnnitreening

Taastusraviprogramm, mis keskendus lihaskõnnitreenimisele ning kõnnitreeningul, viidi läbi kolm korda nädalas kümne nädala jooksul. Patsiendid alustasid füsioteraapiaga koheselt pärast kipsi eemaldamist, jõuharjutuste ning kõnnitreeninguga alustati teisele nädalal, et vältida ülepingutamist uute vigastuste teket.

Enne teraapiatunni algust asetati patsientide hüppeliigestele 15-ks minutiks soojakott. Sellele järgnesid 3. või 4. astme anterioorsed ja posterioorsed liigutused tibiotalaarliigeses, hüppeliiges 10-kraadises plantaarfleksioonis ja neutraalses inversioonis/eversioonis. Passiivsed venitusarjutused hüppeliigese dorsaalfleksoritele sooritati nii flekseeritud kui ekstenseeritud põlvega. Nende harjutustega alustati igat teraapiatundi kuni hüppeliiges oli saavutanud 90% terve jala passiivsest liigesliikuvusulatuses. Füsioteraapia juurde kuulus ka treenimine tasakaalulaua *BAPS (Biomechanical Ankle Platform System)* – 15 kordust ühel jalal kõigis liikumissuundades. (Shaffer *et al.*, 2000).

Kõnnitreening sooritati jooksulindil, kus patsiendid said soovi korral toetuseks kasutada käetugesid. Treenimist alustati 10 minutilise tasasel pinnal kõndimisega. Iga nädal lisati juurde kaks minutit ning 1% tõusu, kuni kõnni kestvuseks oli 28 minutit ning tõusunurgaks 8%. Nurka suurendati, et soodustada hüppeliigese ROM-i dorsaalfleksioonil ning stimuleerida plantaarfleksoreid (Shaffer *et al.*, 2000).

Vastupidavustreeningu põhines progresseeruva vastupanuga treeningul ning sooritati kohandatud hüdraulilisel seadmel, mis andis pidevat vastupanu kogu liigesliikuvuse ulatuses ning võimaldas nii kontsentrilist kui ekstsentrilist treeningut. Treening sooritati ekstenseeritud ja ka flekseeritud põlvega, et treenida nii sääre kakspealihast kui lestlihast. Vastupidavustreeningut alustati sooritades soojenduseks kümme kordust kahes seerias intensiivsusega 40% iga patsiendi maksimaalsest ühekordsest koormusest ning treeninguna tehti harjutust kolm seeriat kaheksa kordusega 50% intensiivsusega. Kui patsientidel ei esinenud kahjulikke reaktsioone vastusena treeningule (nt valu tõus, passiivse liigesliikuvuse vähenemine), tõsteti harjutuse intensiivsust 80%-le, et anda piisavat stiimulit plantaarfleksoritele jõu arendamisvõime tõstmiseks. Maksimaalne ühekordne koormus määrati iga nädal uuesti. (Shaffer *et al.*, 2000).

4.1.4 Venitusharjutused immobilisatsiooni järgselt

Kipsi eemaldamise järgselt esineb 77%-l patsientidest plantaarfleksori kontraktuur, kahe aasta möödudes on see arv langenud 22%-le. Kontraktuuri ei põhjusta otseselt luumurd, vaid kujuneb välja adaptiivse vastusena immobilisatsioonile. Kui lihaskude venitada, muutub ta elastsemaks, seda nii lühiajalise mehaanilise mehhanismi kui pikaajalise koe struktuuride adaptiooni kaudu (Moseley *et al.*, 2005).

Moseley (2005) viis läbi uuringu, et selgitada välja kahe erineva säärelihase venitusteraapia (lühiajalise ning pikaajalise venituse) ning kontrollgrupi (ainult terapeutilised harjutused) efektiivsust hüppeliigese murru järgse plantaarfleksorite kontraktuuri taastusravis.

Uuritavad võtsid osa viiest ravisessioonist ning täitsid neljanädalase harjutuste koduprogrammi. Ravi hõlmas endas ettekirjutusi, juhendeid ning jälgimist. Kontrolliti kodust harjutusprogrammi täitmist kontrollgrupil ning koju antud venitusharjutusprogrammi täitmist venituse gruppidel.

Kolme tüüpi harjutusi kästi kõigil gruppidel teha: hüppeliigese mobiliseerimise ning tugevdamise harjutused, sammumise harjutused ning keharaskuse kandmisi ja stabiliseerivad harjutused vigastatud jalale. Kõiki neid harjutusi pidi tegema 30 kordust iga päev. Harjutus+lühiajaline venitus grupis pidid uuritavad tegema kuus minutit venitusi iga päev (kaksteist 30-sekundilist venitust; alguses olid venitused ilma keharaskuse kandmiseta, järjest võis raskust lisama hakata). Uuritavad harjutus+pikk venitus grupis pidid sooritama venitusi 30 minutit iga päev (Moseley *et al.*, 2005).

Venitusi tehti püstises asendis, selg vastu seina ning vigastatud jalg kiilul, kui püstises asendis ei kannatanud, sooritati venitus istudes. Kiilu kalle ning raskus, mida jalale kanti kohandati nii, et uuritav tundis mugavat venitus hüppeliigeses ning sääre lihastes. Nurka ning raskust tõsteti teraapiate progresseerudes. Kõik patsiendid läbisid kõnnitreeningu ning nõustamise. Vajadusel said kasutada jääd valu vähendamiseks, kompressiooni ning jala kõrgemale tõstmist paistetuse vähendamiseks (Moseley *et al.*, 2005).

4.1.5 Manuaalteraapia efektiivsus

Uuriti manuaalteraapia tõhusust 94 hüppeliigese murruga patsiendi seas (suure amplituudilised anterior-posteriorsed kontsluu (*os talus*) liuglemised). Uuritavad jaotati ravigruppi (manuaalteraapia+ harjutused) ning kontrollgruppi (ainult harjutused).

Uuringu tulemused näitasid, et venitused või manuaalne teraapia pärast hüppeliigese murru järgset immobilisatsiooni ei andnud paremaid tulemusi kui oli kontrollgrupil (nt hüppeliigese ROM-is). Sellest võib järeldada, et hüppeliigese immobilisatsiooni järgselt peaks taastusravi keskenduma progresseeruvale ning struktureeritud harjutuste programmile (Lin *et al.*, 2010)

4.1.6 EMS – elektriline lihasstimulatsioon

Et ennetada lihase atroofia teket ning säilitada lihase jõud, tuleks patsientide treenimisega alustada võimalikult varajases postoperatiivses perioodis. Immobiliseeritud jäseme puhul treenimise võimalused väga piiratud. Üks valik selle probleemi lahendamiseks on lihase elektristimulatsiooni (EMS – *electrical muscle stimulation*) kasutamine. EMS kutsub esile skeetilihase kontraktsiooni nahale asetatavate elektrodide kaudu, mis depolariseerivad nahaaluseid motoorseid närve (Hasegawa *et al.*, 2011).

Uuringusse kuulusid kontrollgrupp, kes läbis tavapärase taastusravi programmi ning EMS grupp, kes sai lisaks tavalisele taastusravile EMS treeningut lisaks. Teraapiaga alustati teisel postoperatiivsel päeval, nelja nädala jooksul viiel päeval nädalas.

Kontraktsiooni kutsuti korraga esile põlve ekstensorites, põlve fleksorites, hüppeliigese dorsaal- ning plantaarfleksorites ilma et liigete liikumine oleks kaasatud. Lihaste stimuleerimine toimus 20 minutit korraga, patsient oli seliliasendis voodis. Kõikidel patsientidel kasutati kõrgeimat stimulatsiooni intensiivsust, mida nad välja kannatasid. (Hasegawa *et al.*, 2011)

4.2 Teraapia efektiivsus

4.2.1 Vastupidavustreeningu mõju

Vastupidavuse parandamisele suunatud taastusravi protokoll tulemusena oli kuuendaks nädalaks uuritavate lihase mass ning jõud taastunud immobilisatsioonieelsele tasemele. (Nedergaard *et al.*, 2012)

4.2.2 Lihase jõu ning vastupidavuse treeningu mõju

Suurim lihase taastumine toimus esimesel viiel nädalal: lihase aktivatsioon 48,1%; ristlõikepindala 16,4%; pöördemoment 152,0%. Pärast kümnet nädalat taastusravi olid kõik eelmainitud uurimisobjektid taastunud võrreldavale tasemele terve jala tulemustega. Järgneval viiel nädalal oli lihase aktivatsiooni tõus 10,6%, maksimaalse ristlõikepindala kasv 14,1% ning pöördemomendi juurdekasv 38,5% (Stevens *et al.*, 2005).

10 nädalasel taastusravi perioodi, mis keskendus jõu ning vastupidavuse tõstmisele, alanesid P_i sisaldus ning P_i/PCr suhe järk-järgult, nii et taastusravi lõpuks olid need väärtused ligilähedased kontrollrühmaga. Suurim P_i sisalduse (80%) ning P_i/PCr suhte (75%) langus toimus viiel esimesel taastusravi nädala. Järgmisel viiel nädalal toimus langus vastavalt 20 ning 25%.

Taastusravi perioodi jooksul toimus oluline pöördemomendi taastumine, viie esimese taastumise nädala jooksul oli see koguni 80%. Viienda ja kümnenda taastusravi nädala jooksul ei olnud kasv nii suur, kuid siiski 20%. Kuigi immobilisatsioonigrupis olnud inimesed näitasid taastusravi käigus jõu arendamises tulemustes paranemist, olid need kontrollgrupi näitajatest siiski erinevad.

Regressiooni analüüsidest oli näha pöördvõrdeline suhe immobiliseeritud patsientide plantaarfleksi maksimaalse jõumomendi ning puhkeoleku P_i vahel. Taastusravi käigus plantaarfleksi ristlõikepindala moodustas ainult 39% jõumomendi variatsioonist, ristlõikepindala ja puhkeoleku P_i kokku moodustasid aga 52% variatsioonist. Sellest võib järeldada, et P_i -l on jõu tootmisele pärssiv efekt (Pathare *et al.*, 2005).

4.2.3 Lihase jõu ja vastupidavuse tõstmine ning kõnnitreening

Nii isomeetiline kui isokineetiline plantaarfleksi tipp-pöördemoment tõusis taastusraviga märkimisväärselt – viiendaks immobilisatsioonijärgseks nädalaks oli pöördemoment sarnane terve jala tulemusele. Taastusravi kümnenäädala lõpuks kipsis olnud jala plantaarfleksi pöördemoment ületas algse kontralateraalse jala pöördemomendi. Kontrollgrupi patsientide sama jala näitajatega erinevusi ei esinenud (Shaffer *et al.*, 2000).

Esimesel immobilisatsioonijärgsel nädalal tehtud testide tulemuste põhjal selgus, et patsientide kipsis alajäse oli rohkem väsimusele resistentne kui nende terve jalg ning kontrollgrupis osalenute sama jalg. Kipsis olnud patsiendi jalal esines ainult 25.4%±6.2% väsimust, tervel jalal 51.8%±4.8% ning kontrollgrupil 40.6%±3.6% väsimust. Kuigi väsimusele vastupidavus vähenes taastusravi käigus, tõusis 10 nädala jooksul kogu töö 50 maksimaalse isokineetilise 60°/s kontraktsiooni juures ligikaudu kolm korda (Shaffer *et al.*, 2000).

Funktsionaalsetes testides esines esimesel immobilisatsioonijärgsel nädalal suuri erinevusi immobiliseeritud patsientide ning mittevigastatud grupi tulemuste vahel. Suurimat erinevust märgati trepist alla tuleku ajas, mis erines 4-5 korda.. (Shaffer *et al.*, 2000)

Patsiendid näitasid funktsionaalset paranemist kogu kümne nädala taastusravi vältel, suurimad tulemuste paranemised leidsid aset aga esimese viie nädala jooksul. Kümnenäädala lõpuks ei olnud enam ühtegi erinevust kipsis olnud patsientide ning kontrollgrupi funktsionaalsete testide tulemuste vahel. Ühel jalal päkale tõusu teisti ei suutnud esimesel kipsivabal nädalal sooritada seitse patsienti, kümnenäädala lõpuks suutsid kõik patsiendid immobilisatsioonis olnud jalal seistes kümme korda põiale tõusta (Shaffer *et al.*, 2000).

4.2.4 Venitusterapia

Passiivsete venituste programmi lisamine teraapiasse ei omanud mingit eelist ainult harjutustest koosneva programmi ees immobilisatsioonist tekkinud kontraktsiooni ravimisele pärast hüppeliigese murdu.

Ei olnud ühtegi statistiliselt või kliiniliselt märkimisväärset erinevust passiivsele ROM-ile harjutusgrupi, lühiajalise venituse+harjutused grupi ning pikaajalised venitused+harjutused grupi vahel (Moseley *et al.*, 2005).

4.2.5 EMS-i mõju

Nelja postoperatiivse nädala jooksus kasvas säärelihase paksus EMS grupis märkimisväärselt võrrelduna kontrollgrupiga. Võrreldes enne operatsiooni, oli säärelihase paksus EMS grupil kolme kuu möödudes märkimisväärselt suurem, kuid kontrollgrupil ei esinenud operatsioonieelse ning kolme kuu möödudes säärelihase paksuses suuri muutusi.

Neli nädalat EMS treeningut 20 Hz-ga taastusravi varajases faasis ennetas lihase atroofiat ning nõrkust, põhjustas isegi säärelihase hüpertroofiat (Hasegawa *et al.*, 2011).

5. KOKKUVÕTE

Immobilisatsiooni mõju skeletilihassüsteemile on uuritud palju, kuid ikka leidub vastakaid arvamusi ning vastukäivaid uurimustulemusi.

Sporditraumade hulgas on luumurrud väga levinud, seda eriti hüppeliigese ning labajala osas. Luumurdude ravi juurde käib aga alati immobilisatsioon, olenevalt murru raskusastmest võib sellele eelneda ka operatiivne sekkumine.

Lihase olemus seisneb tema võimes genereerida jõudu ning võimaldada liikumist. Immobilisatsioonil on aga lihase jõudu pärssiv, massi ning ristlõikepindala vähendav efekt. Lihase atroofiat iseloomustab kiu diameetri, jõu produktsiooni vähenemine ning kiire väsimine. Atroofiat põhjustab immobilisatsioonist tingitud lihaskontraktsiooni ning raskuse kandmise stiimuli puudumine, mis omakorda viib valkude sünteesi vähenemiseni.

Lisaks konkreetset immobilisatsioonis olevatele struktuuridele mõjutab immobiliseerimine ka ümbritsevaid kudesid. Näiteks on hüppeliigese immobiliseerimisel efekt peale sääre lihaste ka reie nelipealihasele ning reie tagumise rühma kõigile lihastele, kuigi nemad ei ole otseselt immobiliseeritud.

Immobilisatsioonil on kiire efekt lihaste struktuuri muutmisel. Keskmiselt immobiliseeritakse jäse 4-6 nädalaks, mõnikord ka 10 nädalaks. Ristlõikepindalas on leitud muutis aga juba kolmandal immobilisatsiooni päeval. Kõige kiirem lihase koostise muutus toimub esimesel viiel nädalal, vähenevad lihase ristlõikepindala, lihase mass ning ka jõu genereerimise võime.

Huvitav on see, et hüppeliigese immobilisatsioonist ei ole kõige rohkem kahjustatud mitte sääre lihased, vaid suurim mõju on hoopis reie nelipealihase juurde kuuluvale vahepealsele pakslihasele, sellele järgneb sääre kolmpealihase kaksiksääremarjalihase lateraalse pea kahjustus ning reie tagumise külje lihastest tekkib suurim atroofia reie kakspealihase lühikeses peas. Selline järjekord kehtib nii ristlõikepindala kui ka massi vähenemise suhtes.

Immobiliseerimiseks on võimalik kasutada erinevaid vahendeid - kipslahast, mida ei ole ise võimalik eemaldada ning ortoosid (nt ROM-*walker*), millega on lubatud osaline keharaskuse kandmine ja vajadusel on võimalik ta eemaldada. Kipslahast kasutatakse praeguses praktikas kõige enam, sest sellega on võimalus sekundaarsete probleemideks tekkeks kõige väiksem. Ortoosidega on aga võimalik varem taastusraviga alustada, et lihas ei jõuaks nii palju kahjustuda.

Immobilisatsioonist põhjustatud atroofia viib üldise funktsionaalse võimekuse langusele – raskendatud on igapäevase tegevused nagu kõnd ja trepist kõnd. Immobilisatsioonist tingitud atroofiast on võimalik taastuda, kuid selleks kuluv aeg on immobilisatsiooni perioodis pikem. Kuna peamine immobilisatsiooni efekt on lihaste kärbumine, põhjustab see omakorda liigete ebastabiilsust. Seetõttu peaks ka taastusravi keskenduma eelkõige lihasjõu taastamisele ning liigese stabiilsuse tagamisele.

Uuringutega selgus, et veinitus- ning manuaalteraapial ei olnud taastumist kiirendavat efekti võrreldes harjutustel põhineva teraapiakavaga. Kõige paremaid tulemusi immobilisatsioonist taastumisel saadi taastusraviga, mis koosnes harjutustest lihase jõu ja vastupidavuse tõstmiseks ning kõnnitreeningust.

Väga hea efekt lihase atroofia tekke vähendamisele ning taastumisele oli ka EMS-teraapial. EMS-iga sai alustada juba varajases ravi etapis ilma vigastatud piirkonda kahjustamata ning tulemused olid head.

Kokkuvõtvalt võib väita, et hüppeliigese immobilisatsioonist taastumiseks kulub rohkem aega kui oli kogu immobiliseerimise periood. Kõige paremaid tulemusi on võimalik saada taastusraviga, mis juba varakult algaks EMS teraapiaga ning pärast kipsi eemaldamist keskenduks harjutustele hüppeliigest ümbritsevate lihaste jõu ning vastupidavuse tõstmiseks ning hõlmaks endas ka kõnnitreeningut.

6. KASUTATUD KIRJANDUS

1. Appell, H.-J. Muscular atrophy following immobilisation: A review. *Sports Medicine*, 1990, Volume 10, Issue 1, Pages 42-58
2. Bonaldo, P., Sandri, M. Cellular and molecular mechanisms of muscle atrophy. *Disease Models & Mechanisms* 6, 25-39 (2013)
3. Bottinelli, R., Reggiani, C. Human skeletal muscle fibres: molecular and functional diversity. *Progress in Biophysics & Molecular Biology*, 2000, Volume 73, 195±262
4. Carola, R., Harley, J.P., Noback, C.R. *Human anatomy and physiology*. 1990
5. Christensen, B., Dyrberg, E., Aagaard, P., Enejhøj, S., Krogsgaard, M., Kjær, M., Langberg, H. Effects of long-term immobilization and recovery on human triceps surae and collagen turnover in the Achilles tendon in patients with healing ankle fracture. *Journal of Applied Physiology*, 2008, Volume 105: 420–426,
6. Court-Brown, C.M., Wood, A.M., Aitken, S. The epidemiology of acute sports-related fractures in adults. *Injury, International Journal of the Care of the Injured*, 2008, 39, 1365—1372
7. DiDomenico, L.A., Sann, P. Univalve Split Plaster Cast for Postoperative Immobilization in Foot and Ankle Surgery. *The Journal of Foot & Ankle Surgery*, 2013, Volume 52, 260–262
8. Gardetto P.R., Schluter J.M., Fitts R.H. Contractile function of single muscle fibers after hindlimb suspension. *Journal of Applied Physiology*, 1989, 66: 2739-2749.
9. Gaudin, A.J. ja Jones, K.C. *Human anatomy and physiology*, 1989

10. Greig, C.A., Jones, D.A. Muscle physiology. *SURGERY*, 2009, 28:2
11. Grosset, J-F. ja Onambele-Pearson, G. Effect of Foot and Ankle Immobilization on Leg and Thigh Muscles' Volume and Morphology: A Case Study Using Magnetic Resonance Imaging. *THE ANATOMICAL RECORD*, 2008, 291:1673–1683
12. Hasegawa, S., Kobayashi, M., Arai, R., Tamaki, A., Nakamura, T., Moritani, T. Effect of early implementation of electrical muscle stimulation to prevent muscle atrophy and weakness in patients after anterior cruciate ligament reconstruction. *Journal of Electromyography and Kinesiology*, 2011, Volume 21, 622–630
13. Hootman, J.M., Dick, R., Agel, J. Epidemiology of Collegiate Injuries for 15 Sports: Summary and Recommendations for Injury Prevention Initiatives. *Journal of Athletic Training*, 2007, Volume 42(2):311–319
14. Jackman, R.W. ja Kandarian, S.C. The molecular basis of skeletal muscle atrophy. *American Journal of Physiology Cell Physiology*, 2004, Volume 287: C834–C843
15. Kinugasa, R., Hodgson, J.A., Edgerton, V.R., Shin, D.D. ja Sinha, S. Reduction in tendon elasticity from unloading is unrelated to its hypertrophy. *Journal of Applied Physiology*, 2010, Volume 109:3, 870–877.
16. Lin, C-W.C., Hiller, C.E. and de Bie, R.A. Evidence-based treatment for ankle injuries: a clinical perspective. *The Journal of Manual & Manipulative Therapy*, 2010, 18(1): 22–28.
17. Lin, C.-W., Moseley, A.M., Refshauge, K.M. Effects of rehabilitation after ankle fracture: a Cochrane systematic review. *European Journal of Physical and Rehabilitation Medicine*, 2009, Volume 45, 431-441
18. McBryde, A.M., Hoffman, J.L. Injuries to the Foot and Ankle in Athletes. *Southern Medical Journal*, 2004, Volume 97:8, 738-741

19. Moseley, A.M., Herbert, R.D., Nightingale, E.J., Taylor, D.A., Evans, T.M., Robertson, G.J., Gupta, S.K., Penn, J. Passive Stretching Does Not Enhance Outcomes in Patients With Plantarflexion Contracture After Cast Immobilization for Ankle Fracture: A Randomized Controlled Trial. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*, 2005, Volume 86, 1118-1126
20. Nedergaard, A., Jespersen, J.G., Pingel, J., Christensen, B., Sroczynski, N., Langberg, H., Kjaer M., Schjerling P. Effects of 2 weeks lower limb immobilization and two separate rehabilitation regimens on gastrocnemius muscle protein turnover signaling and normalization genes, *BMC Research Notes* 2012, 5:166
21. Pathare, N.C., Stevens, J. E., Walter, G.A., Shah, P., Jayaraman, A., Tillman, S.M., Scarborough, M.T., Parker Gibbs, C. Deficit in human muscle strength with cast immobilization: contribution of inorganic phosphate. *European Journal of Applied Physiology*, 2006, Volume 98, 71–78
22. Pathare, N.C., Walter, G.A., Stevens, J.E., Yang, Z., Okerke, E., Gibbs, J.G., Esterhai, J.L., Scarborough, M.T., Gibbs, C.P., Sweeney H.L., Vandenborne, K. Changes in inorganic phosphate and force production in human skeletal muscle after cast immobilization. *Journal of Applied Physiology*, 2005, 98: 307–314,
23. Pocock, G., Richards, C.D. *Human Physiology: the basis of medicine*. 2006
24. Psatha, M., Wu, Z., Gammie, F.M., Ratkevicius, A., Wackerhage, H., Lee, J.H., Redpath, T.W., Gilbert, F.J. Ashcroft, G.P. Meakin, J.R., Aspden, R.M. A Longitudinal MRI Study of Muscle Atrophy During Lower Leg Immobilization Following Ankle Fracture. *Journal of magnetic resonance imaging*, 2012, Volume 35, 686-695
25. Sato, S., Shirato, K., Tachiyashiki, K., Imaizumi, K. Muscle Plasticity and β 2-Adrenergic Receptors: Adaptive Responses of β 2-Adrenergic Receptor Expression to

Muscle Hypertrophy and Atrophy. *Journal of Biomedicine and Biotechnology*, Volume 2011, 10

26. Scott, W., Stevens, J., Binder-Macleod, S.A. Human Skeletal Muscle Fiber Type Classifications. *Physical Therapy*, 2001, Volume 81, Issue 11
27. Shaffer, F. ja Neblett, R. *Practical Anatomy and Physiology: The Skeletal Muscle System Biofeedback*, 2010, Volume 38, Issue 2, pp. 47–51
28. Shaffer, M.A., Okereke, E., Esterhai J.L.Jr, Elliott, M.A., Walter, G.A., Yim, S.H., Vandenborne, K. Effects of Immobilization on Plantar-Flexion Torque, Fatigue Resistance, and Functional Ability Following an Ankle Fracture. *Physical Therapy*, Volume 80, Number 8, 2000
29. Thom, J.M., Thompson, M .W., Ruell, P.A., Bryant, G.J., Fonda, J.S., Harmer A.R., Janse de Jonge, X.A.K. ja Hunter, S.K. Effect of 10-day cast immobilization on sarcoplasmic reticulum calcium regulation in humans. *Acta Physiologica Scandinavica*, 2001, 172, 141±147
30. http://classconnection.s3.amazonaws.com/135/flashcards/665135/png/skeletal_muscle_tem1316405060776.png

SUMMARY

The effects of immobilization and rehabilitation on skeletal muscle after ankle injury.

The aim of this bachelor thesis was to research studies and give an overview of the effect of immobilization and different rehabilitation protocols on skeletal muscle after ankle injury.

Ankle injuries are one of the most common injuries in sport, fractures being one of the main reasons. Immobilization is common practice for ankle fractures, in some cases after surgical intervention. Cast immobilization is used to forestall movement of unstable bones.

The main effect of immobilization on skeletal muscle is atrophy. Decrease in muscle force is the most notable occurrence of muscle atrophy. But it also causes loss in muscle mass, decrease in muscle cross section area and decreases muscles fatigue resistance.

Muscle is usually immobilized for 4 to 6 weeks, in some cases for 10 weeks. The first changes in muscle size have been found on the third day of immobilization. Fastest decrease in muscle force, cross section area and in muscle mass happens on the first five weeks of immobilization.

Immobilization causes muscles, around joints, to lose their strength, which makes joints unstable. Rehabilitation after ankle immobilization should focus on restoring the strength and endurance of muscles around the ankle, so that patient could return to their normal life as soon as possible.

The best results for therapeutic approach after ankle immobilization were EMS treatment during immobilization and exercise program that focused on recovering strength and fatigue resistance of the calf muscles and gait training after the removal of the cast

Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina Birgit Paluoja

(sünnikuupäev: 28.03.1990)

1. annan Tartu Ülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda loodud teose

Immobilisatsiooni ja järgneva taastusravi mõju hüppeliigese vigastuse puhul,

mille juhendaja on Eva-Maria Riso,

1.1.reprodutseerimiseks säilitamise ja üldsusele kättesaadavaks tegemise eesmärgil, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace-is lisamise eesmärgil kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

1.2.üldsusele kättesaadavaks tegemiseks Tartu Ülikooli veebikeskkonna kaudu, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace'i kaudu kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni.

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Tartus, 20.05.2013