

TARTU ÜLIKOOL
sporditeaduste ja füsioteraapia instituut

Allar Mällo

**Jalgpallurite hamstringlihaste maksimaalse tahtelise ekstsentrilise
kontraktsioonijõu muutuse hindamine eri intensiivsustega treeningkoormuste
järgselt**

**Evaluation of the change in the maximum voluntary eccentric contraction force of the
hamstring muscles in soccer players after training loads of different intensities**

Magistritöö

füsioteraapia õppekava

Juhendaja:

Valu käsitlemise ja spordifüsioteraapia nooremlektor M. Arend, PhD

Kaasjuhendaja:

Treeninguteaduste teadur P. Purge, PhD

Tartu, 2023

SISUKORD

KASUTATUD LÜHENDID	3
TÖÖ LÜHIÜLEVAADE.....	4
ABSTRACT	5
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	7
1.1. Hamstringlihaste vigastused jalgpallis	7
1.2. Hamstringlihaste vigastuste riskifaktorid	9
1.3. Lihaväsimus kui hamstringlihaste vigastuse riskifaktor	10
2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED	12
3. METOODIKA	13
3.1. Valim	13
3.2. Uuringu korraldus	13
3.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmine	15
3.4. Reie nelipealihase kontsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmine	16
3.5. Astmeline koormustest jooksulindil	17
3.6. Tavapärane jalgpallitreening	18
3.7. Andmete statistiline analüüs	18
4. TÖÖ TULEMUSED	19
4.1. Lihaskõuetõu muutused koormustestil	19
4.2. Lihaskõuetõu muutused tavapärasel jalgpallitreeningul	21
4.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihaskõuetõude suhte muutused.....	23
5. ARUTELU	25
5.1. Hamstringlihaste vigastuste esinemine vaatlusalustel.....	25
5.2. Lihaskõuetõu muutused treeningkoormuste järgselt.....	25
5.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihaskõuetõude suhte muutused.....	28
5.4. Uurimistöõ limitatsioonid ja tugevused.....	29

6. JÄRELDUSED	30
KASUTATUD KIRJANDUS	31
LISAD	34
LISA 1. Uuringu protseduuriline korraldus.....	34
LISA 2. Borgi modifitseeritud 10-palli skaala treeningu raskusastme hindamiseks.....	35
LISA 3. Jalgpallitreeningute ülesehitus testimispäevadel	36
Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks	39

KASUTATUD LÜHENDID

1CMJ - *single leg countermovement jump* - püstiasendist allaliikumisega ühelt jalalt üleshüpe

DXA - *Dual-energy X-ray absorptiometry* - röntgenkiirtel töötav luudensitomeeter

H_{CONC}:Q_{CONC} - hamstringlihaste kontsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise kontraktsioonijõudude suhe

H_{ECC}:Q_{CONC} - hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsetrilise kontraktsioonijõudude suhe

HL - hamstringlihased

NHE - *Nordic Hamstring exercise* - Nordic Hamstring testharjutus

RPE - *rating of perceived exertion* - subjektiivselt tajutud treeningu raskusaste

TÖÖ LÜHIÜLEVAADE

Töö eesmärk: Käesoleva magistritöö põhieesmärk oli hinnata kahe erineva iseloomuga treeningkoormuse mõju hamstringlihaste maksimaalsele tahtelisele ekstsentrilisele kontraktsioonijõule Eesti meistriliigas mängivatel jalgpalluritel.

Metoodika: Uuringus osales 12 meesjalgpallurit (vanus: $21,5 \pm 4,17$ a; kehapikkus: $181,83 \pm 3,77$ cm; kehakaal: $76,53 \pm 6,72$ kg) Tartu Jalgpallikool Tammeka jalgpalliklubist. Mängijad sooritasid *Nordic Hamstring* testharjutuse (ingl *Nordic Hamstring exercise*, NHE) ja püstitasendist allaliikumisega ühelt jalalt üleshüpe (ingl *single leg countermovement jump*, 1CMJ) enne (*PRE*), vahetult pärast (*POST*) ja 15 minutit pärast (*POST+15*) astmelist koormustesti jooksulindil ning jalgpallitreeningut (1h 30min). Enne testharjutuste sooritamist koguti andmed antropomeetriliste näitajate kohta ning teostati kehakoostise analüüs röntgenkiirtel töötava luudensitomeetri (*Dual-energy X-ray absorptiometry*, DXA) seadmega. Lisaks koguti informatsioon mängijate varasemate hamstringlihaste ülevenitusvigastuste kohta.

Tulemused: Astmeline koormustest jooksulindil ei põhjustanud kummalgi alajäsemel statistiliselt olulist hamstringlihaste ekstsentrilise lihasjõu langust. Pärast tavapärasel jalgpallitreeningul langes NHE tulemus mõlemal alajäsemel, kuid statistiliselt oluline oli muutus domineerival alajäsemel (*PRE* $353,1 \pm 67,80$ N, *POST* $332,1 \pm 61,07$ N, $p < 0,05$). Domineeriva alajäseme NHE tulemuse vähenemine oli statistiliselt oluline ka *PRE* ja *POST+15* vahel ($353,1 \pm 67,80$ N, $321,4 \pm 66,86$ N, $p < 0,01$) ja mittedomineerival alajäsemel *POST* ja *POST+15* NHE tulemuste vahel ($320,5 \pm 71,49$ N, $309,2 \pm 70,54$ N, $p < 0,01$).

Kokkuvõte: Astmeline koormustest jooksulindil ei põhjustanud statistiliselt olulist hamstringlihaste ekstsentrilise lihasjõu langust. Tavapärasel jalgpallitreeningul oli olulisem mõju hamstringlihaste ekstsentrilise lihasjõu muutusele, mis võib suurendada hamstringlihaste ülevenitusvigastuse tekkimise riski.

Märksõnad: jalgpall, hamstringlihased, ekstsentriline lihasjõud, hamstringlihaste ülevenitusvigastused

ABSTRACT

Aim: The main aim of the present study was to evaluate the effect of two different training loads on the changes in maximum voluntary eccentric contraction force of the hamstring muscles in soccer players playing in Estonian championships.

Methods: 12 soccer players (age: $21,5 \pm 4,17$ yrs; body height: $181,83 \pm 3,77$ cm; body mass: $76,53 \pm 6,72$ kg) from Tartu JK Tammeka participated in the present study. The players performed the Nordic Hamstring exercise (NHE) and the single leg countermovement jump exercise (1CMJ) before (PRE), immediately after (POST) and 15 minutes after (POST+15) the VO_{2max} test on treadmill and the regular soccer practice (1h 30min). Before the tests, anthropometric data were collected, and a body composition was recorded by Dual-energy X-ray absorptiometry (DXA). In addition, information on the history of previous hamstring injuries was collected.

Results: After the treadmill test, the changes in the NHE results of both lower limbs were not statistically significant in POST and POST+15. After soccer training, the NHE results decreased in both lower limbs, but the change in the dominant limb was statistically significant (PRE $353,1 \pm 67,80$ N, POST $332,1 \pm 61,07$ N, $p < 0,05$). The decrease in the NHE result of the dominant limb was statistically significant between PRE and POST+15 ($353,1 \pm 67,80$ N, $321,4 \pm 66,86$ N; $p < 0,01$) and of the non-dominant limb between POST and POST+15 ($320,5 \pm 71,49$ N, $309,2 \pm 70,54$ N; $p < 0,01$).

Conclusions: The treadmill test did not cause a statistically significant decrease in the eccentric strength of hamstring muscles. The regular soccer training resulted in a greater impact on eccentric muscle strength of the hamstring muscles, which may increase the risk of hamstring strain injury.

Key words: soccer, hamstring muscles, eccentric strength, hamstring strain injury

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

Jalgpallimäng on vahelduva intensiivsusega spordiala koos paljude füüsiliste, tehniliste, taktikaliste, psühholoogiliste ja füsioloogiliste nõudmistega (Owen *et al.*, 2015). Mäng ise nõuab oma olemuselt korduvaid suunamuutusi, sprinte, kiirendusi ja pidurdusi koos keerukate ja füüsilist pingutust nõudvate tehniliste tegevustega, mille tõttu on ka vigastuste esinemissagedus profijalgpallis kõrge ning mängijate vigastuspausid mõjuvad negatiivselt kogu võistkonna tulemustele (Sprouse *et al.*, 2020).

Profijalgpallurid läbivad võistlusmängu vältel keskmiselt 10-13 km, mille jooksul vaheldub aktiivsus umbes 1400 korda ehk iga 4 sekundi järel. Kui suurem osa mänguajast toimub madalal intensiivsusel (nt seismine, kõndimine ja sörkjooks), on jalgpallile omaselt palju tegevusi maksimaalse pingutuse ja suure intensiivsusega, näiteks kiired jooksud ja sprindid. Tulenevalt mängija positsioonist läbivad mängijad mängu jooksul suurtel kiirustel (>19,8 km/h) umbes 2,5 km ning teevad 40-60 sprinti (kokku 0,3-0,6 km). Suure intensiivsusega tegevustele järgneb tavaliselt 60-70 sekundiline taastumisperiod enne uut kõrge intensiivsusega tegevust (töö ja puhkuse suhe 1:12), kuid mängu intensiivsematel perioodidel võib see suhe olla ka 1:2. (Hostrup & Bangsbo, 2023) Selleks, et valmistada mängijaid ette võistlusmängus nõutava intensiivsusega, kasutatakse kõrget intensiivsust üha enam ka treeningutel (Owen *et al.*, 2015).

1.1. Hamstringlihaste vigastused jalgpallis

Alajäsemete lihaste vigastused on sagedasti esinevad spordialadel, mis hõlmavad plahvatuslikke tegevusi nagu sprintimine, hüppamine, suunamuutused ja löömine. Jalgpallis moodustavad lihasevigastused kuni 31% kõikidest vigastustest ning kuni 37% mängijatest kogeb hooaja jooksul lihasvigastuse tõttu treeningutest ja/või mängudest eemalejäämist. (Ishøi *et al.*, 2020) Reie tagakülje ehk hamstringlihaste (HL-ide) ülevenitusvigastust (ingl *hamstring strain injury*) kirjeldatakse üldiselt kui lihaskiudude pikenenud kontraktuuri, tugevat venitust või harvemini ka rebendit HL-ides (Biz *et al.*, 2021). Kõige sagedasemad ülevenitusvigastused jalgpallis tekivad HL-ides (37%), vähem reie lähendajalihastes (23%), reie nelipealihases (19%) ja säärelihastes (13%) (Ishøi *et al.*, 2020).

HL-ideks nimetatakse reie tagakülje lihaskruppi, mille moodustavad reie kakspealihhas (*m. biceps femoris*), poolkõõluslihas (*m. semitendinosus*) ja poolkilelihas (*m. semimembranosus*). HL ületavad nii puusa- kui põlveliigest (välja arvatud *m. biceps femoris*'e lühike pea) ning jooksmise ajal toimub HL-ides tugev ekstsentriline kontraktsioon, millest

tingitud suur koormus võib olla ülevenitusvigastuste tekkimisel üks põhjuseid. (Alfonso *et al.*, 2021) HL-idel on kõnni- ja jooksumehhanismide oluline roll, kuna need lihased on nii puusaliigese sirutajad kui ka põlveliigese painutajad ning piiravad põlve ekstensiooni. Sportimisel vigastatakse nendest lihastest kõige enam reie kakspealihast (83%), vähem poolkilelihast (11%) ja poolkõõluslihast (5%). (Biz *et al.*, 2021; Gronwald *et al.*, 2022)

Jalgpallis tekivad kõikidest lihasvigastustest 96% mittekontaktsetes olukordades ning tavaliselt lihas-kõõluse üleminekukohas, kui rakendatav jõud ületab koe vastupanuvõime (Ishøi *et al.*, 2020; Mueller-Wohlfahrt *et al.*, 2013). Varasemale kirjandusele tuginedes on kaks erinevat HL-ide ülevenitusvigastuse tekkimise mehhanismi ülevenitus ja sprintimine. Samas on toodud välja, et HL-ide vigastuse mehhanisme ei ole võimalik nii üheselt klassifitseerida, kuna vigastuse esilekutsuv liigutustegevus võib olla ka kombineeritud sprintimis- kui venitusmehhanismi biomehaanilistest omadustest (segatüüpi vigastus). (Jokela *et al.*, 2023) Jooksumehhanismi alajäseme hoofaasi ajal toimub HL-ides tugev ekstsentriline kontraktsioon, et pidurdada painutust puusaliigese ja sirutust põlveliigese. Pidurdava liigutuse lõpuosas on HL aktiivsed ning saavutanud oma maksimaalse pikkuse, mille tõttu on kõige suurem oht vigastada HL-e kiirjooksu ja sprintimise ajal alajäseme hoofaasi lõpus ekstsentrilise ülekoormuse tõttu. (Alfonso *et al.*, 2021; Danielsson *et al.*, 2020) Ülevenitus tekib sellistel liigutustegevustel, kus toimub samaaegselt ulatuslik fleksioon puusaliigese, ekstensioon põlveliigese, näiteks jalgpallis jalaga palli löömisel või palli vahelt löikamisel. Sprintimisel vigastatakse eelkõige reie kakspealihase (*m. biceps femoris*) pikka pead ning venitamisel poolkilelihast (*m. semimembranosus*). (Danielsson *et al.*, 2020; Jokela *et al.*, 2023) HL-ide vigastust iseloomustab äge valu reie tagaosas koos reie tagaosade lihaskiudude osalise katkemisega. Lihavigastuse raskusaste ulatub väikesest mikrokoopilisest rebendist ja mõningasest funktsiooni kaotusest (I aste) kuni täieliku lihase rebendini koos täieliku funktsiooni kaotusega (III aste). (Opar *et al.*, 2012)

Varasemate uuringute tulemused näitavad, et treeningutega seotud HL-ide vigastuste määr on professionaalsete meessoost jalgpallurite seas alates 2001. aastast oluliselt suurenenud, mis näitab, et tegemist on kasvava probleemiga. Perioodil 2001-2014 suurenes treeningul tekkinud HL-ide vigastuste arv 4% aastas (Ekstrand *et al.*, 2022), samal ajal kui võistlusmängudes on see jäänud ligikaudu samaks. Selle võimalik seletus on, et treeningutel jälgendatakse suuresti võistlusmängule sarnast intensiivsust, mis põhjustab ka suuremat HL-ide vigastuse riski. (Bisciotti *et al.*, 2019)

Professionaalsetel jalgpalluritel varieerub vigastuse esinemissagedus erinevate uuringute kohaselt 1,07-8,1 vigastust 1000 tunni treening- ja võistlusaja kohta, millest sagedaseimad on HL-ide vigastused, nõudes erinevatel andmetel keskmiselt 9-18 päeva taastumiseks (Biz *et al.*,

2021; López-Valenciano *et al.*, 2020; Shalaj *et al.*, 2020). Jalgpallis on HL-ide vigastuse risk 2,5 korda suurem reie nelipealihase vigastusest (Bisciotti *et al.*, 2019). Lisaks märkimisväärsetele rahalistele kuludele professionaalsel tasemel mõjutavad lihasvigastused suuresti ka mängijate kasutatavust, mis võib potentsiaalselt mõjutada kogu võistkonna sooritust (Ishøi *et al.*, 2020; Shalaj *et al.*, 2020).

1.2. Hamstringlihaste vigastuste riskifaktorid

HL-ide ülevenitusvigastuse esinemine sõltub paljudest faktoritest, näiteks lihasjõu düsbalansist, lihasväsimusest, puudulikust soojendusest, varasemalt esinenud ülevenitusvigastustest või ebapiisavast taastusravist pärast varasemat HL vigastust. Kuna jooksutsükli hoofaasi lõpus tekib tugev ekstsentriline koormus hamstringlihastele, võib madal HL-ide ekstsentriline lihasjõud suurendada HL-ide ülevenitusvigastuse tekkimise riski. Seetõttu peetakse ekstsentrilist jõutreeningut oluliseks tulevaste HL-ide vigastuste ärahoidmisel. (Buchheit M *et al.*, 2016) Muudetavad riskitegurid, mis suurendavad HL-ide vigastuse tõenäosust, on näiteks HL-ide jõu defitsiit ja asümmeetria ning madal hamstring-nelipea lihasjõu suhe, propriotseptioon, lihaselastsus ja tasakaal (Moreno-Pérez *et al.*, 2022; Shalaj *et al.*, 2020). Samas on ka leitud, et mittemuudetavad faktorid (nt vanus ja varasem vigastus) võivad olla suurema mõjuga HL-ide ülevenitusvigastuste tekkes kui muudetavad faktorid (Alfonso *et al.*, 2021).

Varasemalt tehtud uuringud näitavad, et HL-ide ülevenitusvigastuse risk jalgpalluritel suureneb võistlusmängu mõlema poolaja lõpus, mis näitab, et neuromuskulaarne väsimus võib olla üheks faktoriks vigastuse tekkimisel (Wilmes *et al.*, 2021). Samuti on leitud, et kõige rohkem jalgpallivigastusi (ka HL-ide vigastusi) esineb võistlusmängu teisel poolajal, mille põhjuseks võib olla HL-ide ekstsentrilise lihasjõu langus pärast poolajapausi (Bisciotti *et al.*, 2019).

Varasemalt on uuritud HL-ide ekstsentrilist lihasjõudu Austraalia jalgpalli mängijate näitel ning leiti, et madalam kui 265 N unilateraalne HL-ide ekstsentriline lihasjõud võib olla piiriks, millest alates tõuseb oluliselt HL-ide ülevenitusvigastuse risk (Opar DA *et al.*, 2015), kuid selle väärtuse väljatoomisel pole arvesse võetud sportlase kehakaalu, mistõttu võib see väide olla küsitav (Buchheit *et al.*, 2016). Samuti ei saa välistada Opar DA *et al.* (2015) teadusartikli kallutatust, kuna tegemist on NordBord™ seadme looja enda uuringuga. Bishop *et al.* (2022) uuringus näidati, et jalgadevahelise asümmeetria jälgimine on HL-ide vigastuste ennetamise seisukohalt olulisem kui jõunäitaja ise. HL-ide ekstsentrilise lihasjõu jalgadevaheline erinevus üle 15% võib oluliselt suurendada sportlase HL-ide vigastuste riski

(Bishop et al., 2022), samas kui Opar DA *et al.* (2015) uuringus sarnast järeldust jalgadevahelise lihasjõudude düsbalansi osas ei tehtud (Opar DA *et al.*, 2015). Teisalt leidsid Smith *et al.* (2021) oma uuringus, et ainuüksi *Nordic Hamstring* testharjutusega (ingl *Nordic Hamstring exercise*, NHE) mõõdetud HL-ide ekstsentrilise lihasjõu maksimaaltulemust ei saanud seostada tulevase HL-ide vigastuse tekkeriskiga ning suuremat rolli maksimaalsest lihasjõust mängib sportlase varasemate vigastuste ajalugu (Smith et al., 2021).

1.3. Lihasväsimus kui hamstringlihaste vigastuse riskifaktor

Kuigi varasematest uuringutest selgub, et HL-ide vigastuste riskitegur on lihasjõu muutused HL-ides, siis on antud teemat võrdlemisi vähe uuritud. Arvatakse, et HL-ide maksimaalse tahtelise jõu ja jõumomendi genereerimisvõime vähenemine nõrgendab kiirjooksu hilises lennufaasis jala pidurdamise võimet. HL-ide pikenemine toimub selles faasis samaaegselt üle põlve- ja puusaliigese, kuna põlveliigese toimub sirutus ning puusaliigese painutus. Samal ajal peavad HL ekstsentriliselt kontraheeruma, et alajäseme liikumist aeglustada. Kui HL ei suuda produtseerida vajalikku jõudu või ei suuda seda tekitada piisavalt kiiresti, võib tekkida liigne lihasvenitus. (Wilmes *et al.*, 2021)

Väsimuse mõju uurimiseks HL-ide lihasjõule on varasemalt kasutatud erinevaid protokolle, jalgpallispetsiifilisi teste ja võistlusmängu. Näiteks on leitud, et võistlusmäng vähendas oluliselt lihasjõudu HL-ides, kui mõõtevahendina kasutati enne ja pärast koormust NHE-d (Maffulli *et al.*, 2021). Samuti on hinantud HL-ide väsimuse tekkimist *Loughborough Intermittent Shuttle Test*'i ja *Yo-Yo Intermittent Recovery test*'iga, mis on laialdaselt kasutatud monitoorimise vahendid jalgpalluritel oma jalgpallimängu spetsiifiliste omaduste tõttu. *Loughborough Intermittent Shuttle Test*'i järgselt toimus oluline HL-ide ekstsentriline lihasjõu langus kogu jooksuprogrammi jooksul kuni 24%. *Yo-Yo Intermittent Recovery test*'i eel ja järel mõõdetud tulemused näitasid, et antud jooksuprogramm polnud piisav HL-ide väsimusseisundi esilekutsumiseks, mis avalduks olulises lihasjõu languses. (Brogden *et al.*, 2020; Coratella *et al.*, 2015; Greig & Siegler, 2009) Uuringust järeldati, et väsinud mängija võib olla vastuvõtlikum nii lihase ülevenitusvigastustele kui ka liigesvigastustele, mille risk on väsimuse tõttu suurem mängu hilisemates faasides ja teise poolaja alguses, samuti väsimuse foonil sooritatud plahvatuslikel liigutustel (Greig & Siegler, 2009).

Põlveliigest ümbritsevate lihaste jõu tasakaalu hinnatakse tavaliselt HL-ide ja reie nelipealihase maksimaalse jõumomendi suhtega ning on leitud, et väsimusel on roll hamstring-nelipea lihasjõu suhte muutuse tekkimisel. Üldlevinud on praktika, kus reie esi- ja tagaosas lihasgruppide lihasjõudude suhet arvestatakse HL-ide kontsentrilise (H_{CONC}) ja reie

nelipealihase (*m. quadriceps femoris*) kontsentrilise (Q_{CONC}) kontraktsiooni näitaja ($H_{\text{CONC}}:Q_{\text{CONC}}$) järgi. (Coratella *et al.*, 2015; Evangelidis *et al.*, 2015) Kui liigutustegevusel toimub reie nelipealihase kontsentriiline kontraktsioon, siis samal ajal on HL aktiveeritud kui antagonistid ning töötavad ekstsentriliselt. Sel põhjusel soovitavad mitmed autorid täpsustamiseks ja spordialaspetsiifiliseks hindamiseks kasutada funktsionaalsemat hamstringi-nelipea suhte näitajat, mille puhul HL-ide jõudu mõõdetakse ekstsentrilise kontraktsiooni ajal ($H_{\text{ECC}}:Q_{\text{CONC}}$). (Coratella *et al.*, 2015; Kellis *et al.*, 2022) Selliselt arvatatud lihasjõudude suhe on eelistatud, kuna peegeldab paremini lihaste vastastikust antagonistlikku funktsiooni sportlike tegevuste ajal nagu sprintimine ja löömine (Evangelidis *et al.*, 2015). Varasemas kirjanduses välja toodud suhtarvud näitavad, et hinnates HL-ide ja reie nelipealihase lihasjõudude suhet varieerusid väärtused sõltuvalt uuringus kasutatud meetodikast 0,47-0,66 ($H_{\text{CONC}}:Q_{\text{CONC}}$, nurkkiirusel $60^\circ/\text{s}$) ja 0,78-1,05 ($H_{\text{ECC}}:Q_{\text{CONC}}$) (Kellis *et al.*, 2022).

Pärast jalgpallimängu imiteerivat testi vähenes $H_{\text{ECC}}:Q_{\text{CONC}}$, samas kui $H_{\text{CONC}}:Q_{\text{CONC}}$ -il muutusi ei tekkinud, mis näitab, et väsimuse tekkides väheneb HL-ide võimekus vastata ekstsentriliselt reie nelipealihase kontsentrielsele kontraktsioonile (Coratella *et al.*, 2015). Siiski tuleb veel uurida seoseid funktsionaalsema $H_{\text{ECC}}:Q_{\text{CONC}}$ -i ja HL-ide vigastuse riski vahel, sest on leitud, et lihasjõudude suhte võimet ennustada vigastuste tekkimise tõenäosust on näidanud vastuolulisi tulemusi (Correia *et al.*, 2020).

2. TÖÖ EESMÄRK JA ÜLESANDED

Käesoleva töö peamine eesmärk on analüüsida erinevate treeningkoormuste mõju HL-ide maksimaalsele tahtelisele ekstsentrilisele lihasjõule Eesti meistriliiga tasemel treenivate ja mängivate jalgpallurite näitel. Lisaks hinnata reie nelipealihase kontsentrilise lihasjõu ja funktsionaalse $H_{ECC}:Q_{CONC}$ muutusi treeningkoormuste järgselt. Samuti hinnati reie tagakülje vigastuste esinemissagedust Tartu Jalgpallikool Tammeka esindusmeeskonna mängijate näitel.

Lähtuvalt uurimistöö eesmärkidest püstitati järgnevad ülesanded:

1. Mõõta HL-ide ekstsentrilist ja reie nelipealihase kontsentrilist lihasjõudu enne ja pärast astmelist koormustesti jooksulindil ning tavapärasest jalgpallitreeningut.
2. Analüüsida muutusi HL-ide ekstsentrilises ning reie nelipealihase kontsentrilises lihasjõus enne ja pärast astmelist koormustesti jooksulindil ning tavapärasest jalgpallitreeningut.
3. Registreerida Tartu Jalgpallikool Tammeka mängijate varasemalt esinenud HL-ide vigastused.

3. METOODIKA

3.1. Valim

Uuringusse kaasati 12 Eesti meistri liiga tasemel mängivat ja treenivat täisealist jalgpallurit Tartu Jalgpallikool Tammeka esindusmeeskonnast (Tabel 1). Uuringusse kaasamise kriteerium oli Tartu JK Tammeka esindusmeeskonna treeningutel osalemine. Uuringusse ei kaasatud mängijaid:

1. kes olid uuringu toimumise hetkel vigastatud;
2. kellel oli esinenud 6 kuud enne uuringu algust HL-ide vigastusi;
3. kellel oli viimase 12 kuu jooksul enne uuringu algust esinenud põlveliigese eesmise ristatisideme (ACL) või meniski vigastus.

Ühtlasi ei kaasatud väravavahte, sest nende treeningkoormus erineb oluliselt väljakumängijate omast.

Tabel 1. Uuringus osalejate (n=12) kehalised näitajad (keskmine \pm SD)

Vanus (a)	Kehapikkus (cm)	Kehakaal (kg)	KMI (kg/m²)	Rasvaprotsent (%)	VO_{2max} (ml/min/kg)
21,5 \pm 4,17	181,83 \pm 3,77	76,53 \pm 6,72	23,12 \pm 1,47	14,97 \pm 1,94	55,78 \pm 4,35

3.2. Uuringu korraldus

Uuringu andmed koguti 2023. aasta võistlushooaja eelsel perioodil jaanuarist märtsini Tartu Ülikooli sporditeaduste ja füsioteraapia instituudi laboris (Ujula 4, Tartu) ja Annemõisa jalgpallihallis (Kaunase pst 70a, Tartu). Uuringu protseduuriline korraldus on illustreeritud joonisena ja välja toodud töö lisades (Lisa 1).

Kokku külastasid vaatlusalused laborit kahel korral. Esimesel kohtumisel uuritavatega koguti andmed antropomeetriliste näitajate ja varasemalt esinenud HL-ide vigastuste kohta. Kehakaalu mõõtmiseks kasutati digitaalset kaalu (mõõtetäpsus \pm 0,1 kg) ning kehapikkuse mõõtmiseks mõõdulinti (mõõtetäpsus \pm 0,1 cm). Mõõtmiste ajal oli vaatlusalune kerges riietuses ilma jalanõudeta. Lisaks teostati uuritavate kirjeldamiseks kehakoostise analüüs ja harjutati läbi uuringus kasutatavad testharjutused. Teisel labori külastusel sooritati astmeline koormustest jooksulindil koos alajäsemete lihasjõu mõõtmise testharjutustega. Annemõisa jalgpallihallis toimus tavapärasele jalgpallitreeningule eelnev ja järgnev testimine sportlase jaoks ühel korral.

Kõik uuritavad nõustusid vabatahtlikult uuringus osalemisega. Enne esimest testimist allkirjastasid kõik uuritavad informeeritud nõusoleku lehe. Uuringu teostamiseks andis loa Tartu Ülikooli inimuuringute eetika komitee (371/T).

Kõigil uuringus osalenud sportlastel määrati kehakoostis röntgenkiirtel töötava luudensitomeetri (*Dual-energy X-ray absorptiometry*, DXA) seadmega. Vaatlusalune oli kerges riietuses ning lamas selili asendis, mil aparaat skaneeris kogu tema keha (Joonis 1). Kiirgustase organismile võrdus selle protseduuri puhul vaatlusalusele ühe päeva kosmilise kiirguse doosiga. Antud protseduuri viis läbi selleks kvalifitseeritud töötaja. Analüüsi käigus määrati rasvaprotsent, rasvavaba mass, rasvamass, jäsemete lihasmass ning samuti luutihedus kogu kehas.



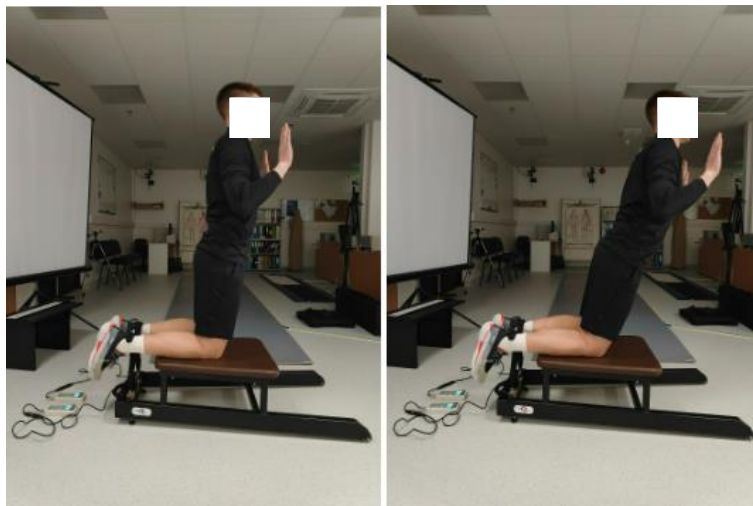
Joonis 1. Kehakoostise analüüs DXA seadmega

Uuringus kasutati HL-ide ekstsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmiseks NHE-d ja reie nelipealihase kontsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmiseks püstiasendist allaliikumisega ühelt jalalt üleshüpet (ingl *single leg countermovement jump*, 1CMJ). Kõik uuringu käigus kasutatud testharjutused olid uuritavate jaoks tuttavad. Eelnevalt mainitud testharjutusi kasutatakse igal aastal hooajale eelneval ettevalmistusperioodil ja ka hooaja jooksul mängijate sooritusvõime monitoorimiseks ja vigastuste riskifaktorite hindamiseks. Lihaskõuetestiti enne ja pärast astmelist koormustesti jooksulindil (n=9) ja pärast tavapärasel jalgpallitreeningul (n=10). Kõik koormustestid ja jalgpallitreeningud, mille eel ja järel sportlasi testiti, toimusid hommikul ajal (vahemikus 9.00-12.00). Koheselt pärast astmelist koormustesti ning jalgpallitreeningut koguti suuliselt sportlase subjektiivne hinnang tajutud pingutusele (ingl *rating of perceived exertion*,

RPE) treeningsessiooni raskusastme kohta modifitseeritud Borgi 10-palliskaalal (Miguel *et al.*, 2021) (Lisa 2). Antud hindamismeetod on vaatlusaluste jaoks tuttav, samal meetodil kogutakse igapäevaselt informatsiooni treeningute ja võistlusmängude järel tajutud koormuse raskusastme kohta.

3.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmine

HL-ide ekstsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmiseks NHE ajal kasutati spetsiaalselt valmistatud seadet, millele oli kinnitatud mõõteseadmed SAUTER FL-M (*Sauter GmbH c/o KERN & SOHN GmbH, Balingen, Germany*), mis registreeris bilateraalselt HL-ide ekstsentrilise lihasjõu maksimaalse tulemuse (njuutonites, N). NHE-ga HL-ide ekstsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmine on laialdaselt kasutatud, kuna seade on kiire, efektiivne ning sportlaste peal lihtsasti kasutatav, andes reaajas tagasisidet mõlema alajäseme lihasjõu tulemuste kohta (Bishop *et al.*, 2022; Brogden *et al.*, 2020).



Joonis 2. Hamstringlihaste ekstsentrilise lihasjõu mõõtmine

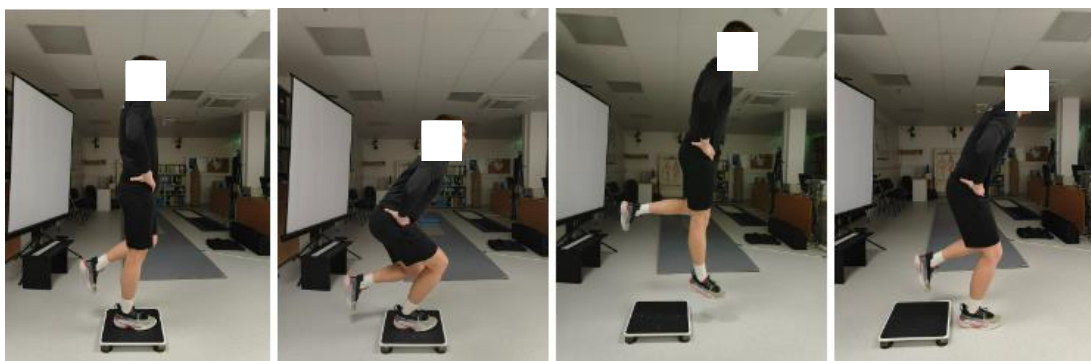
Uuritav põlvitas seadme pehmendatud osal, uuritava mõlemad alajäsemed olid kinnitatud *malleolus*'te kõrguselt pehmendatud konksudega, kus paiknesid sensorid, mis registreerisid tõmbejõu tugevuse (Joonis 2). Uuritava ülesanne oli end võimalikult aeglaselt ette kallutada, kontraheerides samal ajal HL ning hoida kehatüve ja puusad kogu aja vältel neutraalses (vertikaalses) asendis. Uuritava käed olid küünarliigestest painutatud ja peopesad õlgade kõrgusel, suunatud liikumise poole. Liikumise lõpuosas oli uuritaval lubatud käsi kasutades liikumine pidurdada. Uuritav teostas 3 maksimaalse pingutusega katset (puhkepaus katsete vahel 1 minut), kogu katse vältel ergutati katsealust maksimaalsele pingutusele. Lisaks juhendati korrektse kehaasendi hoidmist ja korrigeerimist, kui näiteks ülakeha liikus puusade

suhtes liialt ette. Katse loeti sobivaks, kui jõu väljund saavutas selge haripunkti (mis näitas maksimaalset ekstsentrilist jõudu), millele järgnes lihaskiire langus ajal, mil sportlane ei suutnud vastata HL-ide ekstsentrilise jõuga gravitatsioonijõule (Buchheit *et al.*, 2016).

3.4. Reie nelipealihase kontsentrilise kontraktsioonijõu mõõtmine

Reie nelipealihase (*m. quadriceps femoris*) kontsentrilise lihaskiire hindamiseks kasutati 1CMJ-i. Hüppeteste on sagedasti uuritud ning neid kasutatakse tippspordis monitoorimise vahenditena. Hüppetestide kasutamist eelistatakse, kuna need võimaldavad hinnata sportlase alaspetsiifilise sooritusvõimega seotud tunnuseid nagu jõud ja kiirus. Lisaks on tegemist võrdlemisi lihtsa, usaldusväärse ja sportlasele tuttava testharjutusega. (Hughes *et al.*, 2022)

1CMJ-i ajal oli sportlase eesmärk tõugata end dünamograafiliselt platvormilt (*PLUX Wireless Biosignals S.A; Arruda dos Vinhos, Portugal*) ühelt jalalt maksimaalse jõuga, maandudes kas platvormile tagasi või platvormi ette põrandale. Testharjutuse algasend oli paigalseis ühel jalal dünamograafilisel platvormil, käed asetatud puusadele (Joonis 3). Uuringu läbiviija suulise juhendamise peale laskus sportlane poolkükkasendisse (põlveliigestest 90-kraadine fleksioon) ning sooritas koheselt (ilma pausita) maksimaalse jõuga üleshüppe. Katse loeti sobivaks, kui läbiviija fikseeris põlveliigestest umbes 90-kraadise nurga ning käed ei tulnud kogu soorituse vältel puusadelt lahti. Kõikidel hüpetel kasutasid sportlased isiklikke jooksujalanõusid. Kokku tehti mõlema jalaga kolm katset, katsete vahele jäi 1 minut taastumisaega. Dünamograafiline platvorm registreeris äratõukel tekkinud unilateraalse maksimaalse jõu (N), mida analüüsiti *OpenSignals (PLUX Wireless Biosignals S.A; Arruda dos Vinhos, Portugal)* arvutitarkvaraga. Vaatlusaluse kolmest katsest läks kirja mõlema alajäseme parim tulemus.



Joonis 3. Reie nelipealihase kontsentrilise lihaskiire mõõtmine

3.5. Astmeline koormustest jooksulindil

Astmelisel koormustestil jooksulindil (*HP Cosmos, Quasar, Germany*) oli algkiirus 8km/h ja tõusunurk 1 kraad (Joonis 4). Kiirus tõusis 1 km/h võrra iga 2 minuti järel kuni sportlase maksimaalse suutlikkuseni. Enne koormustesti algust läbisid kõik vaatlusalused soojenduse, mis koosnes 5-minutilise submaksimaalsest jooksust jooksulindil, lisaks sooritati uuringu läbiviija juhendamisel 5 minuti jooksul jalgpallispetsiifilisi soojendusharjutusi, muuhulgas dünaamilisi venitusi alajäsemetele ja ülakehale ning 3 NHE-d madala vastupanuga. Koheselt pärast soojenduse lõppu sooritati 1CMJ mõlema alajäsemega ning seejärel NHE. Pärast testharjutuste sooritamist kinnitati vaatlusaluse näole hermeetiliselt suletud näomask (*Cortex Metamax 3B, Germany*), mis registreeris sisse- ja väljahingatava gaaside kogused. Rindkerele kinnitati Polari H10 pulsivöö (*Polar Electro Oy, Kempele, Finland*), mis registreeris südame löögisageduse. Andmeid analüüsiti koormustesti arvutitarkvara *Cortex Metasoft 3.3* abil.



Joonis 4. Astmeline koormustest jooksulindil

Koormustesti käigus mõõdeti vaatlusalustel maksimaalse hapnikutarbimise (VO_{2max}) näitaja. Astmelise koormustesti ajal ergutati sportlast suuliselt uuringu läbiviijate poolt maksimaalsele pingutusele. Vaatlusaluse märguande peale katkestasid uuringu läbiviijad koormustesti programmi, mis tähendas koormustesti lõppu ehk pärast maksimaalse suutlikkuse saavutamist. Vaatlusaluselt eemaldati uuringu läbiviijate poolt näomask ning vaatlusalune sooritas eelnevalt kirjeldatud testharjutused uuesti, alustades NHE-st. Testimisele järgnes 15-

minutiline passiivne puhkepaus, mille järgselt sooritati uuesti lühiajaline, 3-minutiline soojendus (ingl *re-warm-up*) ja sooritati uuesti alajäsemete lihasjõu testharjutused.

3.6. Tavapärane jalgpallitreening

Vaatlusaluste jaoks algas tavapärase jalgpallitreeningu eel testimine 25 minutit enne meeskonna treeningu algust. Enne testharjutusi sooritati uuringu läbiviija poolt juhendatud 10-minutiline jalgpallispetsiifiline soojendus kunstmurukattega väljakul, mille jooksul sooritati muuhulgas jooksmist erinevatel kiirustel, lühikesi kiirendusi ja pidurdusi, dünaamilisi venitusharjutusi alajäsemetele ja ülakehale ning 3 NHE-d madala vastupanuga. Seejärel sooritati eelnevalt kirjeldatud testharjutused alajäsemete maksimaalse lihasjõu leidmiseks. Testharjutustele järgnes vaatlusaluste jaoks jalgpallitreening kunstmurukattega väljakul, mis kestis kokku 1h ja 30min. Treeningud algasid jalgpallispetsiifilise soojendusega (10 min), millele järgnes soojendusharjutused palliga (pallihoidmine väikesel maa-alal, ingl *rondo*) (kokku 10 min), mis oli kõikide testimispäevade treeningutel samasugune. Soojendusele järgnes põhitreening, mille jooksul sooritati erinevaid jalgpallispetsiifilisi harjutusi (Lisa 3).

Koheselt pärast jalgpallitreeningu lõppu sooritasid vaatlusalused samad testharjutused uuesti, alustades NHE-st. Testimistele järgnes 15-minutiline passiivne puhkepaus, pärast mida sooritati lühike soojendus ja alajäsemete lihasjõu testharjutused.

3.7. Andmete statistiline analüüs

Andmete analüüsimisel kasutati Microsoft Excel 365 programmi (*Microsoft Corp., Redmond, USA*) ja IBM SPSS Statistics 29.0 (*IBM Corp., Armonk, NY, USA*). Arvutati andmete aritmeetilised keskmised ja standardhälbed ($\bar{X} \pm SD$). Andmete vastavust normaaljaotusele kontrolliti Shapiro-Wilk testiga. Kahe erineva iseloomuga treeningkoormuse mõju lihasjõu muutustele analüüsiti paaride t-testiga (*Student t-test*). Usutavuse nivooks määrati kõikide testide puhul $p < 0,05$.

4. TÖÖ TULEMUSED

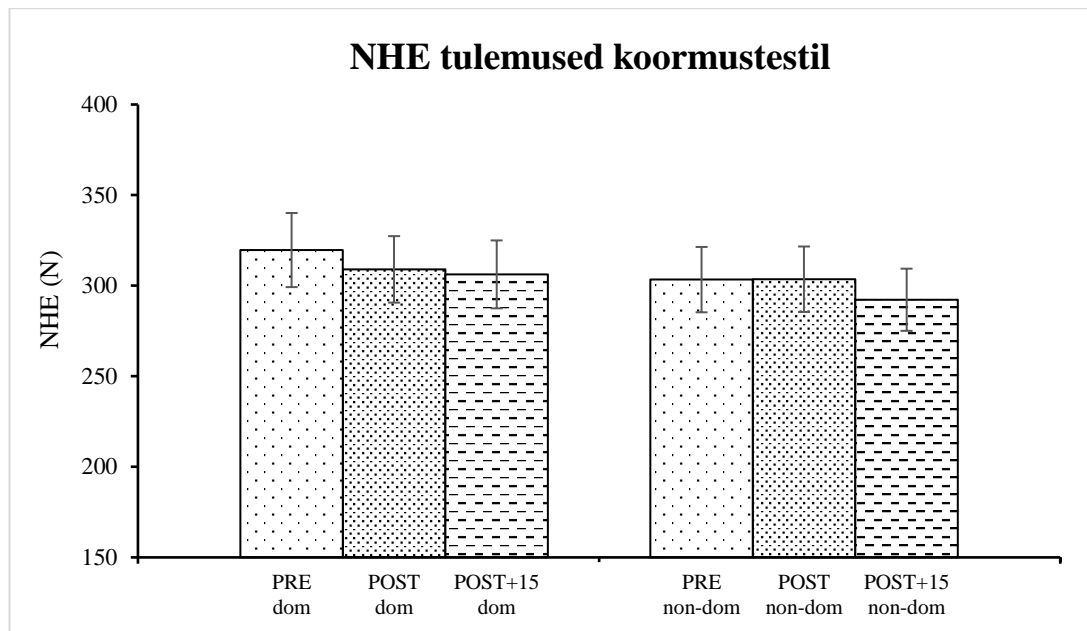
Kõikidest uuringus osalenud vaatlusalustest (n=12) oli varasemalt HL-ide vigastusi esinenud 4 mängijal, kellest 2 mängijal esinesid HL-ide vigastused eelmisel (2022. aasta) jalgpallihooajal. Ühelgi uuringusse kaasatud sportlasel ei olnud esinenud HL-ide vigastusi viimase 6 kuu jooksul enne testimisi, mis oli ka uuringusse kaasamise üks kriteerium. Testimisperioodi ajal tekkinud vigastuste tõttu ei olnud võimalik testida 3 sportlast koormustestil ja 2 sportlast treeningul. DXA analüüsil määratud keskmine keha rasvaprotsent oli vaatlusalustel $14,97 \pm 1,94$ %.

Kõik koormustestil osalenud vaatlusalused (n=9) jooksid jooksulindil kuni maksimaalse suutlikkuseni, raporteerides koheselt pärast koormustesti lõppu RPE väärtuseks 10/10. Keskmiseks astmelise koormustesti ajaliseks kestuseks oli vaatlusalustel (n=9) 19 min 18 sek ± 2 min 13 sek, keskmine VO_{2max} tulemus oli $55,78 \pm 4,35$ ml/min/kg.

Vaatlusaluseid (n=10) testiti kolmel erineval treeningpäeval ning uuringu läbiviijad valisid testimispäevadeks nädala esimese poole treeningud (teisipäevadel ja kolmapäevadel), et mõjunud treeningkoormus oleks võrreldav. Kuna hooaja ettevalmistuseks mõeldud kontrollmängud toimusid nädala lõpus (reedeti ja laupäeviti), olid treeningplaani järgi just nädala esimeses pooles kavas suurema intensiivsusega treeningud. Vaatlusalused raporteerisid RPE väärtusteks treeningujärgselt 7-9/10 ehk treeningu jooksul tajutud pingutus oli vähemalt “väga raske”.

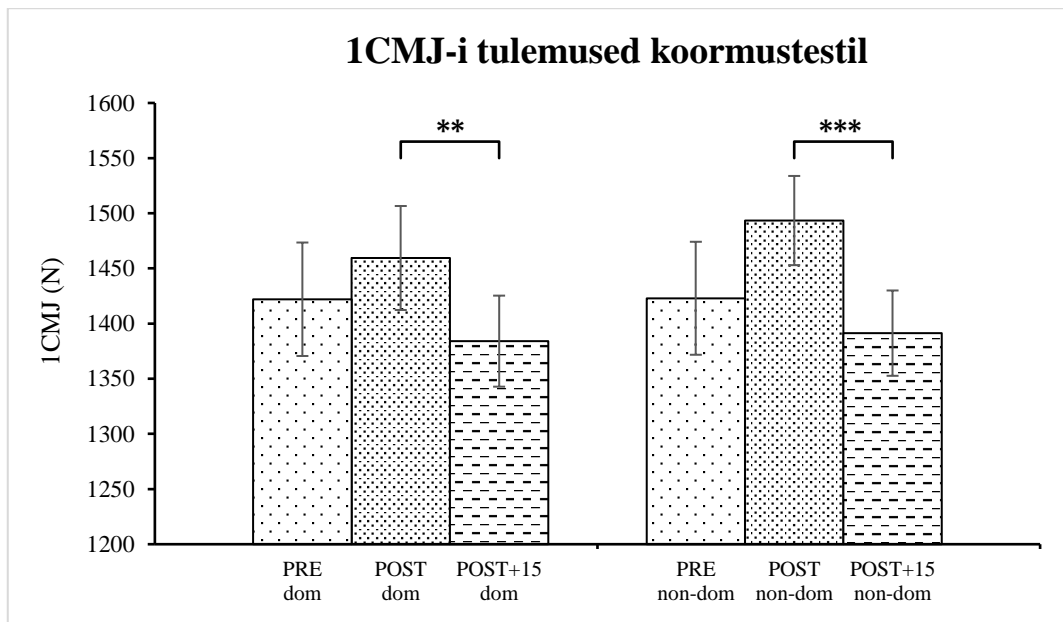
4.1. Lihasjõu muutused koormustestil

NHE-1 oli tendents HL-ide maksimaalse tahtelise ekstsentrilise lihasjõu langusele nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel, kuid statistiliselt olulist ($p < 0,05$) muutust lihasjõu languse osas pärast treeningkoormust ega 15 minutit pärast treeningkoormust kummalgi alajäseme HL-ides ei täheldatud (Joonis 5). Domineeriva alajäseme keskmine HL-ide ekstsentriline lihasjõud oli koormustestile eelnevalt $319,67 \pm 61,36$ N, vahetult pärast koormustesti $309,0 \pm 55,06$ N ning 15 minutit hiljem $306,22 \pm 56,26$ N. Mittedomineeriva alajäseme koormustesti-eelne keskmine HL-ide ekstsentriline lihasjõud oli $303,33 \pm 54,13$ N, mis jäi samale tasemele pärast koormustesti ($303,56 \pm 54,19$ N) ning langes pärast passiivset puhkepausi ($292,22 \pm 51,48$ N).



Joonis 5. *Nordic Hamstring* testharjutuse tulemused enne ja pärast astmelist koormustesti jooksulindil (keskmine \pm SE). *PRE* - koormusele eelnenud testharjutus; *POST* - vahetult koormusele järgnenud testharjutus; *POST+15* - 15 minutit pärast koormuse lõppu sooritatud testharjutus; *dom* - domineeriv alajäse; *non-dom* - mittedomineeriv alajäse

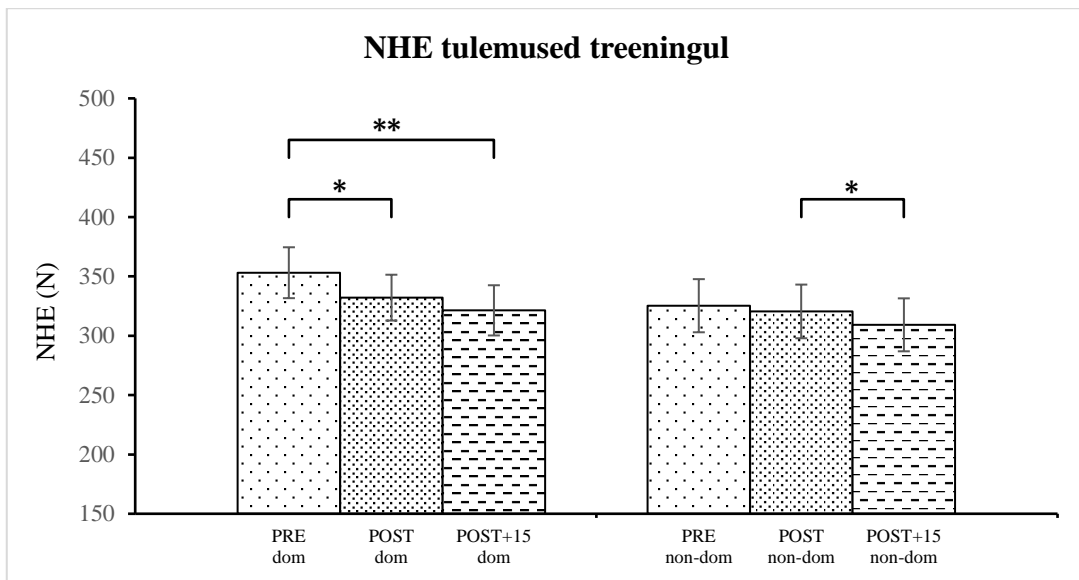
1CMJ-i tulemused näitasid, et nii domineeriva kui mittedomineeriva alajäseme reie nelipealihase maksimaalne kontsentriiline lihasjõud suurenes koormustesti järgselt, kuid langes pärast 15-minutilist passiivset puhkepausi (Joonis 6). Domineeriva alajäseme keskmine lihasjõud oli koormustestile eelnenud mõõtmisel $1422,06 \pm 154,29$ N, mis suurenes vahetult pärast koormustesti mõõtes ($1459,47 \pm 141,37$ N). Sarnaselt domineerivale alajäsemele suurenes ka mittedomineeriva alajäseme reie nelipea kontsentriiline lihasjõud, mis oli enne koormustesti $1422,95 \pm 153,66$ N ja vahetult pärast mõõdetuna $1493,41 \pm 121,31$ N. Pärast passiivset puhkepausi langes HL-ide ekstsentriline lihasjõud nii domineerival alajäsemel ($1384,10 \pm 123,78$ N) kui ka mittedomineerival alajäsemel ($1391,34 \pm 116,06$ N), sealjuures olid lihasjõu muutused statistiliselt olulised vastavalt domineerival alajäsemel $p < 0,01$ ja mittedomineerival alajäsemel $p < 0,001$.



Joonis 6. Püstiasendist allaliikumisega ühelt jalalt üleshüppe tulemused enne ja pärast astmelist koormustesti jooksulindil (keskmine \pm SE). *PRE* - koormusele eelnenud testharjutus; *POST* - vahetult koormusele järgnenud testharjutus; *POST+15* - 15 minutit pärast koormuse lõppu sooritatud testharjutus; *dom* - domineeriv alajäse; *non-dom* - mittedomineeriv alajäse; ** - $p < 0,01$, *** - $p < 0,001$

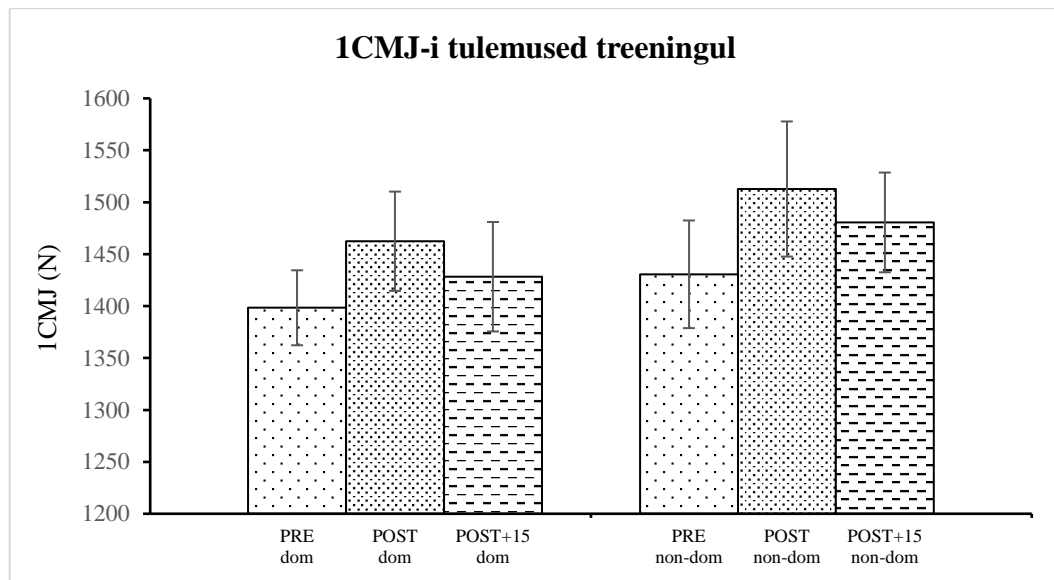
4.2. Lihasjõu muutused tavapärasel jalgpallitreeningul

Treeningu järgselt raporteeritud RPE keskmine väärtus oli $8,2 \pm 0,89$. NHE tulemused enne ja pärast tavapärasel jalgpallitreeningut näitasid sarnaselt koormustestile nii domineeriva kui mittedomineeriva alajäseme HL-ide maksimaalse tahtelise ekstsentrilise lihasjõu langust koheselt pärast treeningkoormust ja ka 15 minutit hiljem (Joonis 7). Domineeriva alajäseme keskmine HL-ide ekstsentriline lihasjõud enne treeningut oli $353,1 \pm 67,80$ N, mis langes pärast treeningut ($332,1 \pm 61,07$ N) ning langes lisaks veel ka pärast passiivset puhkepausi ($321,4 \pm 66,86$ N). Võrreldes treeningule eelneva testimisega, oli statistiliselt oluline lihasjõu langus domineerival alajäsemel nii pärast treeningut ($p < 0,05$) kui ka 15 minutit pärast treeningkoormuse lõppu ($p < 0,01$). Sarnaselt domineerivale alajäsemele oli mittedomineerival alajäsemel HL-ide ekstsentriline lihasjõud langenud nii pärast treeningut kui ka pärast puhkepausi. Mittedomineeriva alajäseme HL-ide ekstsentriline lihasjõud enne treeningut oli $325,3 \pm 70,79$ N, vahetult pärast treeningut $320,5 \pm 71,49$ N ning 15 minutit pärast puhkepausi $309,2 \pm 70,54$ N. Statistiliselt oluline erinevus lihasjõu muutusele oli treeningule järgnenud ja puhkepausi järgselt sooritatud testharjutuse vahel ($p < 0,05$).



Joonis 7. *Nordic Hamstring* testharjutuse tulemused enne ja pärast tavapärasest jalgpallitreeningut (keskmine \pm SE). *PRE* - koormusele eelnenud testharjutus; *POST* - vahetult koormusele järgnenud testharjutus; *POST+15* - 15 minutit pärast koormuse lõppu sooritatud testharjutus; dom - domineeriv alajäse; non-dom - mittedomineeriv alajäse; * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$

1CMJ-i tulemused enne ja pärast jalgpallitreeningut olid sarnased koormustesti eel ja järel saaduga (Joonis 8). Võrreldes treeningule eelneva tulemusega, suurenes reie nelipea kontsentiline lihasjõud nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel vahetult pärast jalgpallitreeningut, kuid langes pärast 15-minutilist passiivset puhkepausi. Sealjuures ei esinenud kummalgi alajäsemel statistiliselt olulisi muutusi lihasjõus. Domineeriva alajäseme reie nelipealihase kontsentiline lihasjõud enne treeningut oli $1398,36 \pm 114,15$ N, vahetult pärast treeningut $1462,41 \pm 151,20$ N ning pärast puhkepausi $1428,27 \pm 166,66$ N. Mittedomineeriva alajäseme lihasjõud enne treeningut $1430,61 \pm 163,92$ N, pärast treeningut $1462,41 \pm 151,20$ N ning pärast puhkepausi $1480,56 \pm 151,84$ N.



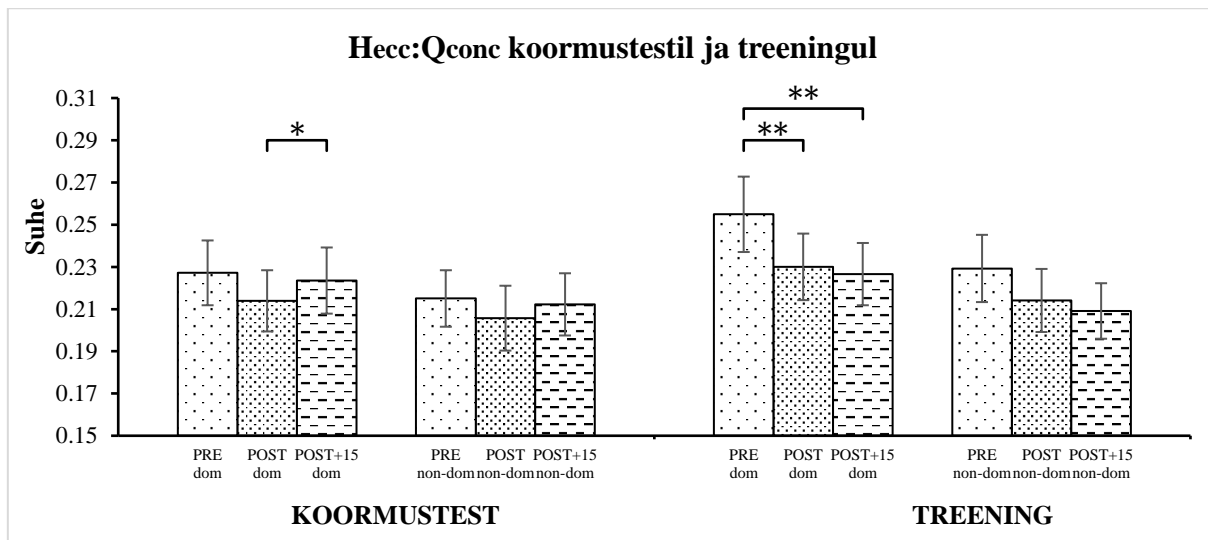
Joonis 8. Püstiastendist allaliikumisega ühelt jalalt üleshüppe tulemused enne ja pärast tavapärasest jalgpallitreeningut (keskmine ± SE). *PRE* - koormusele eelnenud testharjutus; *POST* - vahetult koormusele järgnenud testharjutus; *POST+15* - 15 minutit pärast koormuse lõppu sooritatud testharjutus; *dom* - domineeriv alajäse; *non-dom* - mittedomineeriv alajäse

4.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihasjõudude suhte muutused

Koormustesti eel ja järel kogutud andmete põhjal arvutati vaatlusaluste (n=9) HL-ide $H_{ECC}:Q_{CONC}$ nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel. Saadud tulemused näitasid, et vahetult pärast koormustesti langes mõlemal alajäsemel $H_{ECC}:Q_{CONC}$, kuid taastus pärast 15-minutilist puhkepausi (Joonis 9). Domineeriva alajäseme $H_{ECC}:Q_{CONC}$ enne koormustesti oli $0,227 \pm 0,046$, vahetult pärast koormustesti $0,214 \pm 0,044$ ning pärast 15-minutilist puhkepausi $0,224 \pm 0,047$. Statistiliselt oluline oli muutus domineeriva alajäseme vahetult koormustestile järgnenud ja puhkepausi järgsete tulemuste vahel ($p < 0,05$) Mittedomineeriva alajäseme suhtarvud olid vastavalt $0,215 \pm 0,040$ (enne), $0,206 \pm 0,046$ (vahetult pärast) ja $0,212 \pm 0,044$ (pärast puhkepausi), sealjuures ei täheldatud statistiliselt olulist muutust.

HL-ide $H_{ECC}:Q_{CONC}$ vähenes nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel pärast tavapärasest jalgpallitreeningut, samuti täheldati suhtarvu langust ka pärast 15-minutilist passiivset puhkepausi (Joonis 9). Domineeriva alajäseme $H_{ECC}:Q_{CONC}$ -i treeningule eelnevalt oli $0,255 \pm 0,056$, pärast treeningut $0,230 \pm 0,050$ ja pärast puhkepausi $0,227 \pm 0,047$. Statistiliselt olulisi muutuseid täheldati treeningule eelnenud ja järgnenud mõõtmistulemustes ($p < 0,01$) ning treeningule eelnenud ja puhkepausile järgnenud ($p < 0,01$) tulemuste vahel. Mittedomineeriva alajäseme $H_{ECC}:Q_{CONC}$ -i väärtuste muutused olid pärast treeningut sarnased nagu domineerival alajäsemel, kuid statistiliselt olulist muutust ei esinenud. Mittedomineeriva

alajäseme $H_{ECC:Q_{CONC}}$ -i väärtused olid $0,229 \pm 0,050$ (enne), $0,214 \pm 0,047$ (vahetult pärast) ning $0,209 \pm 0,042$ (pärast puhkepausi).



Joonis 9. Hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihasjõudude suhe enne ja pärast koormustesti ning jalgpallitreeningut (keskmine \pm SE). *PRE* - koormusele eelnenud testharjutus; *POST* - vahetult koormusele järgnenud testharjutus; *POST+15* - 15 minutit pärast koormuse lõppu sooritatud testharjutus; *dom* - domineeriv alajäse; *non-dom* - mittedomineeriv alajäse; * - $p < 0,05$, ** - $p < 0,01$

5. ARUTELU

Käesoleva töö peamine eesmärk oli hinnata, kuidas mõjutavad kaks erineva iseloomu ja kestusega treeningkoormust HL-ide maksimaalse tahtelise ekstsentrilise lihasjõu tulemust. Väsimusseisundi tekitamiseks kasutati astmelist koormustesti jooksulindil ja tavapärasel jalgpallitreeningul. Eesmärgi saavutamiseks hinnati kokku 12 Tartu Jalgpallikool Tammeka esindusmeeskonna mängijat treeningkoormuste eel ning järel. Lisaks selgitati välja treeningkoormuste järgsed muutused reie nelipealihase kontsentrilises lihasjõus ja $H_{ECC:Q_{CONC}}$ -is. Samuti hinnati vaatlusaluste HL-ide vigastuste esinemissagedust.

5.1. Hamstringlihaste vigastuste esinemine vaatlusalustel

Töö tulemustest selgus, et uuringus osalenud vaatlusalustest oli varasemalt kogu mängijakarjääri jooksul esinenud HL-ide vigastusi 4 mängijal (33,3%), mis on väiksem HL-ide vigastuste esinemise määr, kui varasemates uuringutes välja toodud info põhjal võiks eeldada. Varasemate uuringute statistika näitab, et HL-ide vigastuste esinemine on jalgpallis väga sagedane ning keskmiselt tekib ühes jalgpallimeeskonnas ainuüksi ühe hooaja jooksul 10 HL-ide vigastust (Bisciotti *et al.*, 2019) ja igal jalgpallihooajal tekib 21,8% mängijatest vähemalt üks HL-ide vigastus (Biz *et al.*, 2021). Võib eeldada, et kui vigastuste esinemist spetsiaalselt ei monitoorita, ei pruugi sportlane oma vigastusi täpselt mäletada, kuna käesolevas uuringus koguti andmed vaatlusaluste vigastuste ajaloo kohta tagantjärele (Stannard *et al.*, 2022).

5.2. Lihasjõu muutused treeningkoormuste järgselt

Teaduskirjanduses on välja toodud, et HL-ide vigastuste tekkimise risk kasvab mängude ja treeningute hilisematel perioodidel, mille üheks tõenäoliseks seletuseks on HL-ide ekstsentrilise lihasjõu langus väsimuse tekkimise järgselt (Bisciotti *et al.*, 2019; Maffulli *et al.*, 2021; Opar *et al.*, 2012). Jalgpallimängust tingitud väsimus tekib tsentraalsete ja perifeersete faktorite kombinatsioonist, mis hõlmavad mehhanisme nii kesknärvisüsteemis kui ka lihaskudedes ja energia produktsioonil (Maffulli *et al.*, 2021).

Käesoleva töö autoritele teadaolevalt pole varasemalt lihasväsimuse tekkimist astmelise koormustestiga seonduvalt uuritud, kuid on uuritud erinevaid jalgpallis laialdaselt kasutatavaid protokolle ja nende läbi väsimuse mõju HL-ide lihasjõule. Käesoleva uuringu tulemustest selgus, et jooksulindil tehtud astmelise koormustesti mõju HL-ide ekstsentrilise lihasjõu muutustele nii domineerival kui ka mittedomineerival alajäsemel oli tagasihoidlik. Samuti leiti,

et koormustesti järgselt suurenes reie nelipealihase kontsentiline lihasjõud, kuid langes pärast 15 minutilist puhkepausi. Brogden *et al.* (2020) kasutasid 67 jalgpalluriga tehtud uuringus väsimuse tekitamiseks *Yo-Yo Intermittent Recovery test*'i, kasutades NordBord™ seadet, mis on analoogne käesolevas uuringus kasutatud seadmega. Testi jooksul tuli vaatlusalustel läbida korduvalt järjest lühema ajaperioodi jooksul 40-meetrist vahemaad, iga jooksu vahele jäi 10 sekundit aktiivset taastumisaega. Sarnaselt käesoleva uuringuga sooritati NHE enne ja vahetult pärast jooksuprotokolli. Tulemustest selgus, et antud jalgpallispetsiifiline jooksutest ei mõjunud negatiivselt HL-ide ekstsentrilisele lihasjõule, vaid lihaste maksimaaljõud paranes testijärgselt 5-8%. Artikli autorid tõid välja, et kuigi *Yo-Yo Intermittent Recovery test* võib jäljendada jalgpalli võistlusmängule sarnaseid füsioloogilisi nõudmisi, ei ole see võrreldav reaalse võistlusmängu ajalise kestusega, see ei sisalda samal määral kiirendusi ja pidurdusi, et tagada võrreldavat ekstsentrilist stressi HL-idele jooksu kiirendus- ja pidurdusfaasis, mistõttu ei sobi see test HL-ide koormusjärgse väsimusseisundi tekitamiseks. (Brogden *et al.*, 2020) Kuna ka käesolevas uuringus rakendatud astmeline koormustest jooksulindil ei põhjustanud olulist HL-ide ekstsentrilise lihasjõu langust (koormusjärgselt domineerival alajäsemel keskmiselt 3,3%, mittedomineeriva alajäseme lihasjõus muutust ei tekkinud), võib selle põhjusteks olla sarnaselt eelnevalt kirjeldatud uuringule treeningkoormuse ajaline kestus (koormustest kestis keskmiselt 19 min 18 sek ± 2 min 13 sek) ja olematu suunamuutuste, kiirenduste ning pidurduste arv. Eestis nõuab alaliit alates U16 vanusegrupist mängijalt koormustesti läbimist ühel korral aastas, mida sooritatakse üldjuhul enne võistlushooaja algust (EJL, 2023). Kuna koormustest ei põhjustanud vaatlusalustel olulist väsimusseisundit, leiavad uuringu autorid, et astmelist koormustesti võib kehalise seisundi ja töövõime jälgimiseks jalgpallis julgemalt kasutada ka hooaja jooksul.

Selleks, et imiteerida paremini jalgpallimängu iseloomu, ja seega uurida HL-ide ekstsentrilise lihasjõu muutusi väsimuse tekkimise järgselt, on kasutatud *Loughborough Intermittent Shuttle Test*'i. Greig & Siegler (2009) teostasid 10 vaatlusalusega eeltoodud jooksuprotokolli jooksulindil ning mõõtsid HL-ide ekstsentrilist lihasjõudu enne protokollit ja pärast iga 15-minutilist jooksutsükli (kokku 6). Coratella *et al.* (2015) tegid modifitseeritult sama protokollit 22 amatöörjalgpalluriga parkettpõrandaga väljakul, lihasjõu mõõtmine toimus vahetult enne ja pärast koormust ning lisaks HL-ide lihasjõule mõõdeti ka reie nelipealihase kontsentrilist lihasjõudu, peamise eesmärgiga registreerida liigesnurgad maksimaalsel jõumomendil. Mõlemad autorid kasutasid oma uuringus HL-ide ekstsentrilise lihasjõu mõõtmiseks isokineetilist dünamomeetrit, mis on erinev antud magistritöös kasutatud mõõteseadmest.

Varasemalt on leitud, et isokineetiline dünamomeeter ja NHE mõõteseadme tulemused ei pruugi kajastada HL-ide ekstsentrilist lihasjõudu üheselt. Näiteks leiti, et isegi kui kohandada

katsetingimusi muutes kehaasendit lihasjõu testimisel isokineetilise dünamomeetriga, jäi HL-ide ekstsentrilise kontraktsioonijõu näitaja isokineetilisel dünamomeetril märkimisväärselt madalamaks kui NHE mõõteseadmega saadud tulemus. (Wiesinger *et al.*, 2020) Varasema teaduskirjanduse põhjal võib aga väita, et praktikas kasutatavad alternatiivsed lihasjõu mõõtmise seadmed on oma tulemustega hästi võrreldavad isokineetilise dünamomeetriga. Näiteks käeshoitav dünamomeeter leiti olevat usaldusväärseks meetodiks põlve- ja puusaliigest ümbritsevate lihaste lihasjõu hindamiseks, kuigi selle vahendiga saadud tulemused ei olnud samaväärsed isokineetilise dünamomeetri tulemustega. ICC (*intraclass correlation coefficient*) väärtus põlveliigese painutajatel oli 0,62-0,66 ning sirutajatel 0,91-0,93, mis näitas mõõdukat kuni suurepärast kokkulangevust käeshoitava ja isokineetilise dünamomeetri vahel. (Martins *et al.*, 2017; Muff *et al.*, 2016) Antud magistritöös kasutati NHE lihasjõu mõõtmiseks SAUTER FL-M digitaalset jõumõõteseadet, mis registreeris ettekallutusel tekkivat tõmbejõudu njuutonites, mis on analoogne varasemates teaduskirjanduses kasutatud NordBord™ seadmega.

Käesoleva töö autorid leiavad, et ülalpool kirjeldatud *Loughborough Intermittent Shuttle Test*'i ajalise kestuse, intensiivsuse ning selle vaheldumise tõttu on leitud muutused lihasjõus väsimuse järgselt võrreldavad käesolevas magistritöös leitud tavapärase jalgpallitreeninguga seotud lihasjõu mõõtmistulemustega. Greig & Siegler (2009) uuringu tulemused näitasid, et HL-ide ekstsentriline jõud vähenes kogu jooksuprogrammi jooksul kuni 24%. Lisaks oli negatiivne mõju HL-ide ekstsentrilisele lihasjõule ka passiivsel 15 minutilisel pausil, mis jäi 3. ja 4. jooksutsükli vahele. Antud magistritöös leitud tulemused näitasid samuti HL-ide ekstsentrilise lihasjõu vähenemist koormuse järgselt, kuid muutused olid oluliselt väiksemad võrreldes Greig & Siegler (2009) uuringuga. Leiti, et HL-ide ekstsentriline lihasjõud langes jalgpallitreeningu järgselt domineerival alajäsemel 6% ning mittedomineerival alajäsemel 1,5% võrreldes treeningkoormusele eelnenud seisundiga, pärast 15 minutilist pausi oli HL-ide ekstsentriline lihasjõud domineerival alajäsemel 9% ja mittedomineerival alajäsemel 5% madalam kui enne treeningut. Selle üks võimalik seletus võib olla see, et Greig & Siegler (2009) uuringus teostati maksimaalse lihasjõu mõõtmisi rohkematel kordadel, mis võis omakorda rõhutada lihasväsimuse teket.

Maffulli *et al.*, (2021) poolt tehtud uuringus 22 amatöör- ja professionaalsete jalgpalluritega leiti, et 90-minutilisel võistlusmängul vähendas oluliselt HL-ide ekstsentrilist lihasjõudu. Uuringus kasutati NHE-d, mida mõõdeti NordBord™ seadmega ehk meetoodika oli sarnane antud magistritöö omaga. Kuna nii jalgpallimäng kui -treening nõuavad sportlastelt erineva intensiivsusega liikumist lisaks kõige muu mängu juurde kuuluvaga (nt hüpped, kiirendused, pidurdused, pallilöögid), võivad jalgpallimängu ja jalgpallitreeningu mõõtmistulemused olla omavahel võrreldavad, kuid siinkohal tuleb arvestada, et võistlusmängu

intensiivsus pole siiski üheselt võrreldav jalgpallitreeningu intensiivsusega. Maffulli *et al.* (2021) uuringus testiti HL-ide ekstsentrilise lihasjõu mõõtmisel mängijaid 20 minuti jooksul enne ja pärast võistlusmängu ehk testimisele kulunud ajavahemik oli oluliselt pikem kui antud magistritöös ning tulemustes ei kajastatud domineeriva ja mittedomineeriva alajäseme lihasjõudusid eraldi. Töö tulemustest selgus, et võistlusmäng põhjustas statistiliselt olulist lihasjõu langust HL-ides, kui koormusele eelnevalt oli keskmiseks NHE unilateraalseks tulemuseks $306,91 \pm 59,26$ N ning pärast koormust $277,77 \pm 60,35$ N ($p < 0,001$). Leitud HL-ide ekstsentrilise lihasjõu suhteline langus antud uuringus oli seetõttu suurem kui antud magistritöö raames tehtud treeninguga seotud testimisel, mis võib tuleneda samuti sellest, et võistlusmängu intensiivsus on kõrgem kui jalgpallitreeningul.

5.3. Hamstringlihaste ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihasjõudude suhte muutused

Madal HL-ide ja reie nelipealihase lihasjõudude suhe võib teaduskirjanduse põhjal olla üheks HL-ide vigastuste tekkimise riskifaktoriks (Moreno-Pérez *et al.*, 2022; Shalaj *et al.*, 2020), kuid näiteks Correia *et al.* (2020) poolt tehtud uuringus ei olnud erinevusi HL-ide ja reie nelipealihaste lihasjõudude suhtarvudes varasemalt vigastatud ja mitte-vigastatud HL-ide gruppide vahel.

Coratella *et al.* (2015) uuringu tulemused näitasid, et kui hinnata väsimuse järgselt HL-ide $H_{ECC}:Q_{CONC}$ -i ning maksimaalse jõumomendi tekkimise liigesnurkasid, on väsimusest tingitud muutused seotud pigem HL-idega kui reie nelipealihasega, mida näitasid ka käesolevas magistritöös kogutud andmed. Coratella *et al.* (2015) tõid välja, et väsimuse tekkimise järgselt suurenes põlveliigese fleksioonnurk maksimaalsel jõumomendil, mis tähendab, et HL-ide ekstsentrilisel kontraktsioonil tekkis maksimaaljõud lihase lühemas asendis kui enne koormust. See näitab, et kui HL liigutustegevuse käigus pikenevad, nt põlveliigese ekstensiooni ajal, on nende võime vastata reie nelipealihase kontsentrilisele lihasjõule vähenenud ning see omakorda võib suurendada HL-ide vigastuste riski. Samuti tõid autorid välja, et funktsionaalsel $H_{ECC}:Q_{CONC}$ -il oli tendents koormuse järgselt väheneda, sealjuures oli statistiliselt oluline suhtarvu langus seotud rohkemal määral domineeriva alajäseme lihasjõu näitajatega, mille tulemus on sarnane antud magistritöös leitud. Magistritöö tulemustest selgus, et $H_{ECC}:Q_{CONC}$ -il vähenes pärast tavapärasest jalgpallitreeningut nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel, kuid statistiliselt olulist muutust täheldati vaid domineerival alajäsemel. Varasemalt on välja toodud, et kui $H_{ECC}:Q_{CONC}$ väärtus oli väiksem kui 0,7, tõstis see HL-ide vigastuste

riski (Coratella *et al.*, 2015), kuid kuna lihasjõudude mõõtmise meetodika oli erinev käesolevast uuringust, pole võimalik saadud suhtarvusi üheselt võrrelda.

5.4. Uurimistöö limitatsioonid ja tugevused

Käesoleva uurimistöö üheks limiteerivaks faktoriks võib pidada vaatlusaluste väikest arvu. Lisaks polnud uurimisperioodi jooksul tekkinud vigastuste tõttu võimalik hinnata kõiki uuringus osalemisega nõustunud mängijaid. Kuna varasemalt pole uuritud koormustesti mõju alajäsemete lihasjõule, tuli uuringu käigus kogutud andmeid võrrelda erinevate jalgpalluritel kasutatavate jooksuprotokollidega, mistõttu ei pruugi olla saadud andmed üheselt võrreldavad. Lisaks võib töö limiteerivaks faktoriks pidada kolmel erineval treeningpäeval testimist, mille tõttu ei saa täielikult väita, et kõikidele uuritavatele mõjus ühesugune koormus, kuid treeningutega seotud testimispäevade planeerimisel võeti arvesse üldist treeningplaani ülesehitust ja kõik kolm testimist viidi läbi nädala kahe kõige raskema koormusega päeval (kahel teisipäeval ja ühel kolmapäeval).

Käesoleva magistr töö tugevuseks võib pidada töö meetodika aktuaalsust, kuna mängijaid testiti jalgpallis üha enam kasutatavate monitoorimise meetoditega, mis võimaldas uurida jalgpalli spetsiifilisemat lihasjõudude suhet ($H_{ECC}:Q_{CONC}$). Samuti pole varasemalt astmelise koormustesti mõju alajäsemete lihasjõule selliselt jälgitud. Lisaks olid vaatlusalusteks Eesti meistriliiga ehk kõrgeimal liigatasemel mängivad jalgpallurid.

6. JÄRELDUSED

Käesoleva magistritöö tulemuste põhjal tehti järgmised järeldused:

1. Astmeline koormustest jooksulindil ei olnud piisav stiimul HL-ide väsimusseisundi tekitamiseks, mis oleks väljendunud ekstsentrilise lihasjõu olulises languses.
2. Tavapärasel jalgpallitreeningu järgselt langes HL-ide ekstsentriline lihasjõud nii domineerival kui mittedomineerival alajäsemel, kusjuures lihasjõule oli negatiivne mõju ka 15-minutilisel passiivsel puhkepausil.
3. Koormustestil ja tavapärasel jalgpallitreeningul ei olnud negatiivset mõju reie nelipealihase kontsentrilisele lihasjõule, kuid negatiivset mõju omas 15-minutiline passiivne puhkepaus.
4. HL-ide ekstsentrilise ja reie nelipealihase kontsentrilise lihasjõudude funktsionaalne suhe vähenes oluliselt tavapärase jalgpallitreeningu järel, mis võib suurendada jalgpallitreeningul HL-ide vigastuste riski.

KASUTATUD KIRJANDUS

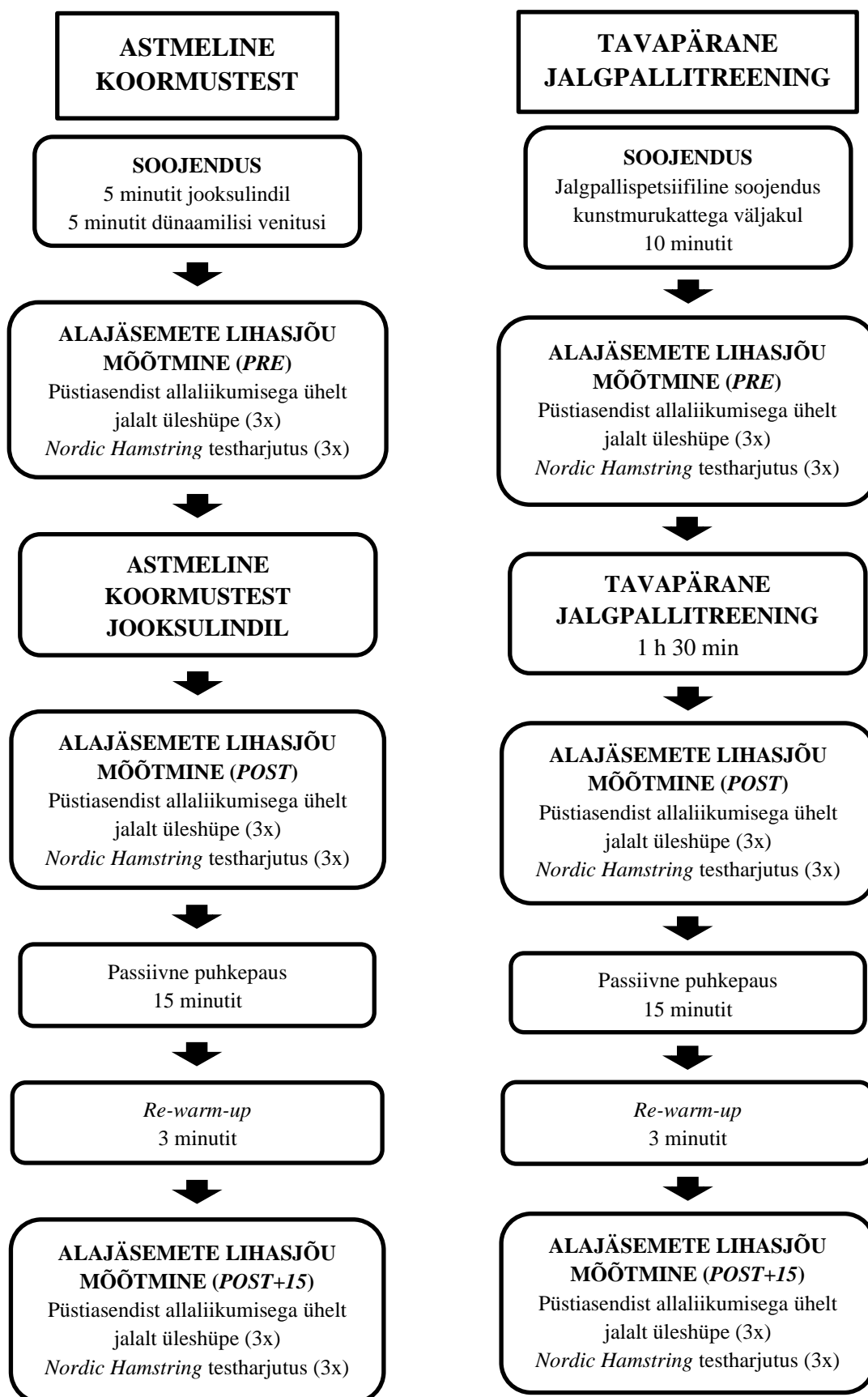
1. Afonso J, Rocha-Rodrigues S, Clemente FM, Aquino M, Nikolaidis PT et al. The Hamstrings: Anatomic and Physiologic Variations and Their Potential Relationships With Injury Risk. *Frontiers in Physiology*. 2021;12:694604.
2. Bisciotti GN, Chamari K, Cena E, Carimati G, Bisciotti A et al. Hamstring Injuries Prevention in Soccer: A Narrative Review of Current Literature. *Joints*. 2019;7(3):115-126.
3. Bishop C, Manuel J, Drury B, Beato M, Turner A. Assessing Eccentric Hamstring Strength Using the NordBord: Between-Session Reliability and Interlimb Asymmetries in Professional Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2022;36(9):2552-2557.
4. Biz C, Nicoletti P, Baldin G, Bragazzi NL, Crimì A et al. Hamstring Strain Injury (HSI) Prevention in Professional and Semi-Professional Football Teams: A Systematic Review and Meta-Analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(16):8272.
5. Brogden CM, Gough L, Kelly A. The Effects of a Soccer-Specific Fitness Test on Eccentric Knee Flexor Strength. *Journal of Sport Rehabilitation*. 2020;30(4):568-572.
6. Buchheit M, Cholley Y, Nagel M, Poulos N. The Effect of Body Mass on Eccentric Knee-Flexor Strength Assessed With an Instrumented Nordic Hamstring Device (Nordbord) in Football Players. *International Journal of Sports Physiology and Performance*. 2016;11(6):721-726.
7. Coratella G, Bellin G, Beato M, Schena F. Fatigue affects peak joint torque angle in hamstrings but not in quadriceps. *Journal of Sports Sciences*. 2015;33(12):1276-1282.
8. Correia P, Santos P, Mil-Homens P, Gomes M, Dias A et al. Rapid hamstrings to quadriceps ratio at long muscle lengths in professional football players with previous hamstring strain injury. *European Journal of Sport Science*. 2020;20(10):1405-1413.
9. Danielsson A, Horvath A, Senorski C, Alentorn-Geli E, Garrett WE et al. The mechanism of hamstring injuries – a systematic review. *BMC Musculoskelet Disord*. 2020;21:641.
10. EJL (Eesti Jalgpalli Liit). Terviseuuringud. 2023. <https://jalgpall.ee/ejl/terviseuuringud>, 19. mai 2023.
11. Ekstrand J, Bengtsson H, Waldén M, Davison M, Khan KM et al. Hamstring injury rates have increased during recent seasons and now constitute 24% of all injuries in men's professional football: the UEFA Elite Club Injury Study from 2001/02 to 2021/22. *British Journal of Sports Medicine*. Published online November 16, 2022.
12. Evangelidis PE, Pain MTG, Folland J. Angle-specific hamstring-to-quadriceps ratio: A comparison of football players and recreationally active males. *Journal of Sports Sciences*. 2015;33(3):309-319.
13. Greig M, Siegler JC. Soccer-Specific Fatigue and Eccentric Hamstrings Muscle Strength. *Journal of Athletic Training*. 2009;44(2):180-184.

14. Gronwald T, Klein C, Hoenig T, Pietzonka M, Bloch H et al. Hamstring injury patterns in professional male football (soccer): a systematic video analysis of 52 cases. *British Journal of Sports Medicine*. 2022;56(3):165-171.
15. Hostrup M, Bangsbo J. Performance Adaptations to Intensified Training in Top-Level Football. *Sports Medicine*. 2023;53(3):577-594.
16. Hughes S, Warmenhoven J, Haff GG, Chapman DW, Nimphius S. Countermovement Jump and Squat Jump Force-Time Curve Analysis in Control and Fatigue Conditions. *Journal of Strength and Conditioning Research*. 2022;36(10):2752-2761.
17. Ishøi L, Krommes K, Husted RS, Juhl CB, Thorborg K. Diagnosis, prevention and treatment of common lower extremity muscle injuries in sport – grading the evidence: a statement paper commissioned by the Danish Society of Sports Physical Therapy (DSSF). *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54(9):528-537.
18. Jokela A, Valle X, Kosola J, Rodas G, Til L et al. Mechanisms of Hamstring Injury in Professional Soccer Players: Video Analysis and Magnetic Resonance Imaging Findings. *Clinical Journal of Sport Medicine*. 2023;33(3):217-224.
19. Kellis E, Sahinis C, Baltzopoulos V. Is hamstrings-to-quadriceps torque ratio useful for predicting anterior cruciate ligament and hamstring injuries? A systematic and critical review. *Journal of Sport and Health Science*. Published online January 19, 2022.
20. López-Valenciano A, Ruiz-Pérez I, Garcia-Gómez A, Vera-Garcia FJ, De Ste Croix M et al. Epidemiology of injuries in professional football: a systematic review and meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*. 2020;54(12):711-718.
21. Maffulli N, Kakavas G, Malliaropoulos N, Gabbett T, Mitrotasios M et al. A 90 Minute Soccer Match Induces Eccentric Hamstring Muscles Fatigue. Published online April 23, 2021.
22. Martins J, da Silva JR, da Silva MRB, Bevilaqua-Grossi D. Reliability and Validity of the Belt-Stabilized Handheld Dynamometer in Hip- and Knee-Strength Tests. *Journal of Athletic Training*. 2017;52(9):809-819.
23. Miguel M, Oliveira R, Loureiro N, García-Rubio J, Ibáñez SJ. Load Measures in Training/Match Monitoring in Soccer: A Systematic Review. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2021;18(5):2721.
24. Moreno-Pérez V, Rodas G, Peñaranda-Moraga M, López-Samanes Á, Romero-Rodríguez D et al. Effects of Football Training and Match-Play on Hamstring Muscle Strength and Passive Hip and Ankle Range of Motion during the Competitive Season. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 2022;19(5):2897.
25. Mueller-Wohlfahrt HW, Haensel L, Mithoefer K, Ekstrand J, English B et al. Terminology and classification of muscle injuries in sport: The Munich consensus statement. *British Journal of Sports Medicine*. 2013;47(6):342-350.
26. Muff G, Dufour S, Meyer A, Severac F, Favret F et al. Comparative assessment of knee extensor and flexor muscle strength measured using a hand-held vs. isokinetic dynamometer. *Journal of Physical Therapy Science*. 2016;28(9):2445-2451.
27. Opar DA, Williams MD, Shield AJ. Hamstring Strain Injuries. *Sports Medicine*. 2012;42(3):209-226.

28. Opar DA, Williams MD, Timmins RG, Hickey J, Duhig SJ et al. Eccentric hamstring strength and hamstring injury risk in Australian footballers. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2015;47(4):857-865.
29. Owen AL, Forsyth JJ, Wong DP, Dellal A, Connelly SP et al. Heart Rate–Based Training Intensity and Its Impact on Injury Incidence Among Elite-Level Professional Soccer Players. *The Journal of Strength & Conditioning Research*. 2015;29(6):1705.
30. Shalaj I, Gjaka M, Bachl N, Wessner B, Tschann H et al. Potential prognostic factors for hamstring muscle injury in elite male soccer players: A prospective study. *PLoS One*. 2020;15(11):e0241127.
31. Smith NA, Franettovich Smith MM, Bourne MN, Barrett RS, Hides JA. A prospective study of risk factors for hamstring injury in Australian football league players. *Journal of Sports Sciences*. 2021;39(12):1395-1401.
32. Sprouse B, Alty J, Kemp S, Cowie C, Mehta R et al. The Football Association Injury and Illness Surveillance Study: The Incidence, Burden and Severity of Injuries and Illness in Men’s and Women’s International Football. *Sports Medicine (Auckland, N.z)*. 2020.
33. Stannard J, Finch CF, Fortington LV. Improving musculoskeletal injury surveillance methods in Special Operation Forces: A Delphi consensus study. *PLoS Glob Public Health*. 2022;2(1):e0000096.
34. Wiesinger H, Gressenbauer C, Kösters A, Scharinger M, Müller E. Device and method matter: A critical evaluation of eccentric hamstring muscle strength assessments. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. 2020;30(2):217-226.
35. Wilmes E, De Ruiter CJ, Bastiaansen BJC, Goedhart EA, Brink MS et al. Associations between Hamstring Fatigue and Sprint Kinematics during a Simulated Football (Soccer) Match. *Medicine & Science in Sports & Exercise*. 2021;53(12):2586-2595.

LISAD

LISA 1. Uuringu protseduuriline korraldus



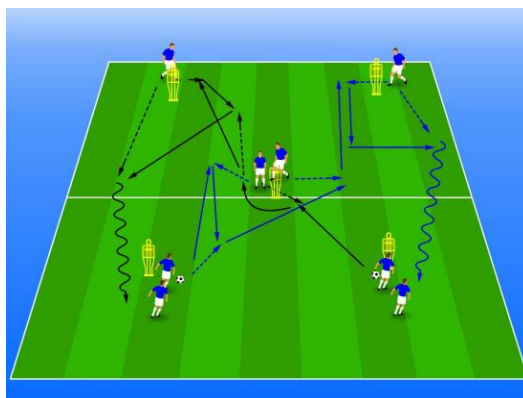
LISA 2. Borgi modifitseeritud 10-palli skaala treeningu raskusastme hindamiseks

Borg CR-10 skaala	
0	Üldse mitte
1	Väga, väga kerge
2	Kerge
3	Mõõdukas
4	Veidi raske
5	Raske
6	-
7	Väga raske
8	-
9	-
10	Maksimaalne pingutus

LISA 3. Jalgpallitreeningute ülesehitus testimispäevadel

08.02.2023

1. Soojendusharjutused ilma pallideta (10 min).
2. Soojendusharjutused pallidega (*rondo*'d) (kokku 10 min).
3. Sööduharjutus koos palliga liikumisega (kokku 12 min).
4. Palli valdamise harjutus vähendatud mõõtmetega väljakul (kokku 15 min), väljaku mõõtmed 50x35m.
5. Rünnaku lõpetamise harjutus (kokku 15 min).
6. 7vs7 mäng vähendatud väljakul (ingl *small-sided game*) (kokku 14 min), väljaku mõõtmed 75x50m.



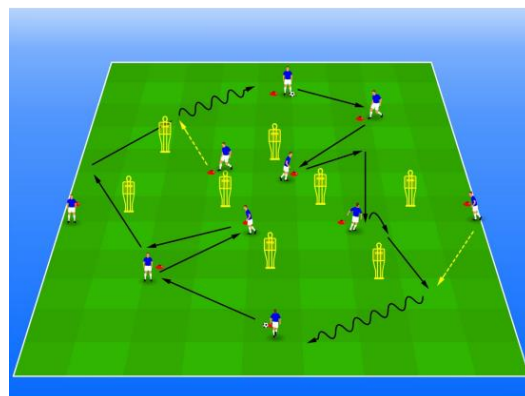
14.02.2023

1. Soojendusharjutused ilma pallideta (10 min)
2. Soojendusharjutused pallidega (*rondo*'d) (kokku 10 min)
3. Sööduharjutus koos palliga liikumisega (kokku 8 min)
4. Väiksed mängud (*small-sided game*) 3vs3 + neutraalse mängijaga (kokku 15 min), väljaku mõõtmed 30x20m.
5. Rünnakute lõpetamise harjutus ja sprindid (kokku 15 min)
6. Kõrge tempoga mäng vähendatud väljakul 7vs7 (kokku 21 min), väljaku mõõtmed 75x50m.



21.02.2023

1. Soojendusharjutused ilma pallideta (10 min)
2. Soojendusharjutused pallidega (*rondo*'d)
(kokku 10 min)
3. Sööduharjutus koos palliga liikumisega
(kokku 12 min)
4. Üleminekuga palli hoidmise harjutus (kokku
12 min), väljaku mõõtmed 10x10 + 10x10m.
5. Rünnakute lõpetamise harjutus (kokku 12
min)
6. Kõrge tempoga mäng vähendatud väljakul
8vs8 (kokku 21 min), väljaku mõõtmed
75x50m.



Lihtlitsents lõputöö reprodutseerimiseks ja üldsusele kättesaadavaks tegemiseks

Mina, _____ ALLAR MÄLLO _____,

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

Jalgpallurite reie tagakülje lihaste maksimaalse tahtelise ekstsentrilise kontraktsioonijõu muutuse hindamine eri intensiivsustega treeningkoormuste järgselt,

mille juhendaja on _____ MATI AREND _____,

reprodutseerimiseks eesmärgiga seda säilitada, sealhulgas lisada digitaalarhiivi DSpace kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

2. Annan Tartu Ülikoolile loa teha punktis 1 nimetatud teos üldsusele kättesaadavaks Tartu Ülikooli veebikeskkonna, sealhulgas digitaalarhiivi DSpace kaudu Creative Commons'i litsentsiga CC BY NC ND 3.0, mis lubab autorile viidates teost reprodutseerida, levitada ja üldsusele suunata ning keelab luua tuletatud teost ja kasutada teost ärieesmärgil, kuni autoriõiguse kehtivuse lõppemiseni.

3. Olen teadlik, et punktides 1 ja 2 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile.

4. Kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei riku ma teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse õigusaktidest tulenevaid õigusi.

Allar Mällo

22.05.2023