

**STAATTISEN VENYTTELYN AKUUTIT VAIKUTUKSET ALARAAJOJEN  
VOIMA- JA HYPPYOMINAISUUKSIIN HUIPPUTASON VOIMISTELIJOILLA**

Inka Kolho

Liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Kolho, I. 2024. Staattisen venyttelyn akuutit vaikutukset alaraajojen voima- ja hyppyominaisuuksiin huipputasoin voimistelijoilla. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian pro gradu -tutkielma, 40 s.

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia alaraajojen voima- ja hyppyominaisuuksiin isometrisessä nilkkojen jännityksessä sekä kevennyshypyssä huipputasoin voimistelijoilla. Tämän lisäksi tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella pohkeen lihas- ten (gastrocnemius medialis ja lateralis) arkkitehtuurin merkitystä nilkan isometriseen maksimivoimaan ja kevennyshyppyyn. Tutkimukseen osallistui yhteensä 14 perustervettä huipputa- son joukkuevoimistelijaa, joista kaikki olivat naisia. Tutkittavat olivat iältään 17–20-vuotiaita. Tutkimusasetelmana oli poikittaistutkimus, eli kaikki tutkittavat tulivat tutkimusmittauksiin yh- den päivän ajaksi. Tutkimus tapahtui Jyväskylässä liikuntalaboratorion tiloissa.

Tutkittavat suorittivat ensin kolme maksimaalista kevennyshyppyä 30 sekunnin palautuksilla. Tämän jälkeen tehtiin 90 sekunnin avustettu venytys lonkankoukistajille ja etureisille. Välittö- mästi venytyksen jälkeen suoritettiin jälleen maksimaalinen kevennyshyppy. Venytyksen jäl- keisen palautusajan vaikutusta kevennyshyppyyn tarkasteltiin suorittamalla kevennyshyppy vielä 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venytyksen jälkeen. Samanlainen protokolla suoritettiin myös iso- metriselle nilkkojen jännitykselle pohjevenytyksen jälkeen.

Lihaksen arkkitehtuuria mittaavana menetelmänä käytettiin ultraäänikuvia. Ultraäänellä tarkas- teltiin toisen jalan pohkeen lihaksia (gastrocnemius medialis ja lateralis). Ultraäänitutkimus tehtiin samalle jalalle, jolla tutkittava halusi suorittaa isometrisen nilkkojen jännityksen. Ultraääni- kuvat otettiin Telemed ArtUs -laitteella. Lihaksista määritettiin lihasten paksuudet, fasikkelei- den pituudet ja pennaatiokulmat.

Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että staattisella venyttelyllä voidaan havaita ole- van akuutteja vaikutuksia nilkan ojentajalihasten maksimivoimaan ja kevennyshypyn korkeu- teen sekä tehoon. Maksimivoima heikkeni keskimäärin 5,8 % välittömästi venyttelyn jälkeen ( $p = 0,014$ ), mutta palautui nopeasti venyttelyä edeltävälle tasolle eikä tilastollisesti merkitseviä eroja havaittu 2, 4, 6 tai 8 minuuttia venyttelyn jälkeen. Staattinen venyttely heikensi välittö- mästi venyttelyn jälkeen myös kevennyshypyn korkeutta (11 %;  $p = 0,005$ ) ja tehoa (7,4 %;  $p = 0,002$ ). Kahdeksan minuuttia venyttelyn jälkeen korkeudessa ei enää havaittu tilastollisesti merkitsevää eroa pre-suoritukseen verrattuna. Sen sijaan tehon muutos oli merkitsevä palautus- ajasta riippumatta. Gastrocnemius medialiksen lihaspaksuuden ja nilkan ojentajalihasten mak- simivoiman välillä havaittiin positiivinen korrelaatio ( $r = 0,595$ ;  $p = 0,032$ ), kun taas lihaspak- suuden ja kevennyshypyn korkeuden muutoksen välillä negatiivinen korrelaatio ( $r = -0,691$ ;  $p = 0,0089$ ). Gastrocnemius medialiksen pennaatiokulman ja kevennyshypyn korkeuden sekä teh- hon muutosten välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio ( $r = -0,678$ ;  $p = 0,0077$  ja  $r = -0,634$ ;  $p = 0,015$ ). Tulosten perusteella ei kuitenkaan voida yksiselitteisesti päätellä mitään lihaski- tehtuurin merkityksestä staattisen venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin. Näyttäisi kuitenkin siltä, ettei pitkiä staattisia venyttelyitä voida suositella ennen maksimaalista voiman- tai tehontuottoa vaativia suorituksia.

Asiasanat: staattinen venyttely, voimistelu, kevennyshyppy, isometrinen voimantuotto

## ABSTRACT

Kolho, I. 2024. Acute effects of static stretching on lower limb strength and jump performance in elite gymnasts. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in Exercise Physiology, 40 p.

The purpose of this study was to investigate the acute effects of static stretching on lower limb strength and jump performance in isometric ankle dorsiflexion and countermovement jump in elite gymnasts. Additionally, the study aimed to examine the significance of calf muscle architecture (gastrocnemius medialis and lateralis) on ankle isometric strength and jump performance. The study included a total of 14 healthy elite rhythmic gymnasts, all of whom were female. The participants were aged between 17 and 20 years. The study design was cross-sectional, meaning all participants underwent measurements on a single day. The study took place at the exercise laboratory facilities in Jyväskylä.

Participants first performed three maximal countermovement jumps with 30-second rest intervals. Following this, they underwent a 90-second assisted stretch for the hip flexors and quadriceps. Immediately after stretching, participants performed another maximal countermovement jump. The effect of the rest period after stretching on jump performance was examined by performing the countermovement jump again at 2, 4, 6, and 8 minutes post-stretching. A similar protocol was conducted for isometric ankle dorsiflexion following calf stretching.

Ultrasound imaging was used to measure muscle architecture. The ultrasound examination focused on the calf muscles of one leg (gastrocnemius medialis and lateralis). Ultrasound images were taken using the Telemed ArtUs device. Muscle thickness, fascicle length, and pennation angles were determined from the images.

Based on this study, it appears that static stretching has acute effects on ankle extensor muscle maximal strength and countermovement jump height and power. Maximal strength decreased by an average of 5.8% immediately after stretching ( $p = 0.014$ ), but returned to pre-stretching levels quickly, with no statistically significant differences observed at 2, 4, 6, or 8 minutes post-stretching. Static stretching also immediately reduced countermovement jump height (11%;  $p = 0.005$ ) and power (7.4%;  $p = 0.002$ ). At eight minutes post-stretching, there was no longer a statistically significant difference in jump height compared to pre-stretching. However, power changes remained significant regardless of the rest period. A positive correlation was found between gastrocnemius medialis muscle thickness and ankle extensor muscle maximal strength ( $r = 0.595$ ;  $p = 0.032$ ), while a negative correlation was observed between muscle thickness and countermovement jump height change ( $r = -0.691$ ;  $p = 0.0089$ ). Negative correlations were also found between gastrocnemius medialis pennation angle and changes in jump height and power ( $r = -0.678$ ;  $p = 0.0077$  and  $r = -0.634$ ;  $p = 0.015$ ). However, based on the results, no definitive conclusions can be drawn regarding the significance of muscle architecture on the acute effects of static stretching. Nevertheless, it seems that prolonged static stretching cannot be recommended before maximal strength or power-demanding performances.

Keywords: static stretching, gymnastics, countermovement jump, isometric strength production

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 STAATTISEN VENYTTELYN AKUUTIT VAIKUTUKSET .....	2
2.1 Akuutit vaikutukset voimantuottoon .....	2
2.2 Akuutit vaikutukset hyppyominaisuuksiin .....	4
2.3 Staattisen venyttelyn vaikutukset loukkaantumisriskiin.....	7
3 STAATTISEN VENYTTELYN VAIKUTUSMEKANISMIT .....	9
3.1 Venyttelyn fysiologia .....	9
3.2 Perifeeriset tekijät.....	10
3.3 Hermostolliset tekijät.....	12
4 STAATTISEN VENYTTELYN KROONISET VAIKUTUKSET .....	14
4.1 Krooniset vaikutukset lihaksen arkkitehtuuriin.....	14
4.2 Krooniset vaikutukset suorituskykyyn .....	16
5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT .....	21
6 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT .....	23
6.1 Tutkittavat.....	23
6.2 Tutkimusasetelma.....	24
6.3 Tilastolliset analyysit.....	27
7 TULOKSET.....	28
8 POHDINTA.....	35
8.1 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet.....	39
8.2 Yhteenveto.....	41
LÄHTEET .....	42

# 1 JOHDANTO

Suoritusta edeltävä alkulämmittely on tärkeä tekijä suorituskyvyn optimoinnissa. Erityisesti voimistelulajeissa venyttely on perinteisesti ollut osa lämmittelyä harjoituksissa ja kilpailuissa. Venyttelyn onkin jo pitkään ajateltu kasvattavan liikelaajuutta (Bandy ym. 1997), ehkäisevän vammoja (Safran ym. 1989) ja parantavan suorituskykyä (Worrell ym. 1994). Venyttelyn vaikutuksia suorituskykyyn ja vammojen ehkäisyyn ei kuitenkaan tunneta kovin hyvin. Staattisen venyttelyn positiivisia vaikutuksia onkin kyseenalaistettu niin vammojen ehkäisyyn (Shrier 1999) kuin suorituskyvyn paranemisenkin kannalta (Power ym. 2004; Fowles ym. 2000).

Venyttely voidaan jakaa kolmeen eri muotoon: staattiseen, dynaamiseen ja proprioseptiiviseen neuromuskulaariseen fasilitaatioon (PNF). Staattinen venyttely sisältää kontrolloitua, jatkuvaa venytystä lähellä liikelaajuuden ääriasentoa. Staattinen venytys voidaan toteuttaa joko aktiivisesti supistamalla agonistilihasta tai passiivisesti hyödyntämällä ulkoisia voimia, kuten painovoimaa tai toisen henkilön painoa. Sen sijaan dynaaminen venyttely sisältää yksinkertaistettuna jatkuvaa liikettä koko liikelaajuudella. PNF-venyttelyssä venytettävää lihasta jännitetään ja rentoutetaan vuorotellen. (Behm ym. 2016) Tässä tutkimuksessa tarkastellaan erityisesti passiivista staattista venyttelyä.

Staattisen venyttelyn vaikutuksista voiman- ja tehontuottoon on saatu ristiriitaisia tuloksia. Erityisesti aiemmin venyttelyn ajateltiin lisäävän liikelaajuutta vähentäen näin liikkeen vastusta ja lisäten taloudellisuutta. Useat tutkimukset ovat kuitenkin osoittaneet suoritusta edeltävän staattisen venyttelyn heikentävän voiman- ja tehontuottoa akuutisti (McHugh & Cosgrave 2010; McHugh & Nesse 2008; Simic ym. 2013; Peck ym. 2014). Tämän on epäilty johtuvan muun muassa lihasten ja jänteiden jäykkyyden vähenemisestä staattisen venyttelyn seurauksena (McHugh & Cosgrave 2010).

Ristiriitainen ja jatkuvasti vaihtuva käsitys staattisen venyttelyn vaikutuksista voi helposti aiheuttaa hämmennystä valmentajien ja urheilijoiden keskuudessa erityisesti lajeissa, joissa liikkuvuus on merkittävässä roolissa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on selvittää passiivisen staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia sekä venytyksen jälkeisen palautusajan merkitystä nilkan isometriseen voimantuottoon ja kevennyshyppyyn huipputasoin voimistelijoilla. Lisäksi tutkimuksessa tarkastellaan pohjelihaksen arkkitehtuurin merkitystä edellä mainittuihin ominaisuuksiin.

## **2 STAATTISEN VENYTTELYN AKUUTIT VAIKUTUKSET**

Venyttelyn sisällyttämistä alkulämmittelyyn on perusteltu parantuneena liikelaajuutena (Behm ym. 2016) ja proprioseptina eli asentoaistina (Walsh 2017), psykologisena valmiutena (Blazevich ym. 2018) sekä loukkaantumisriskin vähenemisenä (Behm ym. 2021). Venyttelyn krooniset ja akuutit vaikutukset ovat erilaisia. Pitkällä aikavälillä säännöllisen staattisen venyttelyn on havaittu muun muassa parantavan liikkuvuutta (Kokkonen ym. 2007), mutta akuutisti staattinen venyttely voi heikentää suorituskykyä erityisesti hypyissä, pikajuoksussa ja maksimivoimassa (Bacurau ym. 2009).

### **2.1 Akuutit vaikutukset voimantuottoon**

Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana useat tutkimukset ovat osoittaneet, että erityisesti pitkäkestoinen staattinen venyttely (kokonaiskesto yli 60 sekuntia) vähentää akuutisti lihasten kykyä tuottaa voimaa. Staattisen venyttelyn aiheuttama suorituskyvyn heikentyminen voi jatkua useita minuutteja tai jopa tunteja venytyksen jälkeen. (Avela ym. 1999; Behm ym. 2016; Simic ym. 2013) Suorituskyvyn heikentymisen on katsottu johtuvan hermolihasjärjestelmän inhibitiosta sekä lihasten ja jänteiden jäykkyyden vähentymisestä (Avela ym. 1999; Fowles ym. 2000; Kay ym. 2015). Näiden havaintojen takia useat valmentajat ovatkin luopuneet staattisesta venyttelystä osana lämmittelyä ja korvanneet sen dynaamisella venyttelyllä, johon ei kuulu pitkäkestoisia staattisia venytyksiä (Hough ym. 2009).

Ennen maksimaalista voimantuottoa vaativia suorituksia tehtävää staattista venyttelyä on kritisoitu (McHugh & Cosgrave 2010; Pope ym. 2000; Simic ym. 2013). Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa venyttelyn on havaittu akuutisti heikentävän voimantuottoa erityisesti heti venytyksen jälkeen. Esimerkiksi Fowles ym. (2000) tutkivat staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia nilkan koukistajalihasten maksimivoimaan aktiivisilla nuorilla miehillä ja naisilla. Tutkimuksessa tehtiin 13 kestoaltaan 135 sekunnin pituista venytystä nilkan koukistajalihaksille (venytysten kokonaiskesto 30 minuuttia). Nilkan koukistajien maksimaalinen isometrinen voimantuotto laski välittömästi venytyksen jälkeen jopa 28 %. Vielä 60 minuutin jälkeenkin voimantuotto oli 9 % alhaisemmalla tasolla kuin ennen venyttelyä. (Fowles ym. 2000)

Venyttelystä aiheutuva voimantuoton heikentyminen riippuu venytystekniikasta, lihastyötavasta ja lihaspituudesta, jolla voimaa mitataan. Venytystekniikan osalta on osoitettu, että dynaaminen venyttely ei juurikaan heikennä voimantuottoa tai saattaa jopa parantaa sitä (Hough ym. 2009; Behm ym. 2016). Dynaamisen venyttelyn sisällyttämistä alkulämmittelyyn on perusteltu muun muassa sillä, että se nostaa kehon lämpötilaa, lisää lihaksen joustavuutta ja aktivoi hermostoa. Voi kuitenkin olla, että dynaamisesta venyttelystä saatavat hyödyt voimantuoton osalta näkyvät vain liikkeissä, jotka muistuttavat suoritettua dynaamista venytystä. (Behm ym. 2016)

Lihastyötavan osalta tulokset ovat olleet hieman ristiriitaisia. Cramer ym. (2006) eivät havainneet voimanlaskua eksentristä lihastyötapaa mitattaessa, kun taas Sekir ym. (2010) havaitsivat voimanlaskua sekä eksentrisessä että konsentrisessä polvenojennuksessa. Näyttäisi kuitenkin siltä, että voimantuoton lasku on suurempaa isometrisissä suorituksissa verrattuna dynaamisiin suorituksiin. Tämän on ajateltu johtuvan siitä, että joustavampi lihas-jänneyksikkö heikentäisi voimansiirtoa, ja tämä vaikutus olisi huomattavasti suurempi isometrisen lihassupistuksen aikana verrattuna dynaamiseen lihassupistukseen. (Simic ym. 2013) Näyttäisi myös siltä, että venytyksen aiheuttamaa voimanlaskua ei esiinny pidemmällä lihaspituuksilla tehdessä (Herda ym. 2008; McHugh & Nesse 2008). Kuten todettu, venyttely tekee lihas-jänneyksiköstä joustavamman, mikä mahdollistaa teoriassa voimakkaamman lihassupistuksen pitkällä lihaspituuksilla. Tämä edesauttaa poikkisiltojen muodostumista ja muuttaa nivelkulmaa, jolla pystytään tuottamaan eniten voimaa. Myös vääntömomentti kasvaa pidemmällä lihaspituuksilla ja päinvastoin pienenee lyhyemmällä lihaspituuksilla. (McHugh & Cosgrave 2010)

Venytyksen kestolla on havaittu usean tutkimuksen perusteella olevan merkitystä. Muutama vuosi sitten tehdyssä tutkimuksessa Palmer ym. (2019) tarkastelivat eri kestoisten staattisten venytysten akuutteja vaikutuksia takareiden maksimaaliseen voimantuottoon. Tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitsevää laskua voimantuotossa venytyksen keston ollessa 120 sekuntia. Voimantuoton laskua ei kuitenkaan havaittu kontrolliryhmässä tai venytyksen keston ollessa 30 tai 60 sekuntia. Kahden kattavan systemaattisen kirjallisuuskatsauksen havainnot ovatkin osoittaneet, että lyhytkestoisilla ( $\leq 60$  sekuntia) staattisilla venytyksillä ei olisi merkittäviä akuutteja vaikutuksia voimantuottoon (Behm ym. 2016; Kay & Blazeovich 2012).

Sen sijaan pidempikestoisilla ( $> 60$  sekuntia) staattisilla venytyksillä on havaittu negatiivisia akuutteja vaikutuksia. Kayn ja Blazeovichin (2012) kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että yli

60 sekunnin staattiset venytykset aiheuttivat keskimäärin noin 7,5 % laskun voimantuotossa. Niin ikään Behmin ym. (2016) tekemässä kirjallisuuskatsauksessa vähintään 60 sekunnin staattisten venytysten havaittiin heikentävän voimantuottoa keskimäärin 4,6 % fyysisesti aktiivisilla tutkittavilla. Myös Simicin ym. (2013) tekemä kirjallisuuskatsaus tukee näitä havaintoja venytyksen keston osalta. Heidän tekemässään 104 tutkimusta sisältävässä kirjallisuuskatsauksessa havaittiin, että ennen suoritusta tehtävä staattinen venyttely laski maksimivoimaa keskimäärin 5,4 % ja tehoa 1,9 %. Kirjallisuuskatsauksen perusteella harjoitustausta, ikä tai sukupuoli eivät vaikuttaneet suorituskyvyn laskuun, mutta alle 45 sekunnin kestoiset venytykset aiheuttivat vähiten negatiivisia vaikutuksia voiman- ja tehontuottoon. Katsauksessa kuitenkin kehoitettiin välttämään staattisia venytyksiä alkulämmittelyssä.

Useimmissa tutkimuksissa staattista venyttelyä ei ole tutkittu osana lämmittelyä, vaan erillisenä tekijänä. Käytännön harjoittelussa venyttely kuitenkin toteutetaan lähes aina muun lämmittelyn ohessa. Viime vuosina tehdyissä tutkimuksissa onkin osoitettu, että lyhytkestoiset staattiset venytykset eivät välttämättä heikennä suorituskykyä, jos venytykset on sisällytetty osaksi muuta kokonaisvaltaista lämmittelyä (Blazevich ym. 2018; Reid ym. 2018). Blazevich ym. (2018) eivät havainneet tutkimuksessaan, että lämmittelyyn sisällytetyillä alle 30 sekunnin staattisilla venytyksillä olisi negatiivisia vaikutuksia voimantuottoon nuorilla miesurheilijoilla. Tutkittavien sijaan kokivat lyhyiden venytysten lisäävän heidän valmiuttaan lajisuoritukseen. Tutkimuksen perusteella lyhytkestoisia venytyksiä voitaisiin suositella sisällyttämään alkulämmittelyyn erityisesti lajeissa, joissa vaaditaan liikkuvuutta.

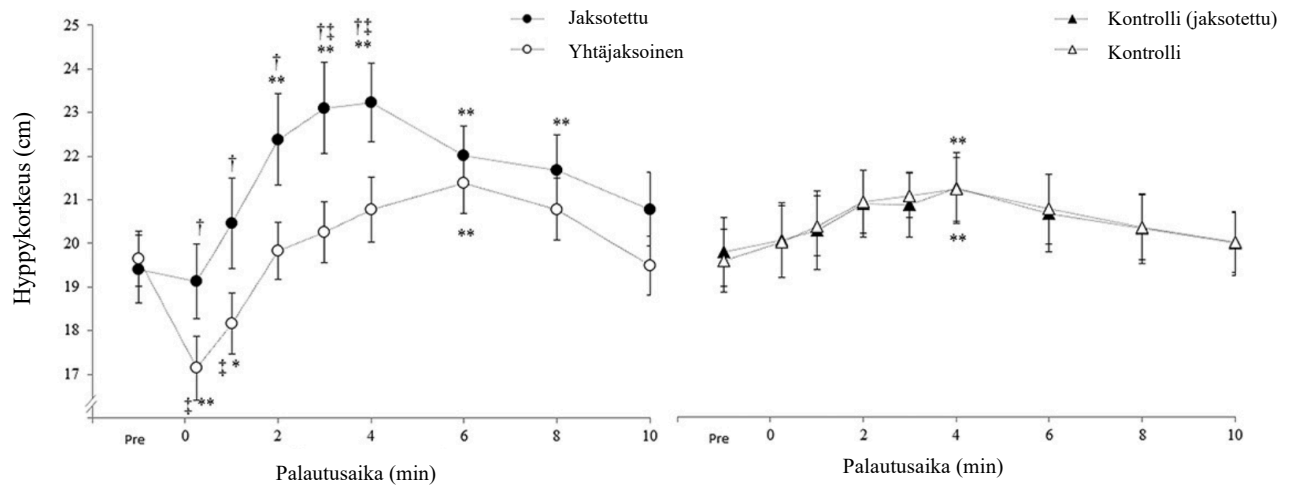
## **2.2 Akuutit vaikutukset hyppyominaisuuksiin**

Staattisella venyttelyllä on havaittu olevan sekä parantavia että heikentäviä vaikutuksia kevennyshyppyyn riippuen venytettävästä lihaksesta, venytyksen kestosta, venytyksen ja kevennyshypyn välisestä palautusajasta sekä harjoitustaustasta. Perrier ym. (2011) tarkastelivat staattisen ja dynaamisen venyttelyn vaikutuksia kevennyshypyn korkeuteen. Tutkimuksessa suoritettiin kolme eri mittauskertaa, joissa yhdessä ei venytelty, yhdessä tehtiin staattiset venyttelyt ja yhdessä dynaamiset venyttelyt. Verrattuna hyppyihin, joita ei edeltänyt venytyksiä, kevennyshypyn korkeus parani (3,9 %) dynaamisen venyttelyn jälkeen, mutta staattisella venyttelyllä ei ollut vaikutusta hyppykorkeuteen. Myös Behm ym. (2016) raportoivat kirjallisuuskatsauksessaan, että hyppyominaisuudet paranivat keskimäärin 2,1 % dynaamisen venyttelyn jälkeen.



Kuten voimantuotonkin osalta, venytyksen kestolla näyttäisi olevan merkitystä myös hyppyominaisuuksiin. Pinto ym. (2014) tarkastelivat 30 ja 60 sekunnin staattisten venytysten vaikutusta kevennyshyppyyn. Verrattuna ilman venytyksiä suoritettuihin kevennyshyppyihin, 60 sekunnin venytykset heikensivät hyppykorkeutta 3,4 %, mutta 30 sekunnin venytyksillä ei havaittu olevan vaikutusta. Muutokset kevennyshypyn korkeudessa 60 sekunnin venytysten jälkeen olivat kuitenkin suhteessa hyvin pieniä, kun tarkasteltiin saman yksilön eri hyppujen välistä vaihtelua hyppykorkeuksissa (efektikoko=0,29). Venytyksiä ei myöskään ollut sisällytetty muuhun lämmittelyyn, vaan ne tehtiin erillisinä.

Staattisen venyttelyn akuutit vaikutukset suorituskykyyn saattavat riippua venytyksen kokonaiskeston lisäksi myös siitä, suoritetaanko venytys yhtäjaksoisesti vai osissa. Bogdanis ym. (2019) tarkastelivat tutkimuksessaan staattisen venyttelyn vaikutuksia yhden jalan kevennyshypyn korkeuteen. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko venyttelyn vaikutuksilla eroa riippuen siitä, suoritetaanko venytys yhtäjaksoisesti vai jaksotettuna venytyksen kokonaiskeston pysyessä samana. Tutkimuksessa 16 huipputason miesvoimistelijaa suoritti joko 90 sekunnin jatkuvan venytyksen tai 3 x 30 sekunnin venytyksen etureiden lihaksille (kuva 1). Yhtäjaksoinen venyttely heikensi kevennyshypyn korkeutta tilastollisesti merkitsevästi verrattuna kontrollijalkaan ja jaksotettuun venyttelyyn. Kevennyshypyn korkeus kuitenkin palautui lähtötasolle muutama minuutti yhtäjaksoisen venytyksen jälkeen. Sen sijaan jaksotettu venyttely paransi hyppykorkeutta, ja suurin parannus havaittiin neljä minuuttia venyttelyn jälkeen. (Bogdanis ym. 2019)



KUVA 1. Yhden jalan kevennyshypyn korkeus jaksotetun ja yhtäjaksoisen venyttelyn jälkeen. Vasemmalla venytetty jalka ja oikealla kontrollijalka. \*\*:  $p < 0.001$  ja \*:  $p < 0.05$  premittaukseen verrattuna. †:  $p < 0.001$  yhtäjaksoiseen verrattuna ja ‡:  $p < 0.001$  kontrollijalkaan verrattuna (mukaeltu Bogdanis ym. 2019).

Suorituskyvyn laskua näyttäisi tapahtuvan venytyksen intensiteetistä riippumatta. Behm ja Kibele (2007) havaitsivat tutkimuksessaan, että kevennyshypyn korkeus laski tilastollisesti merkitsevästi keskimäärin 5,6 % fyysisesti aktiivisilla miehillä ja naisilla alaraajojen staattisten venytysten vaikutuksesta huolimatta siitä, oliko venytyksen intensiteetti 50, 75 vai 100 %. Kyseisessä tutkimuksessa tehtiin 4 x 30 sekunnin venytyksiä etureiden, takareiden ja pohkeen lihaksille. Toisin kuin Behmin ja Kibelen (2007) tutkimuksessa, venyttelyn ei kuitenkaan intensiteetistä riippumatta havaittu heikentävän suorituskykyä 30 metrin sprintissä, ketterydessä tai kevennyshypyssä. Myöskään Chaouachi ym. (2010) eivät havainneet staattisen venytyksen intensiteetin vaikuttavan suorituskykyyn harjoitelleilla tutkittavilla.

Monien urheilulajien kannalta venyttelyn akuutit vaikutukset tehontuottoon ovat käytännössä tärkeämpiä kuin venyttelyn vaikutukset lihasvoimaan. Venyttelyn heikentävien vaikutusten onkin havaittu olevan vähäisempiä tehontuottoon kuin lihasvoimaan. McHughin ja Cosgraven (2010) tekemän katsauksen mukaan esimerkiksi vertikaalihypyssä on havaittu keskimäärin 3–4 % heikentymistä, kun taas juoksusprintissä lasku on ollut vain 0–2 %. Sen sijaan voimassa on havaittu samaisen katsauksen mukaan keskimäärin jopa 22 % laskua venytysten kokonaiskeston ollessa 30–60 minuuttia ja keskimäärin 8 % laskua venytysten keston ollessa lyhyempiä.

Kuten aiemmin todettu, osana lämmittelyä suoritettavat lyhyet staattiset venyttelyt eivät välttämättä heikennä suorituskykyä. Staattisen venyttelyn on havaittu jopa parantavan hyppyominaisuuksia, kun venyttely on ollut osa laajempaa alkulämmittelyä. Reid ym. (2018) tarkastelivat tutkimuksessaan erikestoisten staattisen venytysten vaikutusta hyppykorkeuteen ja liikelaajuuteen fyysisesti aktiivisilla miehillä. Tutkimuksessa tehtiin joko 30, 60 tai 120 sekunnin venytyksiä taka- ja etureisille osana muuta lämmittelyä, joka sisälsi muun muassa aerobista lämmittelyä, dynaamisia venytyksiä ja lajikohtaisia harjoitteita. Liikelaajuus lisääntyi huolimatta venytyksen kestosta. Enintään 60 sekunnin venytyksillä ei joko ollut vaikutusta tai hyppykorkeus parani hieman, ja 120 sekunnin venytykset eivät vaikuttaneet merkittävästi hyppykorkeuteen. (Reid ym. 2018) Mikäli myös lyhyempikestoiset venytykset lisäävät liikelaajuutta pidempikestoisten venytysten lailla, voitaisiin myös liikkuvuutta vaativissa lajeissa pidempikestoiset staattiset venytykset hyvin korvata lyhyemmällä alkulämmittelyyn sisällytetyillä venytyksillä.

### **2.3 Staattisen venyttelyn vaikutukset loukkaantumisriskiin**

Ennen suoritusta tehtävää venyttelyä on perusteltu myös loukkaantumisriskin vähenemisellä. Aiheen tutkimuksen tärkeyttä on perusteltu sillä, että venyttelyä harjoitetaan monissa lajeissa tyypillisesti ennen suoritusta. Aihetta on kuitenkin tutkittu melko vähän siitä näkökulmasta, miksi erityisesti staattinen venyttely voisi teoreettisesti vaikuttaa loukkaantumisriskiin. Aiemmin on esimerkiksi ajateltu, että ennen suoritusta tapahtuva venyttely vähentäisi (Safran ym. 1989) tai ennaltaehkäisisi (Smith 1994) lihasrevähdyksiä. Tätä on perusteltu muun muassa sillä, että venyttely tekee lihas-jänneyksiköstä joustavamman (McHugh & Nesse 2008), mikä mahdollistaa suuremman voimantuoton pidemmällä lihaspituuksilla (Herda ym. 2008; McHugh & Nesse 2008). Tämä voisi vähentää alttiutta lihasrevähdyksille, mutta toisaalta voitaisiin myös ajatella, että voimakkaampi lihassupistus pidemmällä lihaspituuksilla voisi mahdollisesti lisätä vamman todennäköisyyttä.

Venyttelyn vaikutusta loukkaantumisriskiin on tutkittu aiemmin jonkun verran, mutta tulokset eivät ole aina olleet kovinkaan luotettavia. Esimerkiksi van Mechelen ym. (1993) tarkastelivat alkulämmittelyn sisällytetyn venyttelyn vaikutusta loukkaantumisriskiin urheilijoilla. Venyttelyryhmästä kuitenkin ainoastaan 47 % noudatti venyttelyinterventiota ja kontrolliryhmään kuuluvista sen sijaan 5 % venytteli, vaikka heidän ei kuulunut venytellä. Nämä tulokset korostavat sitä, miten haastavaa kontrolloidun intervention toteuttaminen voi olla erityisesti urheilijoilla,

joitka ovat tottuneet suorittamaan tietynlaisen lämmittelyn. Pope ym. (2000) sen sijaan tarkastelivat aihetta kontrolloidummissa ympäristöissä. Tutkimukseen osallistui 1538 sotilasta, joista noin puolet kuuluivat venyttelyryhmään ja puolet kontrolliryhmään. Tutkimuksessa havaittiin 12 viikon aikana 35 lihasrevähdystä, joista 21 tapahtui kontrolliryhmässä ja 14 venyttelyryhmässä. Suurin osa interventiojakson aikana tapahtuneista lihasrevähdyksistä kohdistui kuitenkin alaselkään, johon ei kohdistunut venytyksiä. Voikin olla vain sattumaa, että venyttelyryhmässä loukkaantumisia havaittiin vähemmän kuin kontrolliryhmässä.

Venyttelyn ja loukkaantumisriskin yhteyttä tarkastelevissa tutkimuksissa on haastavaa eritellä venyttelyn merkitystä loukkaantumisten ehkäisyssä, sillä loukkaantumisriskiin tiedetään vaikuttavan muun muassa ikä, ympäristötekijät ja aiemmat vammat (Arnason ym. 2008; Verrall ym. 2001). Urheilulajeissa, joissa vaaditaan äärimmäisiä liikelaajuuksia, venyttelyn merkitys loukkaantumisten ehkäisemisessä saattaa myös poiketa lajeista, joissa liikkuvuutta ei vaadita. Tästä syystä aihetta tulisikin tutkia lisää erityisesti lajeissa, joissa liikkuvuus on merkittävässä roolissa.

### 3 STAATTISEN VENYTTELYN VAIKUTUSMEKANISMIT

Staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia on tutkittu melko laajasti. Lihäsjäykkyyteen vaikuttavat venytysvastuksen syntyyn liittyvät venytysrefleksit eli heijasteet, joista osaan voidaan vaikuttaa venyttelyn avulla. Venytysvastus on tunnettavissa liikuttaessa täysin rentoutunutta ja kuormittamatonta raajaa ääriasentoihin. Venytysvastusta voidaan mitata nivelen vääntömomentin ja nivelen kulmamuutoksen suhteena ( $\text{Nm}/^\circ$ ) lihasten ollessa rentona. Staattisen venyttelyn aiheuttamat suorituskykyyn vaikuttavat mekanismit voidaan luokitella perifeerisiin ja hermostollisiin tekijöihin. Perifeerisillä tekijöillä tarkoitetaan muutoksia liikelaajuudessa ja lihaksen jännittyneisyyden rentoutumista. Hermostollisilla tekijöillä sen sijaan viitataan motoneuronien herkkyyden alentumiseen ja lihaksen supistumisnopeuden heikentymiseen. (McHugh & Cosgrave 2010)

#### 3.1 Venyttelyn fysiologia

Lihäsjäykkyys kuvaa sitä, kuinka suurella voimalla venytettävä kudoks vastustaa pituuden muutosta. Tätä voidaan mitata venytysvastuksena eli ääriasennossa tuotetun passiivisen voiman määränä. Venyttely voi akuutisti vähentää venytysvastusta rentouttamalla lihasta, mutta tämä on vain ohimenevä ilmiö. Sen sijaan viikkoja tai kuukausia kestäväällä venyttelyharjoittelulla voidaan saada aikaan kroonisia adaptaatioita eri kudoksissa ja lisätä näin liikelaajuutta. (McHugh & Nesse 2008) Venyttelyn vaikutusmekanismeja tarkasteltaessa tuleekin muistaa, että adaptaatioita voi tapahtua sekä kroonisesti pitkäaikaisen harjoittelun seurauksena että akuutisti yksittäisten venytysten vaikutuksesta.

Luurankolihasen pienin toiminnallinen yksikkö on sarkomeeri. Lihaksen supistuessa sarkomeerin toiminnalliset proteiininrakenteet, aktiini ja myosiini, liukuvat toistensa lomitse muodostaen poikkisiltoja, jolloin sarkomeeri lyhenee. Venytettäessä lihasta aktiinin ja myosiinin lomittaisuus sen sijaan vähenee, jolloin sarkomeeri pitenee. Aktiinin ja myosiinin lisäksi sarkomeerissa on myös kolmas toiminnallinen proteiinin rakenne, titiini. Titiini on jousen kaltainen rakenne, joka osallistuu elastisen energian varastointiin ja vapautukseen. Aktiivisessa lihaksessa venymistä heikentää aktiinin ja myosiinin välisten poikkisiltojen muodostaminen ja titiinin jäykistyminen. (Herzog ym. 2016) Mikäli lihasta venytetään ääriasentoon asti ja kaikki sarkomeerit ovat täydessä pituudessaan, aiheuttaa venytys voimaa myös ympäröivään sidekudokseen,

kuten lihasta ympäröiviin kalvorakenteisiin ja niihin liittyviin jänteisiin. Jänteet yhdistävät joustavan lihasrakenteen kovaan rakenteeseen eli luuhun. Luuhun kiinnittyvästä päästä jänne on lähes yhtä jäykkää kuin luu, mutta lihas-jänneliitoksen pää on sen sijaan lähes yhtä joustavaa kuin lihas. (Ishikawa ym. 2003) Todennäköisesti jänne venyykin enemmän kuin aktiinin ja myosiinin lomittaisuuden vähenemisen seurauksena tapahtuva lihasrungon venyminen (Herbert ym. 2002). Näiden lisäksi myös faskia, eli lihassolukkoa ympäröivä ja lihassyitä sekä lihaksia yhdistävä tukikudosverkko, voi vaikuttaa jäykkyyteen riippuen muun muassa liikkeestä, lämmöstä ja nestetilasta (Wilke ym. 2018).

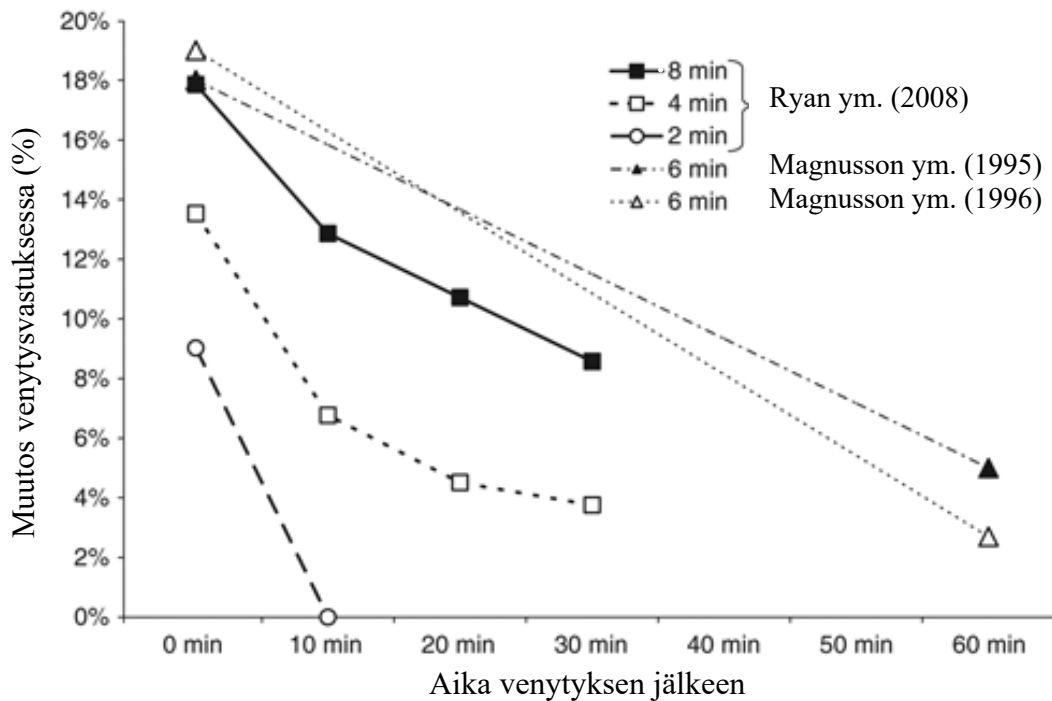
### 3.2 Perifeeriset tekijät

Staattisen venyttelyn vaikutuksista perifeerisiin tekijöihin on olemassa vakuuttavia todisteita. Tärkeimpiä fysiologisia tekijöitä, joiden on ajateltu selittävän lihasen toiminnan muutosta akuutisti staattisen venyttelyn jälkeen, ovat muutokset lihas-jänneyksikön viskoelastisissa ominaisuuksissa. Nämä muutokset johtavat lihas-jänneyksikön lisääntyneeseen joustavuuteen ja lihasjäykkyyden vähenemiseen. Lisääntynyt lihas-jänneyksikön joustavuus saattaa heikentää venymis-lyhenemissyklin venytysvaiheen aikana syntyvää elastisen energian hyödyntämistä ja vaikuttaa lihaksen voima-pituussuhteeseen. (Kallerud & Gleeson 2013; Rubini ym. 2007)

Matsuo ym. (2013) tutkivat pitkäkestoisten (180 ja 300 sekuntia) staattisten venytysten vaikutusta takareisien supistumiskykyyn terveillä nuorilla aikuisilla. Tutkimuksessa venytysvastus laski sekä 180 sekunnin että 300 sekunnin venytysten jälkeen. Samaisessa tutkimuksessa havaittiin, että voimantuotto laski myös venytyksen keston ollessa 20–180 sekuntia, mutta venytysvastuksen vähenemiseen ja näin ollen liikkuvuuden parantamiseen vaadittiin pidempikestoisia venytyksiä. (Matsuo ym. 2013) Esimerkiksi voimistelussa ennen suoritusta tehtävän venyttelyn pääasiallinen tarkoitus on lisätä liikelaaajuutta ja vähentää venytyksen vastusta, jotta liikkuvuutta vaativat liikkeet saadaan suoritettua tarpeeksi laajalla liikeradalla. Kuten muussakin harjoittelussa, myös liikkuvuusharjoittelussa venytyksen kestolla ja intensiteetillä on merkitystä sen aiheuttamiin vasteisiin. McHughin ja Nessen (2008) tutkimuksessa venytysvastus laski 8,3 %, kun reisilihaksia venytettiin staattisesti 5 x 90 sekuntia. Samaisessa tutkimuksessa havaittiin, että venytysvastus laski lähes saman verran (9 %), kun venytyksen kesto lyhennettiin 60 sekuntiin, mutta venytyksen intensiteetti kasvoi huomattavasti. Yksittäisen venytyksen aiheuttama venytysvastuksen väheneminen on kuitenkin vain akuutti ja ohimenevä ilmiö. Onkin havaittu,

että lihas-jänneksikön jäykkyys palautuu ennalleen noin 5–60 minuuttia venytyksen jälkeen (Konrad ym. 2019; Nojiri ym. 2021; Ryan ym. 2008;).

Venytyksen keston on oltava tarpeeksi pitkä, jotta muutoksia venytysvastuksessa voidaan havaita. Magnusson ym. (2000) havaitsivat, että 2 x 45 sekunnin staattisella takareiden venytyksellä ei ollut merkittäviä vaikutuksia venytysvastukseen. Myös Muir ym. (1999) saivat samankaltaisia tuloksia, kun 4 x 30 sekunnin nilkan koukistajalihasten venytys ei aiheuttanut muutoksia. Sen sijaan Ryan ym. (2008) raportoivat 12 % vähenemistä venytysvastuksessa, kun nilkan koukistajalihaksia venytettiin 4 x 30 sekuntia. Lihasjäykkyys kuitenkin palautui ennalleen alle 10 minuutissa. Näyttäisikin siltä, että kokonaiskestoltaan alle neljän minuutin staattiset venytykset eivät vielä aiheuta ainakaan kovin pitkäkestoisia akuutteja perifeerisiä vaikutuksia. Kuva 2 havainnollistaa venytyksen keston vaikutusta venytysvastukseen ja sen palautumiseen.



KUVA 2. Venytyksen keston vaikutus venytysvastukseen ja sen palautumiseen. Ryan ym. (2008) tarkastelivat nilkan koukistajalihaksia ja Magnusson ym. (1995; 1996) polven ojentajalihaksia (mukaeltu McHugh & Cosgrave 2010).

### 3.3 Hermostolliset tekijät

Joissain tutkimuksissa venyttelyn on kuitenkin havaittu heikentävän voimantuottoa, vaikka venytysten kokonaiskesto olisikin ollut alle neljä minuuttia (Nelson ym. 2005; Sekir ym. 2010). Näissä tapauksissa venytykset ovat todennäköisesti olleet liian lyhyitä vähentämään lihasjäykkyyttä, mutta venytys on kuitenkin vaikuttanut suorituskykyyn hermostollisten tekijöiden kautta. Venyttelyn hermostollisia mekanismeja on tutkittu EMG:n avulla. Tutkimuksissa on havaittu esimerkiksi pinta-EMG-signaalin amplitudin alentumista maksimaalisten lihassupistusten aikana akuutisti venytyksen jälkeen, mikä osoittaa venytyksen jälkeisen voimantuoton heikentymisen olevan ainakin osittain hermostollista. Esimerkiksi Avelan ym. (1999) tutkimuksessa havaittiin ojentajalihasten aktivaation laskua yli 60 sekunnin staattisen venytyksen jälkeen. Myös Fowles ym. (2000) raportoivat tutkimuksessaan pohjelihasten motoristen yksiköiden aktivaation laskua seurauksena pitkäkestoisesta staattisesta venytyksestä. Venytyksen aiheuttamaa voimantuoton heikentymistä on havaittu myös vastakkaisessa ei-venytetyssä raajassa (Cramer ym. 2005), mikä viittaisi niin ikään hermostollisiin tekijöihin.

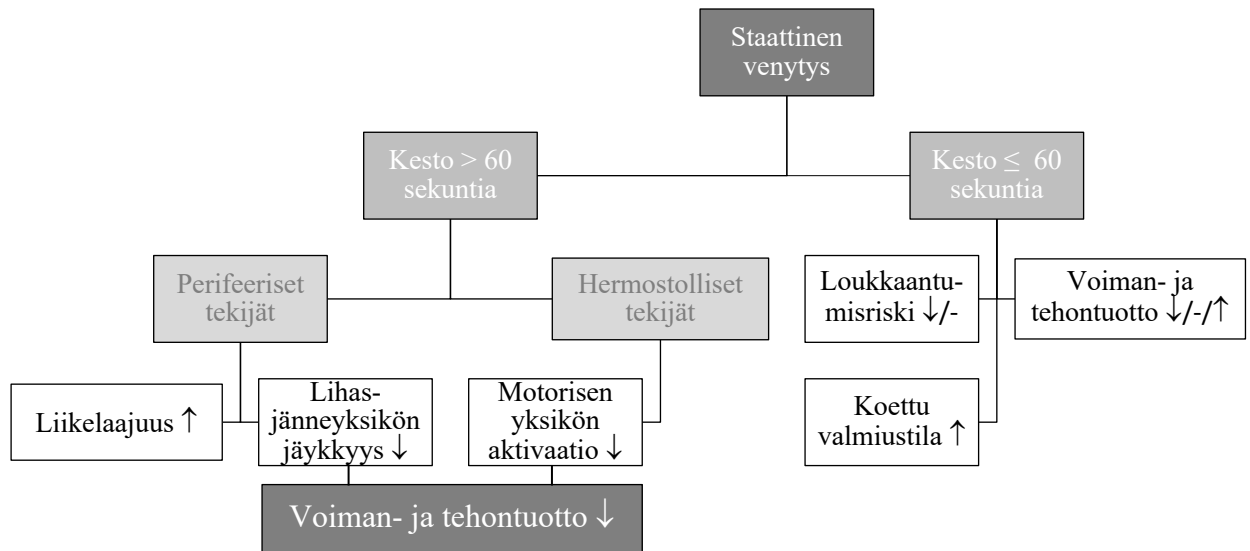
Joidenkin tutkimusten mukaan näyttäisi kuitenkin siltä, että lyhytkestoiset ( $\leq 60$  sekuntia) staattiset venytykset eivät aiheuttaisi muutoksia lihasaktivaatiossa. Kay ym. (2015) eivät havainneet merkittävää muutosta ojentajalihasten lihasaktivaatiossa 60 sekunnin venytyksen jälkeen EMG:n avulla mitattuna. Myöskään Palmer ym. (2019) eivät raportoineet merkittäviä muutoksia takareiden lihasaktivaatiossa 30–60 sekunnin venytysten jälkeen. Samaisessa tutkimuksessa kuitenkin raportoitiin tilastollisesti merkitsevää laskua lihaksen aktivaatiossa venytyksen keston ollessa yli 60 sekuntia.

Vaikka tähän asti tehdyissä tutkimuksissa venyttelyn onkin havaittu aiheuttavan akuuttia voiman- ja tehontuoton laskua johtuen osittain hermostollisista tekijöistä, on tärkeää muistaa, että ennen suoritusta tapahtuvassa lämmittelyssä tehdään usein venyttelyn lisäksi myös muita hermostollisiin tekijöihin vaikuttavia liikkeitä. Lisäksi kilpailutilanteisiin liittyy useimmiten psykologista stressiä, jota ei voida toistaa laboratorio-olosuhteissa. Tästä syystä kaikkia laboratoriomittauksissa havaittuja tuloksia ei voidakaan yleistää kenttäolosuhteisiin.

Kuvaan 3 on koottu yhteenveto staattisen venyttelyn akuuteista vaikutuksista ja mekanismeista. Tämänhetkisen tiedon mukaan kestoiltaan alle 60 sekunnin pituisten venytysten vaikutus voiman- ja tehontuottoon näyttäisi olevan todella vähäinen tai olematon (1–2 %). Lämmittelyyn



sisällytetyt lyhyet venytykset saattavat vähentää loukkaantumisriskiä ja nostaa koettua valmiustilaa. Sen sijaan kestoaltaan pidemmät (> 60 sekuntia) staattiset venytykset näyttäisivät heikentävän voiman- ja tehontuottoa merkittävästi perifeeristen ja hermostollisten tekijöiden kautta. Toisaalta ne myös lisäävät liikelaajuutta ja saattavat parantaa voimantuottoa suuremmilla nivelkulmilla ja pidemmällä lihaspituuksilla.



KUVA 3. Yhteenveto staattisen venytyksen akuuteista vaikutuksista.

## 4 STAATTISEN VENYTTELYN KROONISET VAIKUTUKSET

Lihaksen arkkitehtuurilla on suuri merkitys voimantuottoon ja harjoittelun on havaittu vaikuttavan siihen. Mekaaninen kuormitus voi saada aikaan molekulaarisia ja rakenteellisia muutoksia lihaksissa, jotka voivat vaikuttaa lihaksen toiminnallisiin ominaisuuksiin (Franchi ym. 2014). Lihaksen paksuuden tiedetään kasvavan voimaharjoittelun seurauksena ja sen on todettu olevan vahvasti yhteydessä yksilön kykyyn tuottaa voimaa (Kawakami ym. 1993; Seynnes ym. 2007). Myös pennaatiokulman on havaittu kasvavan voimaharjoittelun seurauksena (Blazevich 2006; Seynnes ym. 2007). Staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia suorituskykyyn on tutkittu melko paljon ja kuten aiemmin todettu, staattisen venyttelyn tiedetään vaikuttavan akuuttisesti liikelaajuuteen, lihasjäykkyyteen ja lihasvoimaan. Viikkoja tai jopa vuosia kestävä säännöllisen venyttelyn vaikutuksista lihaksen arkkitehtuuriin ja suorituskykyyn tiedetään kuitenkin vähemmän.

### 4.1 Krooniset vaikutukset lihaksen arkkitehtuuriin

Luustolihasen arkkitehtuurin tarkastelu ja lihaskoon määrittäminen on tärkeää monissa yhteyksissä, kuten harjoittelun tai harjoittelemattomuuden seurannassa, ikääntymisessä ja sairauksissa. Ultraääntä on hyödynnetty jo yli 50 vuoden ajan luustolihasen kuvantamisessa ja sitä on käytetty laajasti tarkasteltaessa muun muassa ikääntymisen, harjoittelun ja eri sairauksien vaikutuksia luustolihasiin. Ultraäänikuvantaminen on kultaisiin standardimenetelmiin (magneetti- ja tietokonetomografiakuvantamiseen) verrattuna edullinen, nopea ja turvallinen menetelmä, jota voidaan hyödyntää niin lääketieteellisessä kuin tutkimuksellisessakin käytössä eri ikäisillä tutkittavilla. Vuosikymmenten tutkimus- ja kehittämistyön ansiosta ultraäänestä on tullut pätevä ja luotettava menetelmä ihmisen luustolihasen kuvantamisessa.

Tähän asti tehdyissä tutkimuksissa ultraääntä on hyödynnetty erityisesti rectus femoriksen (Bemben 2002; Cleary ym. 2022; Scott ym. 2012; Ritsche ym. 2022), vastus lateraliksen (Ahtiainen ym. 2010; Reeves ym. 2004; Ritsche ym. 2022; Scott ym. 2012; Stokes ym. 2021) ja gastrocnemiuksen (Scott ym. 2012; Ritsche ym. 2022) poikkipinta-alan ja lihaskoon muutosten kuvantamisessa. Tutkimukset osoittavat ultraäänien olevan luotettava ja toistettava menetelmä kuvantamaan yllä mainittuja lihaksia. Ultraääntä on käytetty myös pienempien lihasten, kuten jalkaterän lihasten (Swanson ym. 2022), kuvantamisessa vakuuttavin tuloksin. Useissa

tutkimuksissa on kuitenkin raportoitu, että ultraäänellä mitatut poikkipinta-alat ovat olleet keskimäärin hieman pienempiä kuin kultaisilla standardimenetelmillä mitattuina (Ahtiainen ym. 2010; Scott ym. 2012; Swanson ym. 2022).

Lihaksen paksuuden ja poikkipinta-alan tiedetään kasvavan voimaharjoittelun seurauksena ja sen on todettu olevan vahvasti yhteydessä yksilön kykyyn tuottaa voimaa (Kawakami ym. 1993; Seynnes ym. 2007). Myös pennaatiokulman on havaittu kasvavan harjoittelun seurauksena. (Blazevich 2006; Seynnes ym. 2007) Lihaksen pennaatiokulmalla tarkoitetaan kulmaa aponeuroosin ja lihasfasikkeleiden välillä ja sen uskotaan parantavan voimantuottokykyä erityisesti hitailla liikenopeuksilla kasvattamalla lihaksen fysiologista poikkipinta-alaa (Bamman ym. 2000; Blazevich 2006). Pennaatiokulman kasvun ansiosta lihaksen samalle anatomiselle poikkipinta-alalle mahtuu enemmän sarkomeereja rinnakkain, jolloin lihaksen fysiologinen poikkipinta-ala ja näin ollen myös voimantuottokyky kasvavat (Suchomel ym. 2018).

Lihafasikkelin pituus riippuu muun muassa pennaatiokulmasta ja fasikkelin paksuudesta. Fasikkelin pituuden on ajateltu olevan yksi tärkeimmistä lihaksen arkkitehtuuriin liittyvistä muuttujista, joka vaikuttaa lihaksen toimintaan. Fasikkelin pituus kasvaa pennaatiokulman pienenemässä tai fasikkelin paksuuden kasvaessa. Pidempi fasikkeli tarkoittaa joko pidempiä sarkomeereja tai enemmän sarkomeereja peräkkäin. (Earp ym. 2010) Suurempi lihasfasikkelin pituus mahdollistaa suuremman supistuvien proteiinien määrän lihaksessa, joka lisää voimantuottokykyä erityisesti suurilla liikenopeuksilla (Blazevich 2006). Toisaalta lihasfasikkelin pituuden kasvu voi kasvattaa myös koko lihaksen paksuutta (Haun ym. 2019).

Kroonisen venyttelyn vaikutuksia lihaksen arkkitehtuuriin on tutkittu jonkin verran eläimillä. Lihaksen tai fasikkelin immobilisoinnin venytettyyn asentoon useamman päivän ajaksi on havaittu lisäävän sarjassa olevien sarkomeerien määrää ja fasikkelin pituutta eläinsoluissa (Letterme ym. 1994; Tabary ym. 1972; Williams & Goldspink, 1978). Aiemmin tehtyjen eläinkokeiden perusteella on myös ajateltu, että staattinen venyttely saattaisi aktivoida lihashypertrofian kannalta tärkeitä mekanismeja, kuten AKT-/mTOR-signaalintireittejä tai proteiinisynteesiä (Riley & Van Dyke 2012; Tatsumi 2010). Ihmisillä kroonisen venyttelyn vaikutuksista lihaksen arkkitehtuuriin on saatu ristiriitaisia tuloksia. Joissain tutkimuksissa on havaittu merkittävää kasvua fasikkelin pituudessa 6–12 viikon venyttelyharjoittelun seurauksena (Andrade ym. 2020; Freitas & Mil-Homens 2015; Simpson ym. 2017), vaikkakin arkkitehtuuriin liittyvien muutosten on havaittu vaihtelevan lihaksesta riippuen (Simpson ym. 2017). Sen sijaan

osassa tutkimuksista ei ole havaittu muutoksia lihaksen arkkitehtuurissa venyttelyintervention seurauksena (Blazevich ym. 2014; Konrad & Tilp 2014). Tulosten epäjohtonmukaisuus saattaa kuitenkin johtua eri tutkimuksissa käytetyistä erilaisista venyttelyinterventioista.

Nakamuran ym. (2012) tutkimuksessa pohkeen lihaksia venytettiin 2 x 60 sekuntia päivittäin neljän viikon ajan eikä tämän havaittu vaikuttavan venytettävien lihasten fasikkeleiden pituuteen, pennaatiokulmaan tai lihaspaksuuteen. Myöskään Lima ym. (2015) eivät havainneet muutoksia lihaksen arkkitehtuurissa kahdeksan viikon venyttelyjakson jälkeen. Tämän kuitenkin epäiltiin johtuvan venyttelyn liian alhaisesta intensiteetistä ja kestosta. Nunes ym. (2020) toteisivatkin katsauksessaan, että matalaintensiteettinen passiivinen venyttely ei näyttäisi aiheuttavan merkittäviä muutoksia lihaksen koossa tai arkkitehtuurissa. Venyttely, johon kohdistuu ulkoista kuormaa tai aktiivisia lihassupistuksia, saattaisi kuitenkin aiheuttaa lihashypertrofiaa (Nunes ym. 2020). Sen sijaan kahdeksan viikon venyttelyjakson on havaittu kasvattavan biceps femoriksen fasikkelin pituutta tilastollisesti merkitsevästi (+13,7 %) (Freitas & Mil-Homens 2015). Kyseisessä tutkimuksessa oli kuitenkin ainoastaan kymmenen tutkittavaa, joista puolet kuuluivat kontrolliryhmään ja puolet venyttelyryhmään. Myös mahdolliset virheet ultraäänikuuntamisessa saattoivat vaikuttaa tuloksiin.

## **4.2 Krooniset vaikutukset suorituskykyyn**

Säännöllisellä staattisella venyttelyharjoittelulla saattaa olla vaikutuksia myös suorituskykyyn. Tähän mennessä tehdyissä tutkimuksissa staattisen venyttelyn kroonisten vaikutusten on havaittu vaikuttavan positiivisesti (Kokkonen ym. 2007; Nelson ym. 2012; Worrel ym. 1994), ei mitenkään (Bazett-Jones ym. 2008; Blazevich ym. 2014) tai negatiivisesti (Barbosa ym. 2020; Brusco ym. 2018) lihaksen voiman- ja tehontuottoon.

Staattisen venyttelyharjoittelun on havaittu parantavan voimantuottoa harjoittelemattomilla. Nelson ym. (2012) tutkimuksessa 13 harjoittelematonta tutkittavaa suorittivat kymmenen viikon venyttelyjakson, jonka aikana venytettiin ainoastaan oikean pohkeen lihaksia ja kontrolliryhmänä oli 12 harjoittelematonta. Oikean jalan pohkeen lihaksia venytettiin 4 x 30 sekuntia kolme kertaa viikossa. Ennen ja jälkeen venyttelyjakson mitattiin maksimivoima yhden jalan päkiänousussa sekä nilkan liikelaajuus. Venytetyssä jalassa liikelaajuus lisääntyi tilastollisesti merkitsevästi (+8 %), kun taas ei-venytetyssä jalassa liikelaajuus ei juurikaan muuttunut (-1 %).

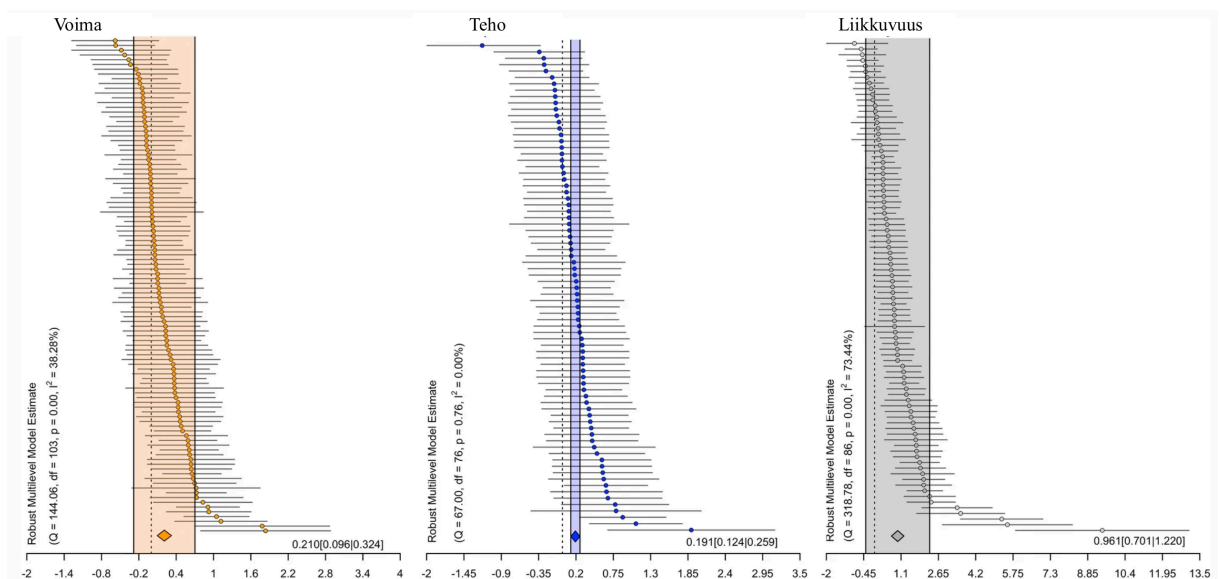
Venyttelyryhmässä molempien jalkojen yhden jalan päkiänousun maksimivoima parani tilastollisesti merkitsevästi (venytetyssä jalassa 29 % ja ei-venytetyssä 11 %). Kontrolliryhmässä ei havaittu muutoksia maksimivoimassa tai liikelaajuudessa kummassakaan jalassa. Näiden tulosten perusteella näyttäisi siis siltä, että unilateraalinen staattinen venyttely saattaisi parantaa voimantuottoa venytettävän raajan lisäksi myös ei-venytettävässä raajassa, mutta ei liikelaajuutta. Samankaltaisia tuloksia saivat myös Chen ym. (2011), jotka raportoivat tilastollisesti merkitsevää kasvua takareiden konsentrisessa voimantuotossa kahdeksan viikon venyttelyjakson jälkeen.

Myös Kokkosen ym. (2007) tutkimuksessa kymmenen viikon staattisella venyttelyharjoittelulla havaittiin olevan positiivisia vaikutuksia suorituskykyyn. Tutkimukseen osallistui 38 tutkittavaa, joista puolet kuuluivat kontrolliryhmään ja puolet venyttelivät päälihasurymiä kymmenen viikon ajan kolme kertaa viikossa. Yksittäisen venyttelyharjoituksen kesto oli noin 40 minuuttia eikä tutkittavat saaneet harjoittaa muuta liikuntaa tutkimuksen aikana. Jokaiselta tutkittavalta testattiin liikkuvuutta, tehontuottoa, maksimivoimaa sekä lihaskestävyyttä ennen ja jälkeen venyttelyjakson. Venyttelyjakso paransi kaikkia muuttujia tilastollisesti merkitsevästi, mutta kontrolliryhmässä tulokset heikentyivät tai pysyivät samana. Sen sijaan tutkimuksessa, jossa venyteltiin pohjelihaksia kaksi kertaa päivässä (4 x 30 sekuntia) kolmen viikon ajan ei havaittu muutosta nilkankoukistajien maksimivoimassa tai voimantuottonopeudessa terveillä nuorilla miehillä (Blazevich ym. 2014). Myöskään yleisurheilijanaisilla kuuden viikon takareisien staattisen venyttelyharjoittelun ei havaittu vaikuttavan tilastollisesti merkitsevästi 55-metrin sprintiaikaan tai vertikaalihyppyyn (Bazett-Jones ym. 2008). Kyseisessä tutkimuksessa suoritettiin 10 minuutin hölkän jälkeen 4 x 45 sekunnin takareisivenytykset neljä kertaa viikossa.

Venyttelyn kroonisten vaikutusten on kuitenkin havaittu vaikuttavan myös negatiivisesti suorituskykyyn. Barbosan ym. (2020) tutkimuksessa 44 aktiivista miestä jaettiin kolmeen ryhmään, joista yksi ryhmä ei venytellyt, toinen ryhmä venytteli staattisesti 3 x 30 sekuntia ja kolmas venytteli dynaamisesti 3 x 30 toistoa. Tutkimuksessa staattisen venyttelyharjoittelun raportoitiin heikentävän isokineettistä eksentristä voimantuottoa polvenkoukistuksessa keskimäärin 15,4 % ( $p < 0.0001$ ; effect size = 1,03) ja kolmiloikan pituutta keskimäärin 3,7 % ( $p = 0.009$ ; effect size = 0,29). Kyseisessä tutkimuksessa tutkittavat kuitenkin suorittivat kokonaisuudessaan ainoastaan kymmenen venyttelyharjoitusta. Saton ym. (2020) mukaan harjoittelufrekvenssillä ei kuitenkaan näyttäisi olevan merkitystä. Tutkimuksessa yhteensä 24 tervettä nuorta miestä venytteli kuuden viikon ajan joko kerran tai kolme kertaa viikossa. Venytysten

kokonaiskesto oli molemmilla ryhmillä sama. Nilkan ojentajalihasten maksimivoimaa mitattiin kolmella eri nivelkulmalla ja gastrocnemius medialiksen lihaspaksuus sekä pennaatiokulma mitattiin ennen ja jälkeen venyttelyjakson. Venyttelyjaksolla ei havaittu olevan tilastollisesti merkitseviä vaikutuksia näihin muuttujiin mitatuilla nivelkulmilla. (Sato ym. 2020)

Hiljattain julkaistu Arntzin ym. (2023) tekemä meta-analyysi kokoaa yhteen staattisen venyttelyn kroonisia vaikutuksia lihasvoimaan, tehoon ja liikkuvuuteen eri ikäisillä terveillä yksilöillä. Meta-analyysiin otettiin mukaan tutkimukset, joissa tarkasteltiin vähintään yhden lihaksen voiman- ja tehontuottoa sekä liikkuvuutta kontrolliryhmään tai -raajaan verrattuna. Yhteensä 41:n tutkimuksen perusteella staattisella venyttelyharjoittelulla näyttäisi olevan olematon tai pieni positiivinen vaikutus lihasvoimaan (standardized mean difference [SMD] = 0,21; 95 % luottamusväli 0,10–0,32;  $p = 0.001$ ) ja tehontuottoon (SMD = 0,19; 95 % luottamusväli 0,12–0,26;  $p < 0.001$ ). Liikkuvuuden osalta staattisen venyttelyn vaikutusten havaittiin olevan kohtalaisia tai suuria vaikutuksia (SMD = 0,96; 95 % luottamusväli 0,70–1,22;  $p < 0.001$ ) (kuva 4).



KUVA 4. Kroonisen venyttelyharjoittelun vaikutuksia voimaan, tehoon ja liikkuvuuteen kuvaava ordered caterpillar plot -diagrammi. Positiiviset arvot viittaavat venyttelyharjoittelun positiivisiin vaikutuksiin. Jokainen vaakaviiva kuvaa yksittäisen tutkimuksen luottamusväliä ja pisteen sijainti keskimääräistä vaikutusta. Pystysuoralla katkoviivalla merkitään tasoa, jossa venyttelyharjoittelulla ei ole havaittu vaikutusta. Värillisellä alueella merkitään 95 % odotettua luottamusväliä. (mukaeltu Arntz ym. 2023)

Samaisessa katsauksessa havaittiin myös, että lihasvoimassa nähtiin suurempaa kehitystä vähän liikkuvilla yksilöillä verrattuna aktiivisiin yksilöihin. Passiivisen liikkuvuuden raportoitiin parantuvan enemmän staattisella venyttelyllä verrattuna dynaamiseen venyttelyyn, ja kehitystä nähtiin enenevässä määrin venytysten määrän sekä kokonaiskeston lisääntyessä. Lisäksi lihasvoiman kehittymisen osalta havaittiin parempaa kehitystä ryhmissä, joissa oli paljon naisia, iäkkäämpiä tutkittavia ja venytysten määrä oli suurempaa. Myös tehon osalta kehittyminen näyttäisi olevan suurempaa iäkkäämmillä yksilöillä. (Arntz ym. 2023)

Mikäli säännöllisellä venyttelyharjoittelulla olisi vaikutuksia lihasarkkitehtuuriin, saattaisi sillä olla positiivisia vaikutuksia myös lihasvoimaan. Venyttelyharjoittelu saattaa kuitenkin vaikuttaa enemmän harjoittelemattomilla yksilöillä eikä venyttelyjaksojen mahdollisia vaikutuksia esimerkiksi lihasvoimaan voida yleistää. On myös mahdotonta sanoa, voiko venyttelyharjoittelu itsessään aiheuttaa suorituskyvyllisiä muutoksia vai vaikuttaako niihin lisäksi esimerkiksi kehon asennon ylläpitoon liittyvä lihastyö venytysten aikana. Muutokset fasikkelin pituudessa saattavat vaikuttaa myös voimantuottoon eri lihaspituuksilla. Tämän takia tutkimuksissa, joissa tarkastellaan staattisen venyttelyharjoittelun vaikutuksia voimantuottoon, tulisi voimantuottoa tarkastella eri nivelkulmilla ja lihaspituuksilla. Staattisen venyttelyn onkin havaittu parantavan voimantuottoa pidemmällä lihaspituuksilla (Chen ym. 2011).

Venyttelyn kroonisten adaptaatioiden vaikutusta venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin ei ole aiemmissa tutkimuksissa tarkasteltu. Vaikka staattisen venyttelyn onkin akuutisti havaittu heikentävän voiman- ja tehontuottoa, saattavat akuutit vaikutukset vaihdella harjoitustaustasta riippuen. Mikäli venyttelyllä on kroonisia vaikutuksia lihas-jänneyksikköön ja lihaksen arkkitehtuuriin, saattaisi staattisen venyttelyn akuutit vaikutukset olla erilaisia venyttelyharjoitteleilla verrattuna ei-venyttelyharjoitelleisiin. Kuten todettu, on mahdollista, että säännöllinen volyymitään ja intensiteetiltään korkea venyttelyharjoittelu saattaisi lisätä fasikkelin pituutta.

Fasikkelien pidentyminen lisää sarkomeerien määrää sarjassa, jolloin fasikkeliin kohdistuva venytys jakautuu useammalle sarkomeerille eikä yksittäinen sarkomeeri näin ollen välttämättä veny niin paljoa kuin jos sarkomeerejä olisi vähemmän. Sarjassa olevien sarkomeerien suurempi lukumäärä voi mahdollistaa myös nopeamman lihassupistuksen ja voimantuoton kanalta optimaalisen sarkomeerin pituuden useammilla eri nivelkulmilla (Lieber & Fridén 2000). Myös voimaharjoittelun osalta ajateltiin aiemmin, että laajoilla liikeradoilla tehtynä voimaharjoittelu rakentaisi lihassoluista pidempiä lisäämällä peräkkäisiä sarkomeerajä sarjassa (Presland

ym. 2018; Timmins ym. 2016). Pincheira ym. (2022) kuitenkin havaitsivat hiljattain tehdyssä tutkimuksessaan, että lihaksen sisäisistä rakenteista myös sarkomeerin pituus kasvaa lihaksen ääripäissä ilman, että sarkomeerien määrä kasvaa.



## 5 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia alaraajojen voima- ja hyppyominaisuuksiin isometriseen nilkanojennukseen sekä kevennyshyppyyn liikkuvuusharjoitelleilla huipputasoin voimistelijoilla. Tämän lisäksi tarkasteltiin pohkeen lihasten (gastrocnemius medialis ja lateralis) arkkitehtuurin mahdollista merkitystä edellä mainittujen suorituskyvyllisten ominaisuuksien ja staattisen venyttelyn akuuttien vaikutusten väliseen yhteyteen.

Tutkimusongelmat:

1. Onko pohjelihaksen staattisella venyttelyllä akuutteja vaikutuksia nilkan ojentajalihasten maksimivoimaan?
2. Onko staattisen venytyksen ja isometrisen nilkanojennuksen välisellä palautusajalla merkitystä nilkan ojentajalihasten maksimivoimaan?
3. Onko etureiden ja lonkankoukistajien staattisella venyttelyllä akuutteja vaikutuksia kevennyshyppyn korkeuteen tai tehontuottoon?
4. Onko staattisen venytyksen ja kevennyshyppyn välisellä palautusajalla merkitystä kevennyshyppyn korkeuteen tai tehontuottoon?
5. Onko pohjelihaksen paksuudella, lihaskimppujen pituudella ja/tai pennaatiokulmien suuruudella ja staattisen venyttelyn akuuteilla vaikutuksilla kevennyshyppyyn ja/tai nilkan ojentajalihasten maksimivoimaan yhteyttä?

Hypoteesit:

1. Kyllä. Viimeisten kahden vuosikymmenen aikana useat tutkimukset ovat osoittaneet, että erityisesti pitkäkestoinen staattinen venyttely (kokonaiskesto yli 60 sekuntia) vähentää lihasten kykyä tuottaa voimaa (Avela ym. 1999; Simic ym. 2013; Behm ym. 2016). Suorituskyvyn heikentymisen on katsottu johtuvan hermolihasin inhibitiosta sekä lihasten ja jänteiden jäykkyyden vähentymisestä (Avela ym. 1999; Fowles ym. 2000; Kay ym. 2015). Esimerkiksi Simicin ym. (2013) tekemässä 104 tutkimusta sisältävässä kirjallisuuskatsauksessa todettiin, että ennen suoritusta tehtävä yli 45 sekunnin

staattinen venyttely laski maksimaalista voimaa keskimäärin 5,4 %. Staattisen venyttelyn on havaittu heikentävän erityisesti isometristä voimantuottoa (Simic ym. 2013).

2. Kyllä. Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on havaittu, että staattisen venyttelyn aiheuttama suorituskyvyn heikkeneminen voi jatkua useita minutteja tai jopa tunteja venytyksen jälkeen (Fowles ym. 2000; Kay & Blazevich 2012). Näyttäisi kuitenkin siltä, että voimantuotto olisi heikoimmillaan välittömästi venytyksen jälkeen, mutta palautuisi vähitellen palautusajan kasvaessa (Fowles ym. 2000). Hypoteesina on, että tutkittavien liikkuvuusharjoitustausta auttaa maksimivoimaa palautumaan nopeammin venyttelyä edeltävälle tasolle aiempien tutkimusten liikkuvuusharjoittelemattomiin verrattuna.
3. Ei. Staattisen venyttelyn vaikutuksista kevennyshypyn korkeuteen on saatu ristiriitaisia tuloksia. Joissain tutkimuksissa staattisen venyttelyn ei ole havaittu vaikuttavan kevennyshypyn korkeuteen (Chaouachi ym. 2010; Perrier ym. 2011) tai sen on havaittu jopa parantavan hyppykorkeutta (Reid ym. 2018). Toisaalta yli 60 sekunnin staattisten venytyksien on havaittu vaikuttavan myös negatiivisesti kevennyshyppyyn (Bogdanis ym. 2019; Pinto ym. 2014). Yleensä tutkittavina on ollut liikkuvuusharjoittelemattomia yksilöitä eikä venytyksiä ole sisällytetty osaksi kokonaisvaltaista lämmittelyä. Tämän tutkimuksen tutkittavat ovat kuitenkin tottuneet lämmittelyyn yhteydessä staattisiin venytyksiin ennen dynaamisia ja räjähtäviä suorituksia.
4. Ei. Mikäli staattisella venyttelyllä ei havaita olevan akuutteja vaikutuksia kevennyshyppyyn, ei myöskään palautusajan tulisi vaikuttaa tähän.
5. Kyllä/Ei. Lihasarkkitehtuurin ja staattisen venyttelyn akuuttien vaikutusten yhteydestä ei ole juurikaan aiempaa tutkimustietoa. Mikäli isometrisen nilkanojennuksen maksimivoimassa tai kevennyshypyssä havaitaan merkitseviä muutoksia akuutisti venyttelyn jälkeen, on mahdollista, että näitä muutoksia voitaisiin osittain selittää pohkeen lihasarkkitehtuurilla. Toisaalta on mahdollista, ettei näiden suorituskyvyllisten muuttujen ja lihasarkkitehtuurin välillä havaita yhteyttä tai staattisella venyttelyllä havaita akuutteja vaikutuksia voiman- ja tehontuottoon.

## 6 AINEISTO JA TUTKIMUSMENETELMÄT

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia isometriseen nilkanojennukseen sekä kevennyshyppyyn liikkuvuusharjoitelleilla huipputason voimistelijoilla. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös staattisen venytyksen ja nilkan ojennuksen sekä kevennyshypyn välisen palautusajan merkitystä. Tämän lisäksi tarkoituksena oli selvittää pohkeen lihaskoon mahdollista merkitystä nilkan ojentajalihasten isometriseen maksimivoimaan ja kevennyshyppyyn. Ennen tutkimuksen aloittamista Jyväskylän yliopiston eettinen toimikunta myönsi puoltavan lausunnon tutkimukselle, ja tutkimus perustui tieteellisen tutkimuksen kriteerien mukaisiin ja eettisesti kestäviin tiedonhankinta-, tutkimus- ja arviointimenetelmiin.

### 6.1 Tutkittavat

Tutkimukseen osallistuneet tutkittavat olivat terveitä 17–20-vuotiaita nuoria naisia. Tutkittavien tuli olla täyttänyt 17 vuotta 31.12.2022 mennessä. Tutkittavan tuli kuulua voimistelijana yli 16-vuotiaiden SM-sarjassa voimistelemaan joukkueeseen, joka on valittu joukkuevoimistelun maajoukkueeryhmään kaudelle 2021–2022. Tämän lisäksi tutkimukseen osallistuminen edellytti, että tutkittava oli terve ja pystyi suorittamaan tutkimuksessa testattavat liikkeet turvallisesti. Tutkittava ei voinut osallistua tutkimukseen, jos hänellä oli tuki- ja liikuntaelimestön vammoja tai akuutti sairastuminen, joka voisi rajoittaa tutkittavan kyvykkyyttä suoriutua testattavista liikkeistä.

Tutkittavien rekrytointi tapahtui sähköpostin, urheiluseurojen ja valmentajien tiedotuskanavien kautta. Tutkittaviksi pyrittiin rekrytoimaan noin 20 Suomen parhaimpiin kuuluvaa joukkuevoimistelijaa maajoukkueeseen kuuluvista joukkueista. Tavoitteena oli saada tutkittavia tasaisesti viidestä eri joukkueesta. Tutkimuksen aikana osa tutkittavista kuitenkin jättäytyi pois loukkaantumisten ja sairastapauksien vuoksi. Lopulta tutkimukseen osallistui yhteensä 14 tutkittavaa. Taulukossa 1 on esitetty tutkittavien perustiedot.

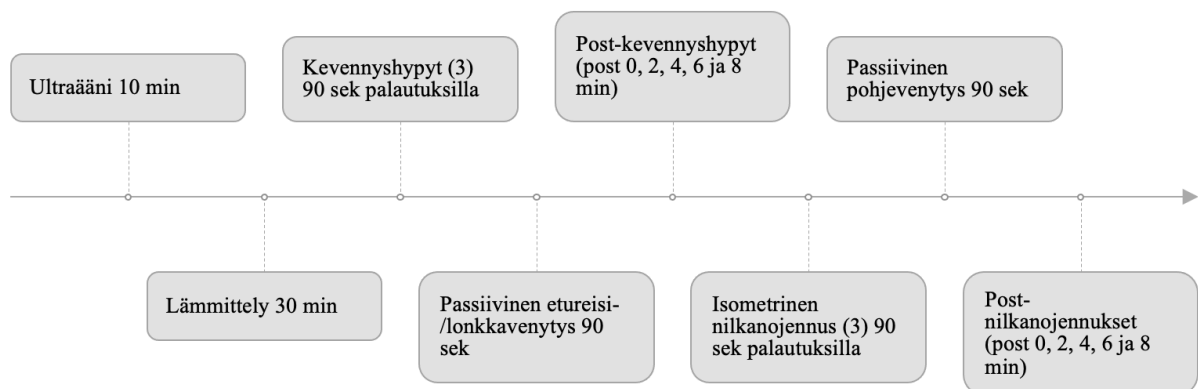
TAULUKKO 1. Tutkittavien perustiedot (n = 14).

Ikä (v)	Pituus (cm)	Paino (kg)
18,53 ± 0,96	168,57 ± 31,24	59,06 ± 6,75

Kaikille tutkittaville kerrottiin yksityiskohtaisesti tiedot tutkimuksen kulusta, mittauksista sekä tutkimukseen liittyvistä mahdollisista riskeistä ja epämukavuutta aiheuttavista tekijöistä. Lisäksi tutkittaville kerrottiin heidän oikeudestaan lopettaa tutkimus omasta tahdostaan milloin tahansa ilman seuraamuksia. Tämän jälkeen tutkittaville annettiin tiedote- ja suostumuslomake, joihin he perehtyivät ennen allekirjoittamista. Tutkimusryhmä päätti jokaisen tutkittavan kohdalla heidän osallistumisestaan tutkimukseen. Päätöksessä arvioitiin tutkittavan motivaatiota tutkimusta kohtaan, hänen kykyään suoriutua tutkimuksen mittauksista ja kuormituksista sekä tutkittavan terveydentilaa. Tutkittavia ohjeistettiin välttämään kuormittavaa harjoittelua 24 tuntia ennen mittauksia.

## 6.2 Tutkimusasetelma

Tutkimuksen mittaukset suoritettiin Jyväskylässä liikuntalaboratorion tiloissa. Tutkittavia oli ohjeistettu välttämään fyysistä rasitusta vähintään mittauskertaa edeltävänä päivänä. Mittauskerran alkuun tutkittavalta mitattiin kehon pituus ja paino sekä kysyttiin sen hetkistä palautumisen tilaa. Tutkimusasetelma on esitetty kokonaisuudessaan kuvassa 5.



KUVA 5. Tutkimusasetelma.

*Ultraäänikuvantaminen.* Sama tutkija suoritti ultraäänikuvantamisen kaikilta tutkittavilta. Tutkittavat olivat päinmakuulla tutkimuspöydällä siten, että jalkaterät roikkuivat reunan ulkopuolella rentoina. Ultraäänellä etsittiin ensin lihas-jänneliitoksen distaalisin kohta, joka merkittiin ihoon tussilla. Tämän jälkeen merkittiin lihasrungon puoliväli mittaamalla lihasjänneliitoksen ja reisiluun nivelnastan etäisyyden puoliväli. Kuvauskohta optimoitiin lihaksen paksuimmasta kohdasta visuaalisesti niin, että aponeuroosit ja fasikkelit saatiin selvästi näkyviin.

Kuvantamisessa käytettiin geeliä väliaineena, ja kuvauskohtaan pyrittiin asettamaan mahdollisimman vähän painetta. Sekä gastrocnemius medialiksesta että lateraliksesta otettiin viisi kuvaa vuorotellen.

Kuvat tallennettiin ja analysoitiin ImageJ-ohjelmistolla. Ohjelmistoon asetettiin skaala kuvassa näkyvän mitta-asteikon mukaisesti. Molempien lihasten (gastrocnemius ja lateralis) jokaisesta viidestä kuvasta mitattiin pennaatiokulma, lihaksen paksuus ja fasikkelin pituus. Viiden mitaustuloksen kolme keskimmäistä tulosta huomioitiin ja näistä laskettiin keskiarvo. Pennaatiokulma mitattiin fasikkelin ja aponeuroosin välisestä kulmasta kulmatyökälun avulla. Lihaksen paksuus mitattiin aponeuroosin välisestä etäisyydestä lihaksen paksuimmasta kohdasta.

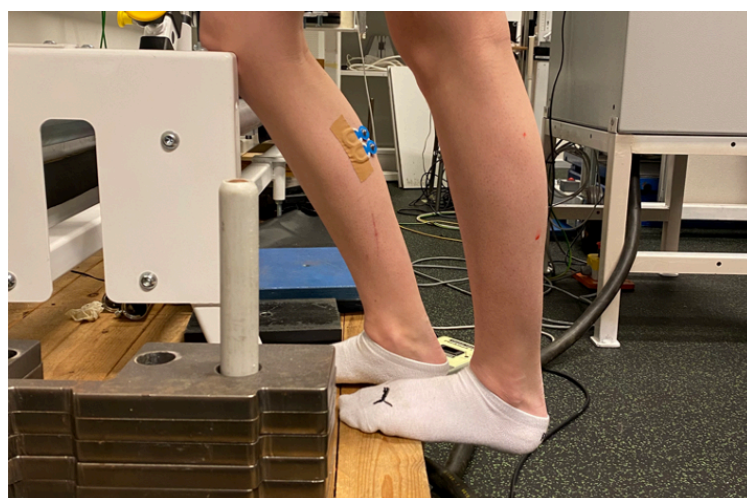
*Lämmittely.* Lämmittely oli noin 30 minuutin pituinen voimistelijalle tyypillinen alkulämmittely. Alkulämmittely sisälsi muun muassa hölkkää, erilaisia hyppelyitä, aktiivisia liikkuvuusharjoitteita ja keskivartalon lihaskuntoliikkeitä. Jokainen tutkittava suoritti lämmittelyn ohjatusti ja lämmittely oli jokaiselle tutkittavalle sisällöltään sekä kestoltaan samanlainen.

*Kevennyshyppy.* Alaraajojen nopeusvoima mitattiin kevennyshyppynä voimalevyn päällä. Hyppyn aikana kädet pidettiin lanteilla. Tutkittavia ohjeistettiin menemään ala-asennossa itselle luonnolliseen polvikulmaan ja alastulo ohjeistettiin tekemään päkiävoittoisesti. Kevennyshyppyn nousukorkeus määritettiin hyppyn lentoajan ja voimalevyyn tuotetun impulssin perusteella. Ennen passiivisia venytyksiä tutkittavat suorittivat kolme maksimaalista kevennyshyppyä 30 sekunnin palautuksilla, joista paras huomioitiin. Tämän jälkeen suoritettiin 90 sekunnin passiivinen venytys etureidelle ja lonkankoukistajille (kuva 6). Venytyksen tuli olla maksimaalinen, mutta ei turhan kivulias. Venytys tehtiin molemmille jaloille. Venytys oli tutkittaville entuudestaan tuttu. Välittömästi venytyksen jälkeen tutkittava suoritti jälleen kevennyshyppyn. Kevennyshyppy suoritettiin vielä 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venytyksen jälkeen. Palautusajat istuttiin penkillä. Data kerättiin Signal-ohjelmistolla (versio 4.10) ja analysoitiin Matlabilla (R2020b).



KUVA 6. Passiivinen etureiden ja lonkakoukistajien venytys.

*Isometrinen nilkanojennus.* Isometrinen nilkanojennus suoritettiin voimapenkissä liikkumattomana voimalevyä vasten. Suorituksen aikana tutkittava istui voimapenkissä toinen jalka eteen ojennettuna, nilkan ollessa noin 90 asteen kulmassa. Suoritus tehtiin samalla jalalla, josta myös ultraäänikuvat oli otettu. Tutkittavaa ohjeistettiin pitämään käsillä kiinni harteilla olevista kahvoista ja tuottamaan mahdollisimman paljon voimaa mahdollisimman nopeasti. Ennen passiivisia venytyksiä tutkittavat suorittivat kolme maksimaalista isometristä nilkanojennusta 30 sekunnin palautuksilla, joista paras suoritus huomioitiin. Tämän jälkeen suoritettiin 90 sekunnin passiivinen venytys pohjelihaksille (kuva 7). Venytyksen tuli olla maksimaalinen, mutta ei turhan kivulias. Venytys oli tutkittaville entuudestaan tuttu. Välittömästi venytyksen jälkeen tutkittava suoritti jälleen maksimaalisen isometrisen nilkanojennuksen. Nilkanojennus suoritettiin vielä 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venytyksen jälkeen. Palautusajat istuttiin penkillä. Voimakäyristä analysoitiin maksimivoima Signal-ohjelmistolla.



KUVA 7. Passiivinen pohjelihasten venytys.

### 6.3 Tilastolliset analyysit

Tulokset analysoitiin Microsoft Excel 2018, GraphPad Prism 2024 ja IBM SPSS Statistics 28.0 ohjelmistojen avulla. Muuttujien normaalijakautuneisuus testattiin Shapiro-Wilkin testillä. Kaikki muuttujat olivat normaalisti jakautuneita.

Testattavat muuttujat olivat isometrisen nilkanojennuksen maksimivoima, kevennyshypyn korkeus ja kevennyshypyn absoluuttinen teho. Staattisen venytyksen vaikutuksia eri aikapisteissä tehtyihin suorituksiin tarkasteltiin kaksisuuntaisella kahden riippuvan otoksen t-testillä (pre vs. post0, pre vs. post2, pre vs. post4, pre vs. post6, pre vs. post8). Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin  $p < 0,05$ . Efektikokoa arvioitiin Cohenin d:n avulla, jonka mukaan 0,20–0,49 efektikoot luokiteltiin pieniksi, 0,5–0,79 keskikokoisiksi ja yli 0,80 suuriksi.

Ultraäänikuvantamisen luotettavuutta testattiin Intraclass Correlation Coefficient -menetelmän (ICC) avulla. ICC-kertoimen merkitsevyytasot asetettiin Shroutin ja Fleissin (1979) mukaan, jonka perusteella alle 0,5 arvot luokiteltiin heikoiksi, 0,5–0,74 kohtalaisiksi, 0,75–0,89 hyväksi ja yli 0,9 erinomaisiksi. ICC-arvot laskettiin SPSS-ohjelmalla reliabiliteettianalyysillä käyttäen Two-Way Mixed -mallia. Jokaiselta tutkittavalta otettiin viisi ultraäänikuvaa sekä gastrocnemius medialiksesta että lateraliksesta, joista tarkasteltiin lihaksen arkkitehtuuria. ICC-analyysiin sisällytettiin jokaisen tutkittavan kolme keskimmäistä mittaustulosta fasikkelin pituudesta, lihaksen paksuudesta ja pennaatiokulmasta molemmista lihaksista.

Lihasarkkitehtuurin ja nilkanojennuksen maksimivoiman sekä kevennyshypyn korkeuden ja tehon välistä korrelaatiota testattiin 2-suuntaisella Pearsonin korrelaatioanalyysillä. Analyysi tehtiin niiden suorituskvyyllisten muuttujien osalta, joiden pre-suorituksen ja venytyksen jälkeisten eri aikapisteiden suoritusten välillä havaittiin tilastollisesti merkitseviä eroja. Korrelaatioista, jotka erosivat tilastollisesti merkitsevästi nolasta ( $p < 0,05$ ), tehtiin sirontakuviot GraphPad Prism -ohjelmistolla havainnollistamaan käytännön mahdollista merkitystä.

## 7 TULOKSET

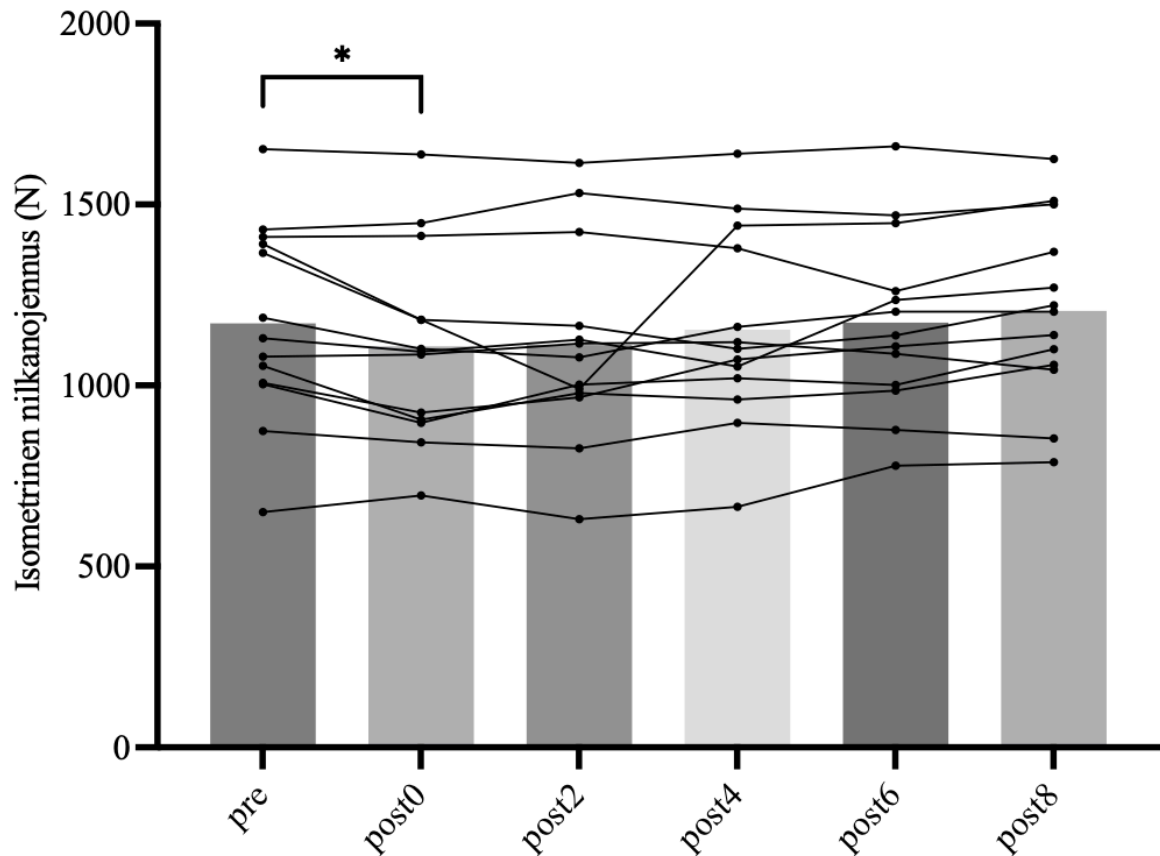
*Isometrinen nilkanojennus.* Taulukkoon 2 on koottu isometrisen nilkanojennuksen maksimivoiman tulokset ennen venyttelyä ja eri aikapisteissä venyttelyn jälkeen. Yhden tutkittavan tulosta ei otettu huomioon epäluotettavan suoritustekniikan takia. Maksimivoimassa havaittiin laskua ennen venyttelyä tehtyyn suoritukseen (pre) verrattuna neljän minuutin ajan venyttelyn jälkeen. Kuuden minuutin kohdalla tulos oli lähes samalla tasolla kuin ennen venyttelyä ja kahdeksan minuutin kohdalla maksimivoima oli parantunut keskimäärin 2,9 %.

Tilastollisesti merkitsevä ero maksimivoimassa oli kuitenkin ainoastaan pre- ja post0-suoritus-ten välillä ( $p = 0,014$ ). Pre- ja post0-suoritusten välisen eron efektikoko Cohenin d:n avulla arvioituna oli suuri (0,80). Kolmestatoista tutkittavasta kahdeksalla staattinen venytys vaikutti maksimivoimaan heikentävästi välittömästi venytyksen jälkeen (kuva 8). Kahdella tutkittavalla maksimivoima parani venyttelyn jälkeen ja kolmella tulos pysyi miltei samana (alle 1 % muutos).

TAULUKKO 2. Venyttelyn jälkeen (0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia) suoritettujen isometrinen nilkanojennusten keskimääräiset maksimivoimat ja keskihajonnat (newtoneina) sekä prosentuaaliset muutokset, t-testimuuttuja ja vapausasteluvut (df), p-arvot ja efektikoot (Cohenin d) ennen venyttelyä tehtyyn suoritukseen (pre) verrattuna. P-arvot laskettu kahden riippuvan otoksen t-testillä, kaksisuuntainen, \*  $p < 0,05$ .

	Maksimivoima	Muutos (%)	t (df)	p-arvo	Cohenin d
pre (n=13)	1172,2 ± 271,0	-	-	-	-
post0 (n=13)	1108,4 ± 267,9	-5,8	2,86 (12)	0,014*	0,80
post2 (n=13)	1111,8 ± 275,4	-5,4	1,78 (12)	0,101	0,49
post4 (n=13)	1153,9 ± 268,3	-1,6	0,68 (12)	0,507	0,19
post6 (n=13)	1173,6 ± 247,6	+0,1	-0,05 (12)	0,963	0,01
post8 (n=13)	1206,3 ± 249,9	+2,9	-1,30 (12)	0,219	0,36



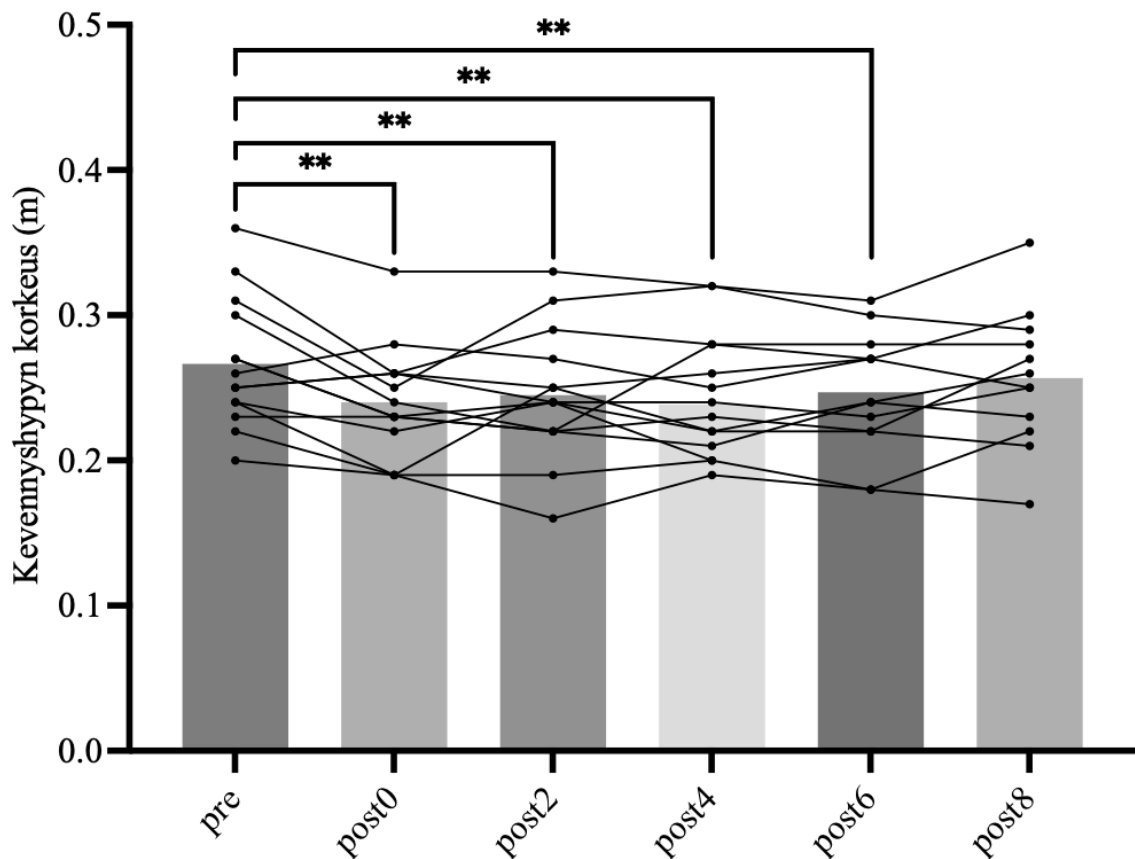


KUVA 8. Isometrisen nilkanojennuksen maksimivoima ennen venyttelyä (pre) ja 0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venyttelyn jälkeen. Palkit kuvastavat keskimääräistä maksimivoimaa ja mustat pisteet yksittäisten tutkittavien tuloksia. Tilastollinen merkitsevyys merkitty pre-tulokseen verrattuna, \*  $p < 0,05$ .

*Kevennyshyppy.* Taulukkoon 3 on koottu kevennyshyppyjen korkeudet ennen venytystä ja eri aikapisteissä venytyksen jälkeen. Tilastollisia merkitsevyksiä pre-tulokseen verrattuna oli kaikissa muissa aikapisteissä paitsi kahdeksan minuuttia venytyksen jälkeen. Efektikoko oli suuri 0–6 minuuttia venytyksen jälkeen. Ennen venyttelyä tehtyyn kevennyshyppyyn verrattuna kevennyshypyn korkeus laski venyttelyn jälkeen palautusajasta riippumatta. Kahdeksan minuutin jälkeen kevennyshypyn korkeus oli kuitenkin miltei palautunut takaisin lähtötasolle. Neljästätoista tutkittavasta kymmenellä kevennyshypyn korkeus laski, kolmella parani ja yhdellä pysyi muuttumattomana välittömästi venytyksen jälkeen (kuva 9). Kevennyshypyn korkeus laski välittömästi venyttelyn jälkeen keskimäärin 11 % ( $p = 0,005$ ).

TAULUKKO 3. Venyttelyn jälkeen (0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia) suoritettujen kevennyshyppyjen keskimääräiset korkeudet ja keskihajonnat sekä prosentuaaliset muutokset, t-testimuuttuja ja vapausasteluvut (df), p-arvot ja efektikoot (Cohenin d) ennen venyttelyä tehtyyn suoritukseen (pre) verrattuna. P-arvot laskettu kahden riippuvan otoksen t-testillä, kaksisuuntainen, \*\* p < 0,01.

	Korkeus (m)	Muutos (%)	t (df)	p-arvo	Cohenin d
pre (n=14)	0,27 ± 0,044	-	-	-	-
post0 (n=14)	0,24 ± 0,04	-11,0	3,41 (13)	0,005**	0,91
post2 (n=14)	0,25 ± 0,05	-7,4	3,09 (13)	0,009**	0,83
post4 (n=13)	0,24 ± 0,04	-11,0	3,79 (12)	0,003**	1,05
post6 (n=13)	0,25 ± 0,04	-7,4	3,27 (12)	0,007**	0,91
post8 (n=12)	0,26 ± 0,05	-3,7	1,31 (11)	0,218	0,38

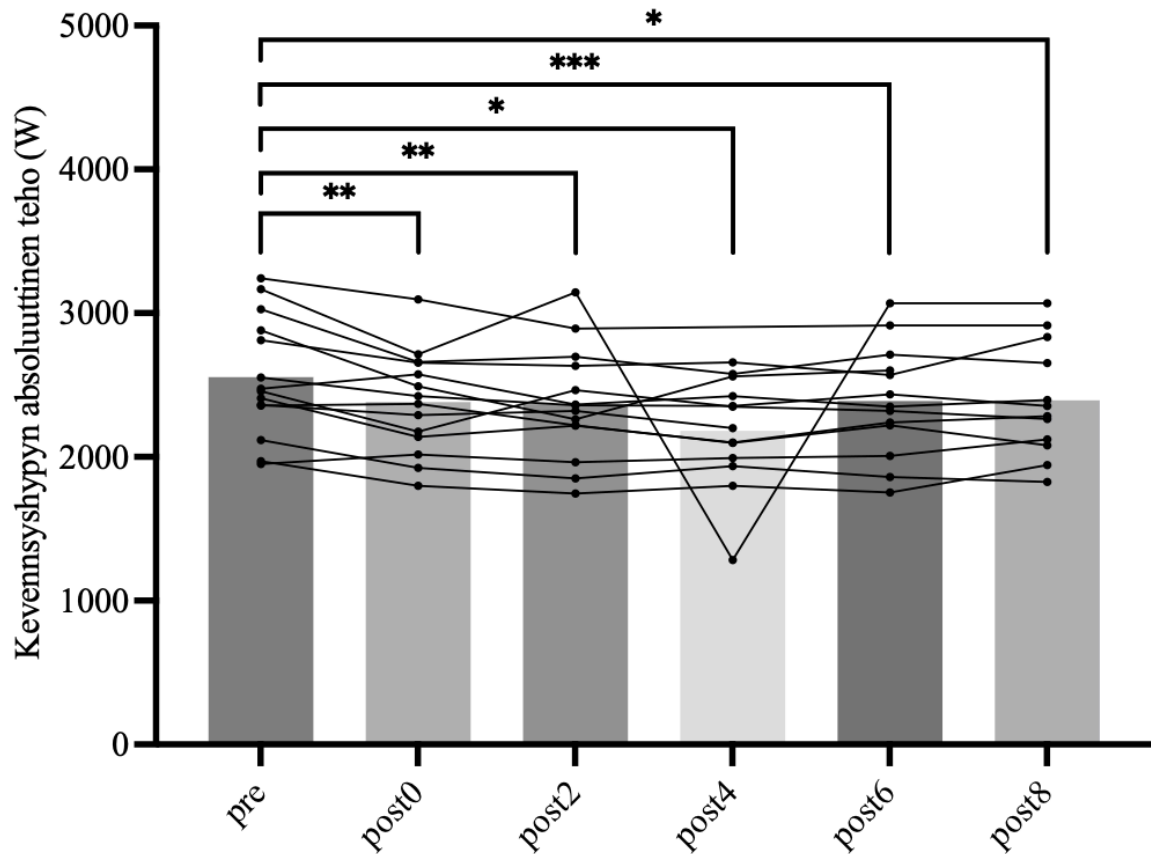


KUVA 9. Kevennyshyppyn korkeus ennen venyttelyä (pre) ja 0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venyttelyn jälkeen. Palkit kuvastavat keskimääräistä maksimivoimaa ja mustat pisteet yksittäisten tutkittavien tuloksia. Tilastollinen merkitsevyys merkitty pre-tulokseen verrattuna, \*\* p < 0,01.

Taulukkoon 4 on koottu kevennyshyppyjen absoluuttiset tehot ennen venyttelyä ja venyttelyn jälkeen eri aikapisteissä. Pre-tuloksiin verrattuna tilastollisia merkitsevyyksiä oli kaikissa venyttelyn jälkeen tehdyissä suorituksissa. Suurin prosentuaalinen muutos havaittiin neljä minuuttia venyttelyn jälkeen ( $p = 0,033$ ), mutta tulosta saattaa kuitenkin vääristää yhden tutkittavan tulos (kuva 10). Kun analyysistä poistettiin kyseisen tutkittavan tulos, prosentuaalinen muutos oli kuitenkin edelleen suurin neljä minuuttia venyttelyn jälkeen ( $-13,4\%$ ;  $p < 0,001$ ). Myös Cohenin  $d$ :n avulla arvioitu efektikoko oli alhaisempi ( $0,67$ ) neljä minuuttia venyttelyn jälkeen, kun muissa aikapisteissä efektikoko arvioitiin suureksi ( $> 0,8$ ). Ennen venyttelyä mitattuihin tuloksiin verrattuna, kevennyshypyn teho oli vielä kahdeksan minuutin jälkeen keskimäärin  $6,7\%$  alhaisempi ( $p = 0,008$ ).

TAULUKKO 4. Venyttelyn jälkeen (0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia) suoritettujen kevennyshyppyjen keskimääräiset absoluuttiset tehot ja keskihajonnat sekä prosentuaaliset muutokset, t-testimuuttuja ja vapausasteluvut (df), p-arvot ja efektikoot (Cohenin  $d$ ) ennen venyttelyä tehtyyn suoritukseen (pre) verrattuna. P-arvot laskettu kahden riippuvan otoksen t-testillä, kaksisuuntainen, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

	Teho (W)	Muutos (%)	t (df)	p-arvo	Cohenin d
pre (n=14)	2555,5 ± 416,6	-	-	-	-
post0 (n=14)	2380,6 ± 352,5	-7,4	3,91 (13)	0,002**	1,04
post2 (n=14)	2366,7 ± 386,7	-8,0	4,16 (13)	0,001**	1,11
post4 (n=13)	2179,6 ± 376,8	-17,2	2,40 (12)	0,033*	0,67
post6 (n=13)	2388,6 ± 388,3	-7,0	6,19 (12)	< 0,001***	1,72
post8 (n=12)	2394,8 ± 395,1	-6,7	3,26 (11)	0,008**	0,94



KUVA 10. Kevennsyhyypyn absoluuttinen teho ennen venytystä (pre) ja 0, 2, 4, 6 ja 8 minuuttia venytyksen jälkeen. Palkit kuvastavat keskimääräistä maksimivoimaa ja mustat pisteet yksittäisten tutkittavien tuloksia. Tilastollinen merkitsevyys merkitty pre-tulokseen verrattuna, \*  $p < 0,05$ , \*\*  $p < 0,01$ , \*\*\*  $p < 0,001$ .

*Ultraäänikuvantamisen luotettavuus.* Ultraäänikuvantamisen luotettavuutta ja eri mittauskertojen toistettavuutta arvioitiin ICC-menetelmän avulla, ja saadut ICC-kertoimet sekä p-arvot on koottu taulukkoon 5. ICC-kerroin oli jokaisella mitattavalla muuttujalla erinomainen ( $> 0,9$ ). Kaikkien muuttujien kertoimet erosivat tilastollisesti merkitsevästi nolasta ( $p < 0,001$ ).

TAULUKKO 5. Mittauskertojen välinen toistettavuus eri mitatuille muuttujille ( $n = 14$ ). ICC = Intraclass Correlation Coefficient. CI = luottamusväli. GL = gastrocnemius lateralis. GM = gastrocnemius medialis.

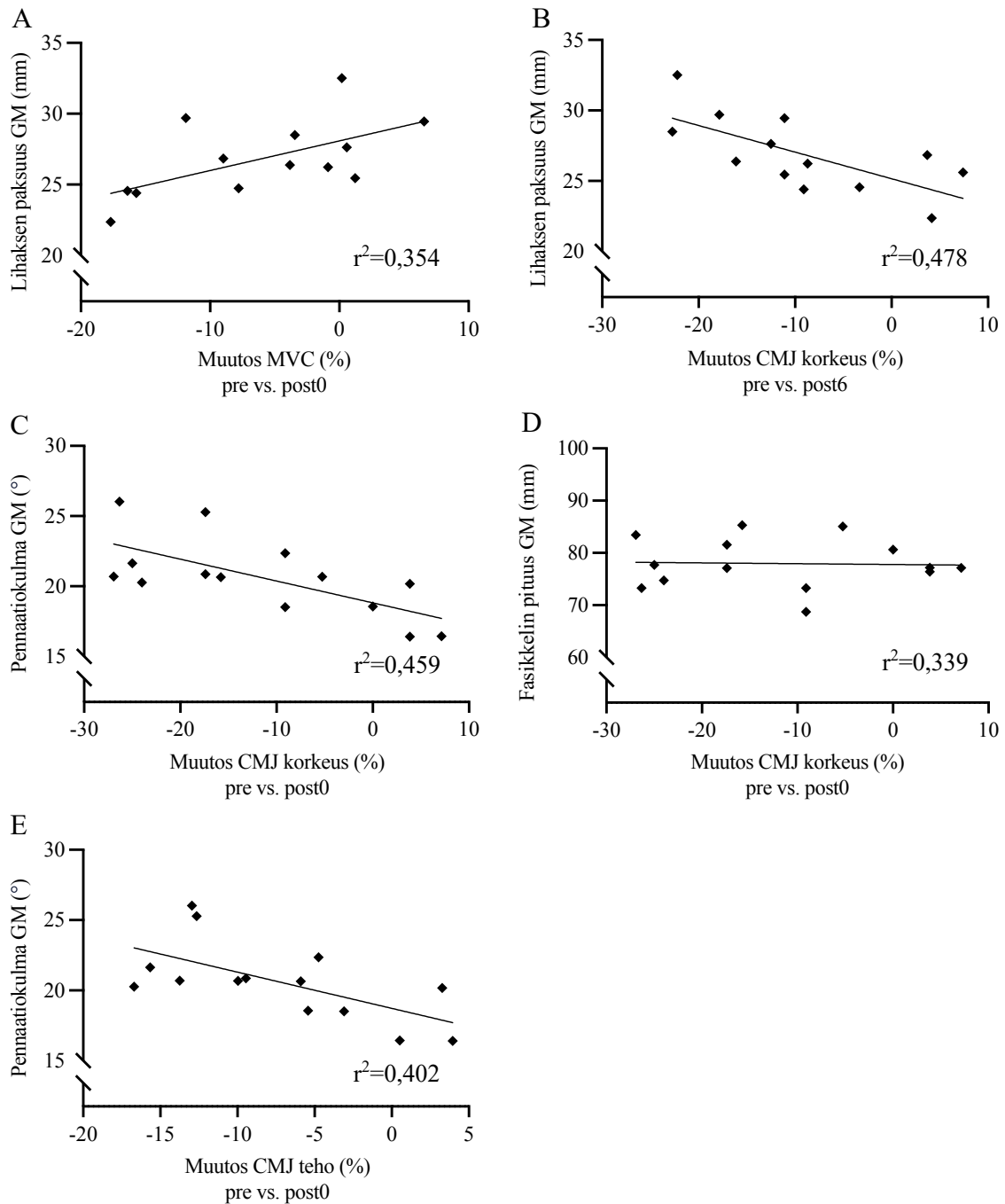
Mitattu muuttuja	ICC (95 % CI)
Fasikkelin pituus	GL = 0,965 (0,908–0,989); GM = 0,970 (0,926–0,989)
Lihaksen paksuus	GL = 0,973 (0,933–0,990); GM = 0,907 (0,773–0,968)
Pennaatiokulma	GL = 0,974 (0,937–0,991); GM = 0,986 (0,965–0,995)

*Lihasarkkitehtuurin ja suorituskyvyllisten muuttujien yhteydet.* Kun isometrisen nilkanojennuksen maksimivoimaa ja kevennyshypyn korkeutta sekä tehoa tarkasteltiin eri aikapisteissä venytyksen jälkeen verrattuna ennen venytystä tehtyyn suoritukseen, tilastollisia merkitsevyyksiä havaittiin yhteensä kymmenessä eri muuttujaparissa. Kun näiden muuttujaparien suoritusten välistä muutosprosentin ja gastrocnemius medialiksen (GM) sekä lateraliksen (GL) lihasarkkitehtuurin (fasikkelin pituus, lihaksen paksuus ja pennaatiokulma) välistä korrelaatiota tarkasteltiin, havaittiin tilastollisesti merkitseviä korrelaatioita yhteensä viidessä eri muuttujaparissa.

Nilkanojennuksen maksimivoiman pre- ja post0-suoritusten muutosprosentin ja lihaksen paksuuden (GM) välillä oli positiivinen korrelaatio ( $r = 0,595$ ;  $n = 13$ ;  $p = 0,032$ ). Tarkasteltaessa kuvan 11A sirontakuviota nähdään, että lihaksen paksuuden kasvaessa nilkanojennuksen maksimivoima heikkenee vähemmän välittömästi venytyksen jälkeen. Havainnoissa esiintyy kuitenkin melko paljon vaihtelua. Selitysasteen perusteella lihaksen paksuus selittää nilkanojennuksen maksimivoiman vaihtelusta 35,4 %.

Kevennyshypyn korkeuden muutosta tarkasteltaessa havaittiin negatiivinen korrelaatio lihaksen paksuuden (GM) ja pre- vs. post6-suoritusten välillä ( $r = -0,691$ ;  $n = 13$ ;  $p = 0,0089$ ). Sirontakuviosta (kuva 11B) nähdään, että lihaksen paksuuden kasvaessa kevennyshypyn korkeus heikkenee enemmän kuusi minuuttia venytyksen jälkeen pre-tulokseen verrattuna. Myös pennaatiokulman (GM) ja pre- vs. post0-suoritusten välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio ( $r = -0,678$ ;  $n = 14$ ;  $p = 0,0077$ ). Sirontakuvion (kuva 11C) perusteella näyttäisi siltä, että suurempi pennaatiokulma tarkoittaisi myös suurempaa negatiivista muutosta kevennyshypyn korkeudessa välittömästi venytyksen jälkeen. Pre- vs. post0-suoritusten muutosprosentin ja fasikkelin pituuden (GM) välillä havaittiin myös tilastollisesti merkitsevä korrelaatio ( $r = 0,582$ ;  $n = 14$ ;  $p = 0,029$ ), mutta sirontakuviosta (kuva 11D) kuitenkin nähdään, ettei muuttujien välillä juurikaan nähdä korrelaatiota. Selitysasteen perusteella fasikkelin pituus selittää vain noin kolmasosan kevennyshypyn korkeuden muutoksesta (33,9 %).

Kevennyshypyn pre- vs. post0-suoritusten muutosprosentin ja pennaatiokulman (GM) välillä oli negatiivinen korrelaatio ( $r = -0,634$ ;  $n = 14$ ;  $p = 0,015$ ). Samoin kuin kevennyshypyn korkeudenkin osalta, teho näyttäisi heikentyvän enemmän pennaatiokulman suurentuessa. Sirontakuviosta (kuva 11E) voidaan kuitenkin nähdä, että poikkeavia havaintoja esiintyy regressiosuoran molemmiin puolin. Selitysasteen perusteella pennaatiokulman suuruus selittää tehon muutoksen vaihtelusta 40,2 %.



KUVA 11. Sirontakuviot nilkanojennuksen ja kevennyshypyn tilastollisesti merkitsevien muutosten ja lihasarkkitehtuurin välillä. GM = gastrocnemius medialis. MVC = nilkanojennuksen maksimivoima. CMJ = kevennyshyppy.  $r^2$  = korrelaatiokertoimen neliö eli selityssaste.

## 8 POHDINTA

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella staattisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia alaraajojen voima- ja hyppyominaisuuksiin isometrisessä nilkanojennuksessa sekä kevennyshypyssä liikkuvuusharjoitelleilla huipputasoin voimistelijoilla. Tutkimuksessa tarkasteltiin myös venyttelyn jälkeisen palautusajan merkitystä voiman- ja tehontuottoon sekä pohjelihaksen arkkitehtuurin mahdollisia vaikutuksia edellä mainittuihin muuttujiin. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että passiivisella staattisella venyttelyllä saattaa olla heikentävä vaikutus isometriseen voimantuottoon sekä kevennyshypyn korkeuteen ja tehoon välittömästi venyttelyn jälkeen. Näyttäisi myös siltä, että gastrocnemius medialiksen lihasarkkitehtuurilla saattaisi olla jotain merkitystä maksimivoiman ja kevennyshypyn heikentymiseen akuutisti staattisen venyttelyn jälkeen.

Hypoteesina oli, että voimantuotto laskisi välittömästi venytyksen jälkeen, mutta palautuisi vähitellen venyttelyä edeltävälle tasolle. Staattisen venyttelyn havaittiin vaikuttavan akuutisti nilkan ojentajalihasten maksimivoimaan. Välittömästi venyttelyn jälkeen maksimivoima laski keskimäärin 5,8 %. Myös Simic ym. (2013) raportoivat laajassa, yli 104 tutkimusta sisältävässä, katsauksessaan samankaltaisia tuloksia. Katsauksen mukaan yli 45 sekunnin staattinen venyttely laski maksimaalista voimantuottoa keskimäärin 5,4 %. Fowlesin ym. (2000) tutkimuksessa nilkankoukistajien maksimaalisen isometrisen voimantuoton havaittiin laskevan välittömästi venytyksen jälkeen jopa 28 %, ja voimantuotto oli vielä 60 minuutinkin jälkeen 9 % alhaisemmalla tasolla kuin ennen venyttelyä. Kyseisessä tutkimuksessa kuitenkin tehtiin 13 kestoltaan 135 sekunnin venytystä, joka oli huomattavasti enemmän kuin tässä tutkimuksessa. Tämän tutkimuksen tulosten perusteella nilkan ojentajalihasten maksimivoima näyttäisi palautuvan muutamassa minuutissa. Kaksi minuuttia venyttelyn jälkeen ero venyttelyä edeltävään suoritukseen ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä ja noin kuuden minuutin jälkeen maksimivoima oli palautunut täysin venyttelyä edeltävälle tasolle. Tulos oli siis hypoteesin mukainen.

Harjoitustaustan merkityksestä staattisen venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin on havaittu ristiriitaisia tuloksia. Lima ym. (2016) tarkastelivat tutkimuksessaan staattisen ja ballistisen venyttelyn akuutteja vaikutuksia lihasvoimaan balettianssijoilla sekä kestävyysharjoitelleilla naisilla. Molemmista ryhmistä havaittiin takareiden lihasvoiman heikentymistä huolimatta venytysten kestosta. Babault ym. (2015) raportoivat takareiden maksimaalisen konsentrisen voimantuoton laskevan enemmän yksilöillä, joiden takareiden liikkuvuus oli heikkoa verrattuna

yksilöihin, joiden takareisien liikkuvuus oli hyvä. Voikin siis olla mahdollista, että tämän tutkimuksen tutkittavien hyvä liikkuvuus ehkäisi voimantuoton laskua. Maksimivoiman heikentyminen venyttelyn jälkeen saattoi johtua esimerkiksi muutoksista visko-elastisissa ominaisuuksissa, kuten lihas-jänneyksikön lisääntyneessä joustavuudessa ja lihasjäykkyyden väheneemisessä (Kallerud & Gleeson 2013; Rubini ym. 2007).

Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa staattisella venyttelyllä on havaittu olevan sekä negatiivisia (Bogdanis ym. 2019; Pinto ym. 2014) että positiivisia (Reid ym. 2018) vaikutuksia kevennyshypyn korkeuteen ja tehontuottoon. Toisaalta osassa tutkimuksista staattisella venyttelyllä ei ole havaittu olevan mitään vaikutusta (Chaouachi ym. 2010; Perrier ym. 2011). Tässä tutkimuksessa hypoteesina oli, että etureiden ja lonkankoukistajien staattisella venyttelyllä ei havaittaisi olevan vaikutusta kevennyshypyn korkeuteen tai tehoon osana kokonaisvaltaista lämmittelyä. Staattisella venyttelyllä kuitenkin havaittiin olevan tilastollisesti merkitseviä heikentäviä vaikutuksia sekä kevennyshypyn korkeuteen että tehoon. Kevennyshypyn korkeus oli alemmalla tasolla 0, 2, 4 ja 6 minuuttia venyttelyn jälkeen ja teho laski palautusajasta riippumatta, kun tuloksia verrattiin ennen venyttelyä tehtyihin suorituksiin. Korkeus laski välittömästi venyttelyn jälkeen keskimäärin 11 %. Samankaltaisia tuloksia havaittiin myös Bogdaniksen ym. (2019) tutkimuksessa, jossa kevennyshypyn korkeus laski välittömästi 90 sekunnin etureiden ja lonkankoukistajan venytyksien jälkeen keskimäärin 12 %. Pinto ym. (2014) sen sijaan raportoivat tutkimuksessaan kevennyshypyn korkeuden laskeneen 3,4 % staattisen venyttelyn jälkeen. Venytysten kesto oli kuitenkin ainoastaan 60 sekuntia, ja voikin olla, että pidempikestoiset venytykset heikentävät kevennyshypyn korkeutta enemmän.

Suurimmassa osassa tutkimuksista tutkittavina on ollut liikkuvuusharjoittelemattomia henkilöitä. Tässä tutkimuksessa hypoteesina olikin, että pitkäkestoisetkaan staattiset venytykset eivät osana kokonaisvaltaista lämmittelyä välttämättä vaikuttaisi heikentävästi kevennyshypyn korkeuteen liikkuvuusharjoitelleilla henkilöillä. Harjoitustaustasta huolimatta venyttelyn kuitenkin havaittiin heikentävän kevennyshyppyä akuutisti. Tätä saattaa selittää se, että kevennyshyppy ei ollut ennestään kovinkaan tuttu liike tutkittaville. Tuloksista kuitenkin havaittiin, että kevennyshypyn korkeus laski yli 70 % tutkittavista välittömästi venyttelyn jälkeen, joten staattista venyttelyä ei todennäköisesti voida suositella ennen räjähtäviä hyppysuorituksia.

On kuitenkin mahdollista, että joillain yksilöillä venyttely ei heikennä kevennyshyppyä akuutisti. Vaikka suurimmalla osalla tutkittavista kevennyshypyn korkeus laski välittömästi



venyttelyn jälkeen, neljästätoista tutkittavasta kolmella tulos parani ja yhdellä pysyi muuttumattomana. Myös Reidin ym. (2018) tutkimuksessa staattinen venyttely vaikutti joko parantavasti tai ei ollenkaan venytyksen keston ollessa enintään 60 sekuntia. Akuutit vaikutukset saattavat riippua myös venytettävästä lihaksesta. Suurin osa tähän asti tehdyistä tutkimuksista liittyen staattisen venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin on tehty venyttämällä agonistilihaksia. Kuten todettu, monissa tutkimuksissa agonistin staattisella venyttelyllä on havaittu olevan heikentäviä akuutteja vaikutuksia erityisesti heti venyttelyn jälkeen. Antagonistin passiivisen venyttelyn on sen sijaan havaittu parantavan suorituskykyä esimerkiksi hypyissä. Sandberg ym. (2012) tutkivat antagonistin staattisen venyttelyn vaikutuksia kevennyshyppyyn. Tutkimuksessa 16 voimaharjoitellutta miestä suorittivat kevennyshypyn ilman venyttelyä ja venyttelyn jälkeen. Kevennyshypyn korkeus ja teho olivat merkitsevästi korkeampia antagonistin venyttelyn jälkeen kuin ilman venyttelyä. Voikin siis olla, että staattisella venyttelyllä saatetaan havaita myös positiivisia vaikutuksia venytysten kohdistuessa antagonistilihaksiin.

Myös mahdollinen väsyminen ja heikko motivaatio saattoivat vaikuttaa kevennyshyppyjen tuloksiin erityisesti tehontuoton osalta. Toisaalta suurimmalla osalla tutkittavista kevennyshypyn teho ei kuitenkaan laskenut välittömästi venyttelyn jälkeen tehtyyn suoritukseen verrattuna, vaikka hyppyjä olikin jo tehty useampia. Kevennyshypyn teho laski keskimäärin 7,4 % välittömästi venyttelyn jälkeen, ja vielä kahdeksan minuuttia venyttelyn jälkeen teho oli 6,7 % alhaisempi kuin ennen venyttelyä. On kuitenkin mahdotonta sanoa, johtuiko tehon negatiivinen muutos vielä kahdeksan minuuttia venyttelyn jälkeen väsymyksestä, venyttelystä vai jostakin muusta tekijästä. Kuten muidenkin muuttujien osalta, täytyy huomioda, että tutkittavia oli suhteellisen pieni määrä, joten tuloksia ei voida yleistää isolle joukolle.

Lihasarkkitehtuurin yhteydestä voiman- ja tehontuottoon saatiin melko ristiriitaisia tuloksia. Isometrisessä nilkanojennuksessa havaittiin heikohko yhteys siinä, että maksimivoima laski välittömästi venytyksen jälkeen sitä vähemmän, mitä suurempi gastrocnemius medialiksen paksuus oli. Lihaspaksuudella tiedetään olevan merkittävä vaikutus voimantuottokykyyn. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että sillä saattaisi olla jonkinlainen merkitys myös kyvyssä tuottaa voimaa välittömästi staattisen venyttelyn jälkeen, mutta yksilölliset erot voivat olla suuria. Sen sijaan lihaspaksuuden ja kevennyshypyn korkeuden muutoksen välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio. Mikäli korrelaatio olisi kuitenkin todennäköinen ja käytännössä merkittävä, se olisi lienee näkynyt myös muissa aikapisteissä kuin ainoastaan kuusi minuuttia venytyksen jälkeen.

Harjoitustaustan tiedetään vaikuttavan lihasarkkitehtuuriin. Esimerkiksi Abe ym. (2000) havaitsivat tutkimuksessaan, että pikajuoksijoilla oli pienempi pennaatiokulma sekä pidemmät ja paksummat fasikkelit vastus lateraliksessa ja gastrocnemiuksessa kestävyysjuoksijoihin verrattuna. Tätä eroa on selitetty sillä, että pikajuoksijoilla tulee olla kyky tuottaa voimaa nopeasti. Myös Kumagai ym. (2000) raportoivat, että nopeammilla 100-metrin juoksijoilla oli myös pienemmät pennaatiokulmat pohkeen lihaksissa hitaampiin juoksijoihin verrattuna. Pohjelihaksen pennaatiokulman ja fasikkelin pituuden vaikutusta hyppyominaisuuksiin on tutkittu aiemmin jonkin verran. Earp ym. (2010) havaitsivat tutkimuksessaan, että gastrocnemiuksen paksuus oli merkittävin tekijä tarkasteltaessa absoluuttista tehoa kyykkyhypyssä, kevennyshypyssä ja pudotushypyssä. Sen sijaan suhteellisen tehon osalta lihaksen pennaatiokulman havaittiin vaikuttavan eniten.

Tässä tutkimuksessa gastrocnemiuksen pennaatiokulmalla ja paksuudella havaittiin olevan yhteys kevennyshypyn korkeuden sekä absoluuttiseen tehon muutokseen venyttelyn jälkeen, kun taas fasikkelin pituudella ei havaittu olevan yhteyttä. Kevennyshypyn korkeuden ja tehon havaittiin laskevan sitä vähemmän, mitä pienempi pennaatiokulma oli. Kuten todettu, pienemmän pennaatiokulman on havaittu olevan parempi nopeaa voimantuottoa vaativissa suorituksissa. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että se pätee myös välittömästi staattisen venyttelyn jälkeen. Onkin siis mahdollista, että pohjelihaksen pienemmällä pennaatiokulmalla olisi positiivinen vaikutus kevennyshypyn kaltaisissa räjähtävissä suorituksissa myös välittömästi venyttelyn jälkeen.

Pienempi pennaatiokulma tarkoittaa yleensä myös pidempiä fasikkeleita. Tässä tutkimuksessa fasikkeleiden pituudella ei kuitenkaan havaittu olevan selkeää yhteyttä kevennyshypyn muutokseen, vaikka pennaatiokulman havaittiinkin vaikuttavan. Vaikka mittauskertojen välinen luotettavuus olikin erinomaisella tasolla fasikkelin pituuden, pennaatiokulman ja lihaksen paksuuden osalta, on kuitenkin otettava huomioon, että ultraäänikuvantamisen ja kuvien analysoimisen suorittaneella henkilöllä ei ollut juurikaan aiempaa kokemusta. Tämä saattoi vaikuttaa tulosten luotettavuuteen lihasarkkitehtuurin osalta. Myös tutkittavien määrä oli melko pieni, joten eri muuttujien välillä havaittuja korrelaatioita ei voida yleistää. Näyttäisi kuitenkin siltä, että gastrocnemius medialiksen arkkitehtuurilla olisi suurempi merkitys kuin gastrocnemius lateraliksella, sillä kaikki havaitut korrelaatiot liittyivät gastrocnemius medialikseen.

Vastaus siihen, tulisiko staattisia venytyksiä sisällyttää alkulämmittelyyn, on kuitenkin monimutkainen. Täytyy ottaa huomioon, että staattisella venyttelyllä on havaittu olevan myös positiivisia vaikutuksia, kuten liikelaajuuden lisääntyminen (McHugh & Nesse 2008; McHugh & Cosgrave 2010; Reid ym. 2018) tai mahdollinen loukkaantumiseriskin väheneminen (McHugh & Cosgrave 2010). Eri urheilulajeissa on hyvin erilaiset vaatimukset liikkuvuuden ja liikelaajuuden osalta. Esimerkiksi pitkän matkan kestävyysjuoksu vaatii urheilijalta huomattavasti vähemmän liikkuvuutta kuin vaikkapa baletti tai voimistelu. Tärkeintä olisikin, että urheilijan liikkuvuus olisi lajin vaatimalla tasolla, jotta lajissa suoritettavat liikkeet olisi mahdollista suorittaa tarpeeksi laajalla liikeradalla ja turvallisesti. Jo 30 sekunnin venytysten on havaittu parantavan liikelaajuutta (Reid ym. 2018). Lyhyet venytykset eivät kuitenkaan välttämättä heikennä voiman- ja tehontuottoa yhtä paljon kuin pidemmät, minkä takia ne saattaisivat olla parempia pitkiin venytyksiin verrattuna. Venyttelyn akuutit vaikutukset saattavat myös vaihdella lihastyötavasta riippuen, ja venyttelyn onkin havaittu heikentävän enemmän isometristä kuin eksentristä tai konsentrista voimantuottoa (Simic ym. 2013).

Staattisen venyttelyn akuutit vaikutukset suorituskykyyn eivät kuitenkaan riipu pelkästään venytyksen kokonaiskestosta, vaan myös siitä, suoritetaanko venytys yhtenä jatkuvana venytyksenä vai jaksotetaanko venytyksen kokonaiskesto useampaan osaan. Tutkimukset, joissa on verrattu jatkuvan yksittäisen venytyksen ja jaksotetun venytyksen vaikutusta voiman- ja tehontuottoon, ovat antaneet ristiriitaisia tuloksia. (Blazevich ym. 2018; Bogdanis ym. 2019) Esimerkiksi Blazevichin ym. (2018) tutkimuksessa voiman heikkeneminen oli kaksi kertaa suurempaa (23,8 % vs. 14,3 %) välittömästi jaksotetun venytyksen jälkeen verrattuna jatkuvaan venytykseen venytyksien kokonaiskeston ollessa 5 minuuttia. Sen sijaan Bogdaniksen ym. (2019) tutkimuksessa havaittiin 8,1 % tehontuoton parannus 4 minuuttia jaksotetun venytyksen jälkeen, joka suoritettiin kolmessa 30 sekunnin jaksossa. Voikin siis olla, että lajeissa, joissa vaaditaan suurta liikelaajuutta, kannattaisi suosia useampia lyhytkestoisia venytyksiä yhden pidemmän venytyksen sijaan.

## **8.1 Tutkimuksen vahvuudet ja heikkoudet**

Tutkimuksen vahvuutena oli tutkittavien liikkuvuusharjoittelutausta. Aiemmin tehdyissä tutkimuksissa on useimmiten ollut tutkittavina liikkuvuusharjoittelemattomia henkilöitä, kun taas tässä tutkimuksessa tutkittavat olivat huipputaso voimistelijoita, jotka ovat tottuneet

intensiivisiin venytyksiin osana alkulämmittelyä. Lisäksi tämä tutkimus on yksi harvoista, jossa staattiset venyttelyt on sisällytetty osaksi kokonaisvaltaista kontrolloitua lämmittelyä. Lämmittely ohjeistettiin, valvottiin ja kelloitettiin tarkasti jokaisen tutkittavan kohdalla, jotta se saatiin toteutettua kaikille samalla tavalla. Samoin venytysten intensiteetti pyrittiin pitämään jokaisella tutkittavalla samalla tasolla. Myöskään lihasarkkitehtuurin ja staattisen venyttelyn akuuttien vaikutusten välistä yhteyttä ei ole tarkasteltu aiemmissä tutkimuksissa. Tässä tutkimuksessa saadut tulokset saattaisivatkin osittain selittää venyttelyn akuuttien vaikutusten yksilöllisiä eroja ja harjoitustaustan mahdollista merkitystä.

Tutkimuksessa käytetyn ultraäänen käyttö vaatii tarkkuutta luotettavien ja referenssimenetelmien kanssa vertailukelpoisten tulosten saamiseksi, sillä menetelmän käyttöön liittyy useita mahdollisia virhelähteitä. Kuvantamiseen saattaa vaikuttaa muun muassa äänipään lihakseen kohdistama paine, äänipään asento ja tutkittavan asento. Ultraääni mahdollistaa ainoastaan suhteellisen pienen alueen tarkastellun kerralla, joten kuvannettavan alueen anatomian tunteminen on välttämätöntä. Tässä tutkimuksessa ultraäänen kuitenkin havaittiin olevan luotettava ja toistettava menetelmä pohkeen lihasten kuvantamisessa, ja samankaltaisia tuloksia on saatu myös aiemmin tehdyissä tutkimuksissa (Scott ym. 2012; Ritsche ym. 2022). Lihasten kuvantamista ja tulosten luotettavuutta paransi varmasti myös tutkimusjoukon homogeenisyys sekä suhteellisen pienet, ja näin ollen helposti kuvannettavat, pohjelihakset. Luotettavuutta lisäsi myös se, että sama henkilö suoritti kuvantamisen sekä tulosten analysoimisen jokaisen tutkittavan kohdalla.

Yksi tutkimuksen heikkouksista oli pieni tutkimusjoukko. Tutkittaviksi pyrittiin saamaan vähintään 20 tutkittavaa, mutta kriteerit täyttäviä tutkittavia oli haastava löytää. Kriteereistä ei kuitenkaan haluttu joustaa, jotta tutkimusjoukko saatiin pidettyä mahdollisimman homogeenisenä. Tutkimuksessa ei myöskään ollut kontrollijalkaa- tai ryhmää. Jatkossa aihetta voisikin olla mielekäästä tutkia vertailemalla liikkuvuusharjoittelemattomien- ja harjoitelleiden mahdollisia eroja, jotta nähtäisiin harjoitustaustan mahdollista merkitystä staattisen venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin. Heikkoutena saattoi olla myös tutkittavien kokemattomuus testattavissa liikkeissä.

## 8.2 Yhteenveto

Yhteenvetona voidaan todeta, että staattisella venyttelyllä havaittiin heikentäviä vaikutuksia alaraajojen voima- ja hyppyominaisuuksiin välittömästi staattisen venyttelyn jälkeen. Näyttäisi siltä, venyttelyn heikentävä vaikutus palautuu vähitellen, mutta erityisesti kevennyshypyn korkeus sekä teho saattavat olla alentuneella tasolla vielä useampia minutteja venyttelyn jälkeen. Voikin siis olla, että ennen voima- ja hyppyominaisuuksia vaadittavia suorituksia kannattaisi välttää pitkäkestoisia staattisia venytyksiä. Staattisen venyttelyn akuuteissa vaikutuksissa näyttäisi kuitenkin olevan yksilöllisiä eroja ja osalla ne saattavat vaikuttaa myös positiivisesti voima- ja hyppyominaisuuksiin osana muuta kokonaisvaltaista lämmittelyä. Tämän ja aiemman tutkimuksen perusteella näyttäisi kuitenkin siltä, että staattisten venytysten sijaan voisi olla parempi suosia lyhytkestoisempia, dynaamisia venytyksiä myös lajeissa, joissa vaaditaan laajoja liikeratoja.

Lihasarkkitehtuurin osalta näyttäisi siltä, että gastrocnemius medialiksen ja staattisen venyttelyn akuuttien vaikutusten välillä saattaisi olla yhteys. Lihaspaksuuden ja nilkan ojentajalihasten maksimivoiman välillä havaittiin positiivinen korrelatio, mutta lihaspaksuuden ja kevennyshypyn korkeuden muutoksen välillä korrelaatio oli negatiivinen. Myös pennaatiokulman ja kevennyshypyn korkeuden sekä tehon muutosten välillä havaittiin negatiivinen korrelaatio. Tulosten perusteella ei kuitenkaan voida yksiselitteisesti sanoa, liittyvätkö havaitut korrelaatiot suoranaisesti staattisen venyttelyn akuutteihin vaikutuksiin.

## LÄHTEET

- Abe, T., Kumagai, K. & Brechue, W. F. (2000). Fascicle length of leg muscles is greater in sprinters than distance runners. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (6), 1125–1129. doi: 10.1097/00005768-200006000-00014
- Ahtiainen, J. P., Hoffren, M., Hulmi, J. J., Pietikäinen, M., Mero, A. A., Avela, J. & Häkkinen, K. (2010). Panoramic ultrasonography is a valid method to measure changes in skeletal muscle cross-sectional area. *European journal of applied physiology*, 108 (2), 273–279. doi: 10.1007/s00421-009-1211-6
- Andrade, R. J., Freitas, S. R., Hug, F., Le Sant, G., Lacourpaille, L., Gross, R., Quillard, J. B., McNair, P. J. & Nordez, A. (2020). Chronic effects of muscle and nerve-directed stretching on tissue mechanics. *Journal of applied physiology*, 129 (5), 1011–1023. doi: 10.1152/jappphysiol.00239.2019
- Arnason, A., Andersen, T. E., Holme, I., Engebretsen, L. & Bahr, R. (2008). Prevention of hamstring strains in elite soccer: an intervention study. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 18 (1), 40–48. doi: 10.1111/j.1600-0838.2006.00634.x
- Arntz, F., Markov, A., Behm, D. G., Behrens, M., Negra, Y., Nakamura, M., Moran, J. & Chaabene, H. (2023). Chronic Effects of Static Stretching Exercises on Muscle Strength and Power in Healthy Individuals Across the Lifespan: A Systematic Review with Multi-level Meta-analysis. *Sports medicine*, 53 (3), 723–745. doi: 10.1007/s40279-022-01806-9
- Avela, J., Kyröläinen, H. & Komi, P. V. (1999) Altered reflex sensitivity after repeated and prolonged passive muscle stretching. *Journal of applied physiology*, 86 (4), 1283-1291
- Bacurau, R. F., Monteiro, G. A., Ugrinowitsch, C., Tricoli, V., Cabral, L. F. & Aoki, M. S. (2009). Acute effect of a ballistic and a static stretching exercise bout on flexibility and maximal strength. *Journal of strength and conditioning research*, 23 (1), 304–308. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181874d55
- Bamman, M. M., Newcomer, B. R., Larson-Meyer, D. E., Weinsier, R. L. & Hunter, G. R. (2000). Evaluation of the strength-size relationship in vivo using various muscle size indices. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (7), 1307–1313. doi:10.1097/00005768-200007000-00019
- Bandy, W. D., Irion, J. M. & Briggler, M. (1997). The effect of time and frequency of static stretching on flexibility of the hamstring muscles. *Physical therapy*, 77 (10), 1090–1096. doi:10.1093/ptj/77.10.1090

- Barbosa, G. M., Trajano, G. S., Dantas, G. A. F., Silva, B. R. & Vieira, W. H. B. (2020). Chronic Effects of Static and Dynamic Stretching on Hamstrings Eccentric Strength and Functional Performance: A Randomized Controlled Trial. *Journal of strength and conditioning research*, 34 (7), 2031–2039. doi: 10.1519/JSC.0000000000003080
- Bazett-Jones, D. M., Gibson, M. H. & McBride, J. M. (2008). Sprint and vertical jump performances are not affected by six weeks of static hamstring stretching. *Journal of strength and conditioning research*, 22 (1), 25–31. doi: 10.1519/JSC.0b013e31815f99a4
- Behm, D. G., Blazevich, A. J., Kay, A. D. & McHugh, M. (2016). Acute effects of muscle stretching on physical performance, range of motion, and injury incidence in healthy active individuals: a systematic review. *Applied physiology, nutrition, and metabolism*, 41 (1), 1–11. doi:10.1139/apnm-2015-0235
- Behm, D. G., Kay, A. D., Trajano, G. S. & Blazevich, A. J. (2021). Mechanisms underlying performance impairments following prolonged static stretching without a comprehensive warm-up. *European journal of applied physiology*, 121 (1), 67–94. doi: 10.1007/s00421-020-04538-8
- Behm, D. G. & Kibele, A. (2007). Effects of differing intensities of static stretching on jump performance. *European journal of applied physiology*, 101 (5), 587–594. doi:10.1007/s00421-007-0533-5
- Bemben M. G. (2002). Use of diagnostic ultrasound for assessing muscle size. *Journal of strength and conditioning research*, 16 (1), 103–108.
- Blazevich A. J. (2006). Effects of physical training and detraining, immobilisation, growth and aging on human fascicle geometry. *Sports medicine*, 36 (12), 1003–1017. doi:10.2165/00007256-200636120-00002
- Blazevich, A. J., Cannavan, D., Waugh, C. M., Miller, S. C., Thorlund, J. B., Aagaard, P. & Kay, A. D. (2014). Range of motion, neuromechanical, and architectural adaptations to plantar flexor stretch training in humans. *Journal of applied physiology*, 117 (5), 452–462. doi: 10.1152/jappphysiol.00204.2014
- Blazevich, A. J., Gill, N. D., Kvorning, T., Kay, A. D., Goh, A. G., Hilton, B., Drinkwater, E. J. & Behm, D. G. (2018). No Effect of Muscle Stretching within a Full, Dynamic Warm-up on Athletic Performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 50 (6), 1258–1266. doi:10.1249/MSS.0000000000001539
- Bogdanis, G. C., Donti, O., Tsolakis, C., Smilios, I. & Bishop, D. J. (2019). Intermittent but Not Continuous Static Stretching Improves Subsequent Vertical Jump Performance in

- Flexibility-Trained Athletes. *Journal of strength and conditioning research*, 33 (1), 203–210. doi: 10.1519/JSC.0000000000001870
- Brusco, C. M., Blazevich, A. J., Radaelli, R., Botton, C. E., Cadore, E. L., Baroni, B. M., Trajano, G. S. & Pinto, R. S. (2018). The effects of flexibility training on exercise-induced muscle damage in young men with limited hamstrings flexibility. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28 (6), 1671–1680. doi: 10.1111/sms.13068
- Chaouachi, A., Castagna, C., Chtara, M., Brughelli, M., Turki, O., Galy, O., Chamari, K. & Behm, D. G. (2010). Effect of warm-ups involving static or dynamic stretching on agility, sprinting, and jumping performance in trained individuals. *Journal of strength and conditioning research*, 24(8), 2001–2011. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3181aeb181
- Chen, C. H., Nosaka, K., Chen, H. L., Lin, M. J., Tseng, K. W., & Chen, T. C. (2011). Effects of flexibility training on eccentric exercise-induced muscle damage. *Medicine and science in sports and exercise*, 43 (3), 491–500. doi: 10.1249/MSS.0b013e3181f315ad
- Cleary, C. J., Nabavizadeh, O., Young, K. L. & Herda, A. A. (2022). Skeletal muscle analysis of panoramic ultrasound is reliable across multiple raters. *PloS one*, 17 (5). doi: 10.1371/journal.pone.0267641
- Cramer, J. T., Housh, T. J., Weir, J. P., Johnson, G. O., Coburn, J. W. & Beck, T. W. (2005). The acute effects of static stretching on peak torque, mean power output, electromyography, and mechanomyography. *European journal of applied physiology*, 93 (5-6), 530–539. doi:10.1007/s00421-004-1199-x
- Cramer, J. T., Housh, T. J., Coburn, J. W., Beck, T. W. & Johnson, G. O. (2006). Acute effects of static stretching on maximal eccentric torque production in women. *Journal of strength and conditioning research*, 20 (2), 354–358. doi:10.1519/R-18105.1
- Earp, J. E., Joseph, M., Kraemer, W. J., Newton, R. U., Comstock, B. A., Fragala, M. S., Dunn-Lewis, C., Solomon-Hill, G., Penwell, Z. R., Powell, M. D., Volek, J. S., Denegar, C. R., Häkkinen, K. & Maresh, C. M. (2010). Lower-body muscle structure and its role in jump performance during squat, countermovement, and depth drop jumps. *Journal of strength and conditioning research*, 24 (3), 722–729. doi:10.1519/JSC.0b013e3181d32c04
- Fowles, J. R., Sale, D. G. & MacDougall, J. D. (2000). Reduced strength after passive stretch of the human plantarflexors. *Journal of applied physiology*, 89 (3), 1179–1188. doi: 10.1152/jappl.2000.89.3.1179
- Franchi, M. V., Atherton, P. J., Reeves, N. D., Flück, M., Williams, J., Mitchell, W. K., Selby, A., Beltran Valls, R. M. & Narici, M. V. (2014). Architectural, functional and molecular



- responses to concentric and eccentric loading in human skeletal muscle. *Acta physiologica*, 210 (3), 642–654. doi: 10.1111/apha.12225
- Freitas, S. R. & Mil-Homens, P. (2015). Effect of 8-week high-intensity stretching training on biceps femoris architecture. *Journal of strength and conditioning research*, 29 (6), 1737–1740. doi:10.1519/JSC.0000000000000800
- Haun, C. T., Vann, C. G., Roberts, B. M., Vigotsky, A. D., Schoenfeld, B. J. & Roberts, M. D. (2019). A Critical Evaluation of the Biological Construct Skeletal Muscle Hypertrophy: Size Matters but So Does the Measurement. *Frontiers in physiology*, 10, 247. doi: 10.3389/fphys.2019.00247
- Herbert, R. D., Moseley, A. M., Butler, J. E. & Gandevia, S. C. (2002). Change in length of relaxed muscle fascicles and tendons with knee and ankle movement in humans. *The Journal of physiology*, 539 (2), 637–645. doi: 10.1113/jphysiol.2001.012756
- Herda, T. J., Cramer, J. T., Ryan, E. D., McHugh, M. P. & Stout, J. R. (2008). Acute effects of static versus dynamic stretching on isometric peak torque, electromyography, and mechanomyography of the biceps femoris muscle. *Journal of strength and conditioning research*, 22 (3), 809–817. doi:10.1519/JSC.0b013e31816a82ec
- Herzog, W., Schappacher, G., DuVall, M., Leonard, T. R. & Herzog, J. A. (2016). Residual Force Enhancement Following Eccentric Contractions: A New Mechanism Involving Titin. *Physiology (Bethesda, Md.)*, 31 (4), 300–312. doi: 10.1152/physiol.00049.2014
- Hough, P. A., Ross, E. Z. & Howatson, G. (2009). Effects of dynamic and static stretching on vertical jump performance and electromyographic activity. *Journal of strength and conditioning research*, 23 (2), 507–512. doi:10.1519/JSC.0b013e31818cc65d
- Ishikawa, M., Finni, T. & Komi, P. V. (2003). Behaviour of vastus lateralis muscle-tendon during high intensity SSC exercises in vivo. *Acta physiologica Scandinavica*, 178 (3), 205–213. doi: 10.1046/j.1365-201X.2003.01149.x
- Kallerud, H. & Gleeson, N. (2013). Effects of stretching on performances involving stretch-shortening cycles. *Sports medicine*, 43 (8), 733–750. doi:10.1007/s40279-013-0053-x
- Kawakami, Y., Abe, T. & Fukunaga, T. (1993). Muscle-fiber pennation angles are greater in hypertrophied than in normal muscles. *Journal of applied physiology*, 74(6), 2740–2744. doi:10.1152/jappl.1993.74.6.2740
- Kay, A. D. & Blazevich, A. J. (2012). Effect of acute static stretch on maximal muscle performance: a systematic review. *Medicine and science in sports and exercise*, 44 (1), 154–164. doi:10.1249/MSS.0b013e318225cb27

- Kay, A. D., Husbands-Beasley, J. & Blazeovich, A. J. (2015). Effects of Contract-Relax, Static Stretching, and Isometric Contractions on Muscle-Tendon Mechanics. *Medicine and science in sports and exercise*, 47 (10), 2181–2190. doi:10.1249/MSS.0000000000000632
- Kokkonen, J., Nelson, A. G., Eldredge, C. & Winchester, J. B. (2007). Chronic static stretching improves exercise performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 39 (10), 1825–1831. doi: 10.1249/mss.0b013e3181238a2b
- Konrad, A. & Tilp, M. (2014). Increased range of motion after static stretching is not due to changes in muscle and tendon structures. *Clinical biomechanics*, 29 (6), 636–642. doi: 10.1016/j.clinbiomech.2014.04.013
- Konrad, A., Reiner, M. M., Thaller, S. & Tilp, M. (2019). The time course of muscle-tendon properties and function responses of a five-minute static stretching exercise. *European journal of sport science*, 19 (9), 1195–1203. doi:10.1080/17461391.2019.1580319
- Kumagai, K., Abe, T., Brechue, W. F., Ryushi, T., Takano, S. & Mizuno, M. (2000). Sprint performance is related to muscle fascicle length in male 100-m sprinters. *Journal of applied physiology* (Bethesda, Md.: 1985), 88 (3), 811–816. doi: 10.1152/jappl.2000.88.3.811
- Leterme, D., Cordonnier, C., Mounier, Y. & Falempin, M. (1994). Influence of chronic stretching upon rat soleus muscle during non-weight-bearing conditions. *European journal of physiology*, 429 (2), 274–279. doi: 10.1007/BF00374323
- Lieber, R. L. & Fridén, J. (2000). Functional and clinical significance of skeletal muscle architecture. *Muscle & nerve*, 23 (11), 1647–1666. doi: 10.1002/1097-4598(200011)23:11<1647::aid-mus1>3.0.co;2-m
- Lima, K. M., Carneiro, S. P., Alves, D.deS., Peixinho, C. C. & de Oliveira, L. F. (2015). Assessment of muscle architecture of the biceps femoris and vastus lateralis by ultrasound after a chronic stretching program. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 25 (1), 55–60. doi: 10.1097/JSM.0000000000000069
- Lima, C. D., Brown, L. E., Wong, M. A., Leyva, W. D., Pinto, R. S., Cadore, E. L. & Ruas, C. V. (2016). Acute Effects of Static vs. Ballistic Stretching on Strength and Muscular Fatigue Between Ballet Dancers and Resistance-Trained Women. *Journal of strength and conditioning research*, 30 (11), 3220–3227. doi: 10.1519/JSC.0000000000001606
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P., Gleim, G. W., McHugh, M. P. & Kjaer, M. (1995). Viscoelastic response to repeated static stretching in the human hamstring

- muscle. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 5 (6), 342–347. doi:10.1111/j.1600-0838.1995.tb00056.x
- Magnusson, S. P., Simonsen, E. B., Aagaard, P. & Kjaer, M. (1996). Biomechanical responses to repeated stretches in human hamstring muscle in vivo. *The American journal of sports medicine*, 24 (5), 622–628. doi:10.1177/036354659602400510
- Magnusson, S. P., Aagaard, P., & Nielson, J. J. (2000). Passive energy return after repeated stretches of the hamstring muscle-tendon unit. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (6), 1160–1164. doi:10.1097/00005768-200006000-00020
- Matsuo, S., Suzuki, S., Iwata, M., Banno, Y., Asai, Y., Tsuchida, W. & Inoue, T. (2013). Acute effects of different stretching durations on passive torque, mobility, and isometric muscle force. *Journal of strength and conditioning research*, 27 (12), 3367–3376. doi:10.1519/JSC.0b013e318290c26f
- McHugh, M. P. & Cosgrave, C. H. (2010). To stretch or not to stretch: the role of stretching in injury prevention and performance. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 (2), 169–181. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.01058.x
- McHugh, M. P. & Nesse, M. (2008). Effect of stretching on strength loss and pain after eccentric exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 40 (3), 566–573. doi:10.1249/MSS.0b013e31815d2f8c
- Muir, I. W., Chesworth, B. M., & Vandervoort, A. A. (1999). Effect of a static calf-stretching exercise on the resistive torque during passive ankle dorsiflexion in healthy subjects. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 29 (2), 106–115. doi:10.2519/jospt.1999.29.2.106
- Nakamura, M., Ikezoe, T., Takeno, Y. & Ichihashi, N. (2012). Effects of a 4-week static stretch training program on passive stiffness of human gastrocnemius muscle-tendon unit in vivo. *European journal of applied physiology*, 112 (7), 2749–2755. doi:10.1007/s00421-011-2250-3
- Nelson, A. G., Driscoll, N. M., Landin, D. K., Young, M. A. & Schexnayder, I. C. (2005). Acute effects of passive muscle stretching on sprint performance. *Journal of sports sciences*, 23 (5), 449–454. doi:10.1080/02640410410001730205
- Nelson, A. G., Kokkonen, J., Winchester, J. B., Kalani, W., Peterson, K., Kenly, M. S. & Arnall, D. A. (2012). A 10-week stretching program increases strength in the contralateral muscle. *Journal of strength and conditioning research*, 26 (3), 832–836. doi:10.1519/JSC.0b013e3182281b41

- Nojiri, S., Yagi, M., Mizukami, Y. & Ichihashi, N. (2021). Static stretching time required to reduce iliacus muscle stiffness. *Sports biomechanics*, 20 (7), 901–910. doi:10.1080/14763141.2019.1620321
- Nunes, J. P., Schoenfeld, B. J., Nakamura, M., Ribeiro, A. S., Cunha, P. M. & Cyrino, E. S. (2020). Does stretch training induce muscle hypertrophy in humans? A review of the literature. *Clinical physiology and functional imaging*, 40 (3), 148–156. doi: 10.1111/cpf.12622
- Palmer, T. B., Pineda, J. G., Cruz, M. R. & Agu-Udemba, C. C. (2019). Duration-Dependent Effects of Passive Static Stretching on Musculotendinous Stiffness and Maximal and Rapid Torque and Surface Electromyography Characteristics of the Hamstrings. *Journal of strength and conditioning research*, 33 (3), 717–726. doi:10.1519/JSC.0000000000003031
- Peck, E., Chomko, G., Gaz, D. V. & Farrell, A. M. (2014). The effects of stretching on performance. *Current sports medicine reports*, 13 (3), 179–185. doi:10.1249/JSR.0000000000000052
- Perrier, E. T., Pavol, M. J. & Hoffman, M. A. (2011). The acute effects of a warm-up including static or dynamic stretching on countermovement jump height, reaction time, and flexibility. *Journal of strength and conditioning research*, 25 (7), 1925–1931. Doi: 10.1519/JSC.0b013e3181e73959
- Pincheira, P. A., Boswell, M. A., Franchi, M. V., Delp, S. L. & Lichtwark, G. A. (2022). Biceps femoris long head sarcomere and fascicle length adaptations after 3 weeks of eccentric exercise training. *Journal of sport and health science*, 11 (1), 43–49. doi: 10.1016/j.jshs.2021.09.002
- Pinto, M. D., Wilhelm, E. N., Tricoli, V., Pinto, R. S. & Blazevich, A. J. (2014). Differential effects of 30- vs. 60-second static muscle stretching on vertical jump performance. *Journal of strength and conditioning research*, 28 (12), 3440–3446. doi: 10.1519/JSC.0000000000000569
- Pope, R. P., Herbert, R. D., Kirwan, J. D. & Graham, B. J. (2000). A randomized trial of preexercise stretching for prevention of lower-limb injury. *Medicine and science in sports and exercise*, 32 (2), 271–277. doi:10.1097/00005768-200002000-00004
- Power, K., Behm, D., Cahill, F., Carroll, M., & Young, W. (2004). An acute bout of static stretching: effects on force and jumping performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 36 (8), 1389–1396. doi:10.1249/01.mss.0000135775.51937.53

- Presland, J. D., Timmins, R. G., Bourne, M. N., Williams, M. D. & Opar, D. A. (2018). The effect of Nordic hamstring exercise training volume on biceps femoris long head architectural adaptation. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 28 (7), 1775–1783. doi: 10.1111/sms.13085
- Reeves, N. D., Maganaris, C. N. & Narici, M. V. (2004). Ultrasonographic assessment of human skeletal muscle size. *European journal of applied physiology*, 91 (1), 116–118. doi: 10.1007/s00421-003-0961-9
- Reid, J. C., Greene, R., Young, J. D., Hodgson, D. D., Blazevich, A. J. & Behm, D. G. (2018). The effects of different durations of static stretching within a comprehensive warm-up on voluntary and evoked contractile properties. *European journal of applied physiology*, 118 (7), 1427–1445. doi:10.1007/s00421-018-3874-3
- Riley, D. A. & Van Dyke, J. M. (2012). The effects of active and passive stretching on muscle length. *Physical medicine and rehabilitation clinics of North America*, 23 (1), 51–x. doi: 10.1016/j.pmr.2011.11.006
- Ritsche, P., Schmid, R., Franchi, M. V. & Faude, O. (2022). Agreement and reliability of lower limb muscle architecture measurements using a portable ultrasound device. *Frontiers in physiology*, 13, 981862. doi: 10.3389/fphys.2022.981862
- Rubini, E. C., Costa, A. L., & Gomes, P. S. (2007). The effects of stretching on strength performance. *Sports medicine*, 37 (3), 213–224. doi:10.2165/00007256-200737030-00003
- Ryan, E. D., Beck, T. W., Herda, T. J., Hull, H. R., Hartman, M. J., Costa, P. B., Defreitas, J. M., Stout, J. R. & Cramer, J. T. (2008). The time course of musculotendinous stiffness responses following different durations of passive stretching. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 38 (10), 632–639. doi: 10.2519/jospt.2008.2843
- Safran, M. R., Seaber, A. V. & Garrett, W. E. (1989). Warm-up and muscular injury prevention. An update. *Sports medicine*, 8 (4), 239–249. doi:10.2165/00007256-198908040-00004
- Sandberg, J. B., Wagner, D. R., Willardson, J. M., & Smith, G. A. (2012). Acute effects of antagonist stretching on jump height, torque, and electromyography of agonist musculature. *Journal of strength and conditioning research*, 26 (5), 1249–1256. doi:10.1519/JSC.0b013e31824f2399
- Sato, S., Hiraizumi, K., Kiyono, R., Fukaya, T., Nishishita, S., Nunes, J. P. & Nakamura, M. (2020). The effects of static stretching programs on muscle strength and muscle architecture of the medial gastrocnemius. *PloS one*, 15 (7), e0235679. doi: 10.1371/journal.pone.0235679

- Scott, J. M., Martin, D. S., Ploutz-Snyder, R., Caine, T., Matz, T., Arzeno, N. M., Buxton, R. & Ploutz-Snyder, L. (2012). Reliability and validity of panoramic ultrasound for muscle quantification. *Ultrasound in medicine & biology*, 38 (9), 1656–1661. doi: 10.1016/j.ultrasmedbio.2012.04.018
- Sekir, U., Arabaci, R., Akova, B. & Kadagan, S. M. (2010). Acute effects of static and dynamic stretching on leg flexor and extensor isokinetic strength in elite women athletes. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 20 (2), 268–281. doi:10.1111/j.1600-0838.2009.00923.x
- Seynnes, O. R., de Boer, M. & Narici, M. V. (2007). Early skeletal muscle hypertrophy and architectural changes in response to high-intensity resistance training. *Journal of applied physiology*, 102 (1), 368–373. doi: 10.1152/jappphysiol.00789.2006
- Shrier, I. (1999). Stretching before exercise does not reduce the risk of local muscle injury: a critical review of the clinical and basic science literature. *Clinical journal of sport medicine: official journal of the Canadian Academy of Sport Medicine*, 9 (4), 221–227. doi:10.1097/00042752-199910000-00007
- Shrout, P. E. & Fleiss, J. L. (1979). Intraclass correlations: uses in assessing rater reliability. *Psychological bulletin*, 86 (2), 420–428. doi:10.1037//0033-2909.86.2.420
- Simic, L., Sarabon, N. & Markovic, G. (2013). Does pre-exercise static stretching inhibit maximal muscular performance? A meta-analytical review. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 23 (2), 131–148. doi:10.1111/j.1600-0838.2012.01444.x
- Simpson, C. L., Kim, B. D. H., Bourcet, M. R., Jones, G. R. & Jakobi, J. M. (2017). Stretch training induces unequal adaptation in muscle fascicles and thickness in medial and lateral gastrocnemii. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 27 (12), 1597–1604. doi: 10.1111/sms.12822
- Smith C. A. (1994). The warm-up procedure: to stretch or not to stretch. A brief review. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 19 (1), 12–17. Doi: 10.2519/jospt.1994.19.1.12
- Stokes, T., Tripp, T. R., Murphy, K., Morton, R. W., Oikawa, S. Y., Lam Choi, H., McGrath, J., McGlory, C., MacDonald, M. J. & Phillips, S. M. (2021). Methodological considerations for and validation of the ultrasonographic determination of human skeletal muscle hypertrophy and atrophy. *Physiological reports*, 9 (1), e14683. doi: 10.14814/phy2.14683

- Suchomel, T. J., Nimphius, S., Bellon, C. R. & Stone, M. H. (2018). The Importance of Muscular Strength: Training Considerations. *Sports Medicine* 48 (4), 765-785. doi: 10.1007/s40279-018-0862-z.
- Swanson, D. C., Sponbeck, J. K., Swanson, D. A., Stevens, C. D., Allen, S. P., Mitchell, U. H., George, J. D. & Johnson, A. W. (2022). Validity of ultrasound imaging for intrinsic foot muscle cross-sectional area measurements demonstrated by strong agreement with MRI. *BMC musculoskeletal disorders*, 23 (1), 146. doi: 10.1186/s12891-022-05090-6
- Tabary, J. C., Tabary, C., Tardieu, C., Tardieu, G. & Goldspink, G. (1972). Physiological and structural changes in the cat's soleus muscle due to immobilization at different lengths by plaster casts. *The Journal of physiology*, 224 (1), 231–244. doi: 10.1113/jphysiol.1972.sp009891
- Tatsumi R. (2010). Mechano-biology of skeletal muscle hypertrophy and regeneration: possible mechanism of stretch-induced activation of resident myogenic stem cells. *Animal science journal*, 81 (1), 11–20. doi: 10.1111/j.1740-0929.2009.00712.x
- Timmins, R. G., Ruddy, J. D., Presland, J., Maniar, N., Shield, A. J., Williams, M. D. & Opar, D. A. (2016). Architectural Changes of the Biceps Femoris Long Head after Concentric or Eccentric Training. *Medicine and science in sports and exercise*, 48 (3), 499–508. doi: 10.1249/MSS.0000000000000795
- van Mechelen, W., Hlobil, H., Kemper, H. C., Voorn, W. J. & de Jongh, H. R. (1993). Prevention of running injuries by warm-up, cool-down, and stretching exercises. *The American journal of sports medicine*, 21 (5), 711–719. doi: 10.1177/036354659302100513
- Verrall, G. M., Slavotinek, J. P., Barnes, P. G., Fon, G. T. & Spriggins, A. J. (2001). Clinical risk factors for hamstring muscle strain injury: a prospective study with correlation of injury by magnetic resonance imaging. *British journal of sports medicine*, 35 (6), 435–440. doi: 10.1136/bjism.35.6.435
- Walsh G. S. (2017). Effect of static and dynamic muscle stretching as part of warm up procedures on knee joint proprioception and strength. *Human movement science*, 55, 189–195. doi: 10.1016/j.humov.2017.08.014
- Wilke, J., Schleip, R., Yucesoy, C. A. & Banzer, W. (2018). Not merely a protective packing organ? A review of fascia and its force transmission capacity. *Journal of applied physiology*, 124 (1), 234–244. doi: 1152/jappphysiol.00565.2017
- Williams, P. E. & Goldspink, G. (1978). Changes in sarcomere length and physiological properties in immobilized muscle. *Journal of anatomy*, 127 (3), 459–468.

Worrell, T. W., Smith, T. L. & Winegardner, J. (1994). Effect of hamstring stretching on hamstring muscle performance. *The Journal of orthopaedic and sports physical therapy*, 20 (3), 154–159. doi:10.2519/jospt.1994.20.3.154