

**SÄÄREN ETUMAISEN LIHASAITION HEMODYNAAMISET MUUTOKSET  
TERVEILLÄ MIEHILLÄ KÄVELYN AIKANA**

Lasse Liikanen

Fysioterapian pro gradu -tutkielma

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2023

## TIIVISTELMÄ

Liikanen, L. 2022. Säären etumaisen lihasaition hemodynaamiset muutokset terveillä miehillä kävelyn aikana, Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, (Fysioterapia) pro gradu -tutkielma, 38 s., 1 liite.

Alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä on yleinen vaiva etenkin liikunnallisesti aktiivisilla henkilöillä. Sen oireet provosoituvat fyysisen kuormituksen aikana sekä lievittyvät nopeasti kuormituksen loppuessa. Alaraajan kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyyden väestössä on arvioitu olevan 8–27 % välillä, ja sen on todettu aiheuttavan alidiagnosoituna merkittävää toimintakyvyn rajoittumista. Kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnosointi on haastavaa, koska kyseessä on monitekijäinen oireyhtymä. Lähi-infrapunaspektroskopiolla pystytään mittaamaan reaaliaikaisesti kudoksen hemodynaamisia muutoksia, ja sen on todettu olevan luotettava menetelmä kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnostiikan tukena.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia terveillä miehillä kävelykuormituksen aikana lähi-infrapunaspektroskopiolla. Keski-Suomen sairaanhoitopiirin Sairaala NOVA:ssa toteutettuun tutkimukseen rekrytoitiin terveitä ja tupakoimattomia miehiä eri ikäryhmistä, joilla ei ollut historiaa kroonisen lihasaitio-oireyhtymän oireilusta. Tutkimukseen osallistui yhteensä 15 tutkittavaa, joiden keski-ikä olivat ikäryhmittäin: nuoret (n=5) 26,8 ( $\pm$ 2,9) vuotta, keski-ikäiset (n=5) 54,4 ( $\pm$ 3,1) vuotta ja seniorit (n=5) 83,0 ( $\pm$ 4,4) vuotta. Tutkimuksessa tarkasteltiin sääarten etumaisten lihasaitioiden happeutumista kävelyn aikana lähi-infrapunaspektroskopiolla.

Kävelyn aikana ryhmien välillä oli tilastollisesti merkitsevät erot kudoksen happisaturaatioindeksin muutoksissa ( $p < 0,01$ ), kokonaishemoglobiinin suhteellisissa muutoksissa ( $p < 0,01$ ), happeutuneen hemoglobiinin suhteellisissa muutoksissa ( $p < 0,01$ ) ja happeutumattoman hemoglobiinin suhteellisissa muutoksissa ( $p < 0,01$ ). Senioreiden ja nuorten sekä senioreiden ja keski-ikäisten välillä oli tilastollisesti merkitsevä ero kokonaishemoglobiinin suhteellisissa muutoksissa kuormituksen ollessa korkeimmillaan ( $p < 0,01$ ).

Säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia kävelyn aikana voidaan käyttää esimerkiksi kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tukena. Lisäksi tutkimus on ensimmäinen, jossa tutkitaan yli 80-vuotiaiden säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia kuormituksen aikana. Tutkimus tuottaa alustavaa uutta tietoa ikääntyneiden säären lihasten hemodynaamisista muutoksista fyysisen kuormituksen aikana.

Asiasanat: NIRS, penikkatauti, säären lihasaitio-oireyhtymä, happisaturaatio, verenkierto

## ABSTRACT

Liikanen, L. 2022. Anterior compartment tissue hemodynamics during exercise in healthy adults, University of Jyväskylä, Physiotherapy Master's thesis, 38 pp., 1 appendix.

Chronic exertional compartment syndrome (CECS) is common in physically active population. Symptoms occur during physical activity and alleviate when provocative activity ceases. Incidence rate of chronic exertional compartment syndrome in population is estimated to be between 8 and 27 %, causing substantial impairment if not diagnosed. Yet, diagnosing chronic exertional compartment syndrome is challenging because it is a multifactorial syndrome. Near-infrared spectroscopy (NIRS) can measure real-time hemodynamic changes and is a reliable tool for diagnosis.

The purpose of this study was to determine normal changes in anterior compartment of the leg tissue hemodynamics in healthy individuals during physical activity using near-infrared spectroscopy. Study was conducted in Hospital NOVA of Central Finland. The participants were non-smoking men from different age groups with no history of chronic exertional compartment syndrome symptoms. A total of 15 participants were included in the study, whose mean age in different age groups was: young (n=5) 26,8 ( $\pm 2,9$ ) years, middle age (n=5) 54,4 ( $\pm 3,1$ ) years, senior (n=5) 83,0 ( $\pm 4,4$ ) years. Anterior compartment of the leg tissue hemodynamics was measured during walking by using near-infrared spectroscopy.

There was a statistically significant difference between the groups in tissue oxygenation index ( $p < 0,01$ ), total haemoglobin relative changes ( $p < 0,01$ ), oxyhaemoglobin relative changes ( $p < 0,01$ ) and deoxyhaemoglobin relative changes ( $p < 0,01$ ). During the highest physical strain, there was a statistically significant difference in total haemoglobins relative changes between seniors and young ( $p < 0,01$ ) as well as seniors and middle aged ( $p < 0,01$ ).

Hemodynamic changes of the anterior compartment of the leg during exercise can be useful in the diagnosis and care planning of chronic exertional compartment syndrome *inter alia*. In addition, the present study investigates the changes in anterior compartment of the leg tissue oxygenation during physical activity among healthy individuals over 80 years old, giving preliminary new knowledge about hemodynamic changes during physical strain in older adults.

Key words: NIRS, Oxygen Saturation, Chronic Exertional Compartment Syndrome, Anterior Compartment Syndrome, Hemodynamics

## **KÄYTETYT LYHENTEET**

HHb	happeutumaton hemoglobiini
ICP	lihasaition sisäinen paine
NIRS	near-infrared spectroscopy, lähi-infrapunaspektroskopia
O <sub>2</sub> Hb	happeutunut hemoglobiini
pCO <sub>2</sub>	hiilidioksidiosapaine
pO <sub>2</sub>	happiosapaine
TSI%	kudoksen happisaturaatioindeksi
tHb	kokonaishemoglobiini

# SISÄLLYS

## TIIVISTELMÄ

## ABSTRACT

JOHDANTO.....	1
---------------	---

LIHASKUDOKSEN HAPPEUTUMINEN .....	3
-----------------------------------	---

1.1 Lihasten verenkiertoelimistön anatomia ja toiminta .....	4
--	---

1.2 Hapensiirto lihaskudokseen.....	5
-------------------------------------	---

LIHASAITIO-OIREYHTYMÄ .....	6
-----------------------------	---

1.3 Krooninen lihasaitio-oireyhtymä.....	6
--	---

1.4 Alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä .....	7
---	---

1.5 Yhteenveto lihasaitio-oireyhtymästä .....	8
---	---

NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS).....	9
--	---

1.6 NIRS mittausmenetelmänä.....	9
----------------------------------	---

1.7 NIRS ja alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä .....	11
---	----

1.8 Yhteenveto lähi-infrapunaspektroskopiasta (NIRS).....	13
---	----

TUTKIMUSAIHE.....	14
-------------------	----

TUTKIMUSMENETELMÄT .....	15
--------------------------	----

1.9 Mittauksen tekninen toteutus.....	16
---------------------------------------	----

1.10 Mittausmenetelmä .....	17
-----------------------------	----

1.11 Tutkimuksen eettisyys .....	17
----------------------------------	----

1.12 Tilastolliset menetelmät.....	17
------------------------------------	----

TULOKSET .....	19
----------------	----

POHDINTA.....	29
---------------	----

LÄHTEET .....	34
---------------	----

## LIITTEET

Liite 1: Esitietolomake.

## JOHDANTO

Alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä on yleinen vaiva liikunnallisesti aktiivisilla nuorilla henkilöillä (Velasco & Leggit 2020). Sen oireet provosoituvat fyysisessä kuormituksessa lievittyen nopeasti kuormituksen lakatessa (Buerba ym. 2019). Oireyhtymä voi johtaa alidiagnosoituna merkittäviin toimintakyvyn rajoitteisiin (Ding ym. 2020). Alaraajojen kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyyden väestössä on arvioitu olevan 8–27 % välillä (Bong ym. 2005; Orlin ym. 2016; Qvarfordt ym. 1983; Styf 1988). Oireyhtymän haastavimmissa tapauksissa hoitomuotona on faskiotomia, jota pidetään turvallisena ja käyttökelpoisena interventiona (Ding ym. 2020). Tyytyväisyys faskiotomian hoitovasteeseen on vaihdellut tutkimuksissa 48–94 % välillä (Buerba ym. 2019). Samalle aktiivisuustasolle palaamisen faskiotomian jälkeen on raportoitu olevan 30–60 % välillä (Ding ym. 2020) ja eliittuurheilijoilla jopa 85 % (Irion ym. 2014).

Alaraajan kroonisen lihasaitio-oireyhtymän on tunnistettu olevan alidiagnosoitu vaiva (Buerba ym. 2019). Sen diagnostiikassa on käytetty lihasaitiopaineen mittaamista invasiivisesti kuormituksen yhteydessä injektoimalla lihasaitioon neula tai katetri (Vogels ym. 2022). Tällöin lihasaitiopaineen muutoksia mitataan levossa, kuormituksen aikana sekä kuormituksen jälkeen. Lihasaitio-oireyhtymän diagnoosissa käytetään lihasaitiopainemuutosten raja-arvoina kriteeristöjä; esim. Pedowitz-kriteeristöä, jota pidetään kultaisena standardina (Ding ym. 2020). Pedowitz ym. (1990) ovat ehdottaneet käytettäväksi raja-arvoiksi lihasaitiopaineen osalta:  $\geq 15$  mmHg levossa, minuutti kuormituksen jälkeen  $\geq 30$  mmHg tai viisi minuuttia kuormituksen jälkeen  $\geq 20$  mmHg. Käytettyjen kriteeristöjen raja-arvoilla ja kirurgisen hoidon hoitovasteella ei ole kuitenkaan selkeää yhteyttä. On raportoitu myös havaintoja, joissa tutkittavilla on kliinisesti diagnosoitu krooninen lihasaitio-oireyhtymä, mutta siitä huolimatta normaalit lihasaitiopaineen arvot, mikä herättää epäilyksen lihasaitiopainemittauksissa käytettyjen kriteerien hyödyllisyydestä (Ding ym. 2020). Aweid ym. (2012) ovat todenneet systemaattisessa katsauksessaan lihasaitiopaineen muutosten kriteeristöjen tutkimusnäytön olevan heikkoa.

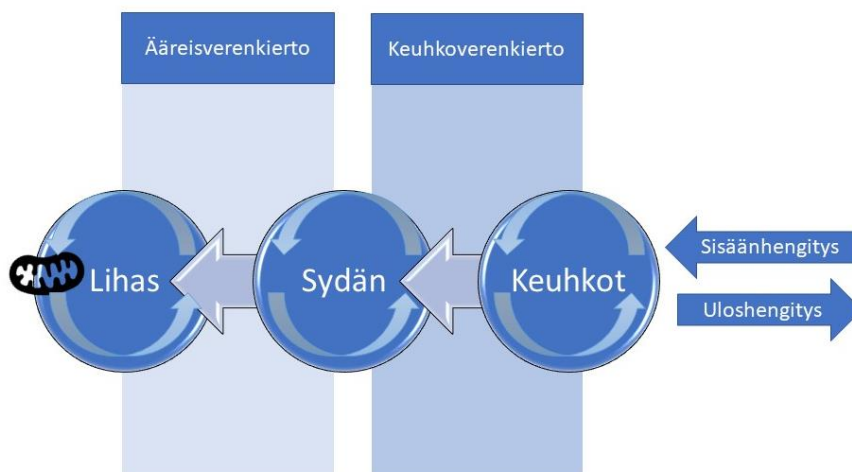
Alaraajojen kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tukena on käytetty eri menetelmiä, kuten kuvantamista (Magnetic Resonance Imaging, MRI), lihasaitiopaineen mittausta ja lähi-infrapunaspektroskopia (Near-infrared spectroscopy, NIRS) (Van den Brand ym. 2005). Mittausmenetelmistä lihasaitiopaineen mittausta on kritisoitu

mittauksen invasiivisuudesta ja kivun aiheuttamisesta (mm. Van den Brand ym. 2005). NIRS-mittausmenetelmä näyttäisi kuitenkin olevan yhtä luotettava ja herkkä kuin lihasaitiopaineen invasiivinen mittaus (Van Den Brand ym. 2005). Menetelmän non-invasiivisuus, kivuttomuus sekä viime vuosien tekninen kehittyminen ovat lisänneet mielenkiintoa sen soveltamisesta liikuntalääketieteen parissa (Perrey 2022; Perrey & Ferrari 2018). Tutkimuskirjallisuus NIRS:n hyödyntämisestä lihaksen happeutumisen mittaamisessa on kasvanut eksponentiaalisesti viimeisen parinkymmenen vuoden aikana (Pubmed 2022). NIRS:n hyödyntämistä kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnostiikassa on kuvattu kirjallisuudessa muun muassa seuraavissa lähteissä: Gustafsson ym. 2017; Mohler ym. 1997; Rennerfelt ym. 2016; Van Den Brand ym. 2005; Van Den Brand ym. 2004; Zhang ym. 2011.

Keski-Suomen sairaanhoitopiirissä Sairaala NOVA:ssa tehdään potilasryhmille säären eri lihasaitioiden happisaturaatiomuutoksien mittaamista diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tueksi kroonisissa lihasaitio-oireyhtymäepäilyissä. Mittauksissa käytetään lähi-infrapunaskopioa, jolla voidaan mitata happeutuneen ja happeutumattoman hemoglobiinin muutoksia kuormituksen aikana reaaliaikaisesti. Tämän tutkimuksen tavoitteena on tuottaa vertailuarvoja diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tueksi. Tutkimus tuottaa tietoa säären etumaisen lihasaition happeutuneen ja happeutumattoman hemoglobiinin muutoksista kävelykuormituksen aikana terveillä miehillä. Pohjelihaskudoksen happisaturaation muutoksia kuormituksen aikana terveillä henkilöillä on kuvattu kirjallisuudessa (Miranda ym. 2010). Tutkimus tuottaa uutta tietoa, sillä terveiden miesten säären etumaisen lihasaition hemodynaamisista muutoksista kuormituksen aikana ei tiedettävästi tähän päivään mennessä ole tehty tutkimuksia. Tutkimus on käytännön tasolla merkittävä, sillä tutkimuksen tuloksia voidaan hyödyntää Keski-Suomen sairaanhoitopiirissä Sairaala NOVA:ssa alaraajojen kroonisten lihasaitio-oireyhtymäepäilyjen diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tukena. Tutkimus tuottaa vertailuaineistoa terveiltä henkilöiltä, mikä helpottaa vaikeasti tulkittavien positiivisten löydösten tulkintaa.

## LIHASKUDOKSEN HAPPEUTUMINEN

Verenkiertoelimistöön kuuluvat keuhkot, sydän, lihakset ja mitokondriot, jotka luovat jatkumon keuhkotuuletuksesta soluhengitykseen; verenkiertoelimistö voidaan edelleen jakaa keuhkoverenkiertoon ja ääreisverenkiertoon (kuva 1). Fyysisen kuormituksen aikana lihaksen hapen tarve voi kasvaa 20–50-kertaiseksi lepotilaan nähden vastaamaan fyysisen kuormituksen kasvattamia vaatimuksia (Korthuis 2011, Luku 3). Lihaskudoksen happeutuminen tapahtuu lihasaition sisällä hapen siirtyessä mikroverenkierrosta lihaskudokseen. Tätä varten kohdealueella tulee olla riittävä verenkierto ja veren kemiallisten tekijöiden tulee mahdollistaa hapensiirto verestä kudokseen. (Pittman 2011, luku 2) Sydämellä on tärkeä rooli riittävän verenkierron takaamisessa (Wasserman ym. 2012, 41), jotta kohdekudokseen siirtyy tarpeeksi hapekasta verta. Hapen siirtymiseen verestä lihaskudoksen mitokondrioihin vaikuttavat kolme tekijää: verenkierto, diffuusio ja mitokondrion hapenkulutus (Korthuis 2011, luku 4). Tässä luvussa kuvataan lihasten verenkiertoelimistön anatomiaa, toimintaa ja lihaskudoksen happeutumista fyysisen kuormituksen aikana.



KUVA 1. Verenkiertoelimistön jatkumo kaasujenvaihdunnasta energia-aineenvaihduntaan (Mukailtu lähteestä Wasserman ym. 2012).



## 1.1 Lihasten verenkiertoelimistön anatomia ja toiminta

Verenkierron sisäänvirtaus lihaskudokseen tapahtuu suurista valtimoista pikkuvaltimoihin, joista veri ohjautuu lihassykimppujen mikroverenkiertoon. Pikkuvaltimot kulkevat lihaskalvopussin läpi kohtisuoraan lihassyitä päin ja lihaskalvopussin läpäistessään verenkierto ohjautuu lihassyiden mukaisesti sidekudostupissa kulkevaan mikroverenkiertoon. (Korthuis 2011, luku 2) Laskimoverenkierron rakenne on samankaltainen valtimoverenkierron kanssa, mutta laskimot nousevat pois päin lihassykimpuista kauempana lihasrungossa valtimoiden sisään tulopaikasta. Hapensiirto verestä lihaskudokseen tapahtuu valtimoiden ja laskimoiden välissä mikroverenkierrossa.

Verenkiertoon vaikuttavat pääasiallisesti painevaihtelut sekä verisuonten ympäröimä (Smith & Fernhall 2011, 103), johon liittyvät lihaspumpmekanismi, perfuusiopaine ja verisuonten vasodilataatio sekä vasokonstriktio. Lihasten rytmillisen supistelun vaikutusta verenkiertoon kutsutaan lihaspumpmekanismiksi, joka voi vaikuttaa jopa 60 % verentungokseen kudoksessa (Korthuis 2011, luku 4). Valtimosisäänvirtaus aktiivisessa lihaksessa vähenee lihaksen supistuessa ja lisääntyy lihaksen rentoutuessa, kun taas laskimoulosvirtaus lisääntyy lihaksen supistuessa ja vähenee lihaksen rentoutuessa. Tämä liittyy lihasten rytmillisistä supistuksista johtuviin verisuonten ulkopuolella tapahtuviin painevaihteluihin. (Korthuis 2011, luku 4) Verenkiertoon vaikuttaa myös perfuusiopaine, johon vaikuttavat sydämen työskentelyteho (*ulosvirtaus*) ja verisuonten luontainen vastus ylläpitää alkuperäinen muotonsa (*rekoili ominaisuus*) (Beachey 2007, 291). Perfuusiopaine lasketaan valtimo- ja laskimopaineen keskiarvojen erotuksella. Valtimopaineen keskiarvo kasvaa fyysisen kuormituksen aikana systolisen verenpaineen lisääntyessä, kun sydän alkaa pumpaamaan enemmän verta. Sydämen pumppaamisen lisääntymisen lisäksi verisuonten supistuminen ei-aktiivisissa kudoksissa (*sympaattinen vasokonstriktio*) auttaa ylläpitämään valtimopainetta (Smith & Fernhall 2011, 144). Lisäksi kohdekudoksen verisuonten laajeneminen (*vasodilataatio*) alentaa perifeeristä vastusta fyysisen kuormituksen aikana ohjaten verenkiertoa työskenteleviin lihaksiin (Smith & Fernhall 2011, 145). Seuraavassa luvussa tarkastellaan hapensiirron toteutumista verestä kudokseen.

## 1.2 Hapensiirto lihaskudokseen

Veressä olevasta hapesta 98 % on sitoutuneena hemoglobiineihin (Pittman 2011, luku 4.), jotka kuljettavat happimolekyylejä veressä. Happirikkaan veren päästessä kohdekudokseen happi siirtyy soluihin, mikäli olosuhteet hapen irtaantumiseen hemoglobiinista ovat suotuisat. Happiköyhä veri siirtyy puolestaan pois lihaskudoksesta laskimoverenkierron kautta. Lihakseen kuljetetusta verestä hapensiirto verestä lihaskudokseen on levossa 20–40 % ja raskaan fyysisen kuormituksen aikana 70–80 % (Korthuis 2011, luku 4), mihin vaikuttavat verenkierron määrä kudokseen ja hapenmäärä valtimoveressä. Hapensiirtoon vaikuttaa pääasiassa kohdekudoksen happiosapaine ( $PO_2$ ), jonka ylläpitäminen kriittisissä arvoissa verensiirron mahdollistamiseksi on verenkiertoelimistön pääasiallisia tehtäviä (Pittman 2011, Luku 7). Hapensiirtoon verestä kudokseen vaikuttavat myös kohdekudoksen PH-arvo, hiilidioksidiosapaineen ( $pCO_2$ ) pitoisuus, veren lämpötila sekä 2,3-bisfosfoglyseriinihappopitoisuus punasoluissa (Levitzky 2013, 162–163).

Kulkeutuessaan valtimoista mikroverenkiertoon veri altistuu alhaisemmalle happiosapaineelle ( $PO_2$ ), jolloin happi irtaantuu hemoglobiinista. Matala PH- arvo ja korkea hiilidioksidiosapaine ( $pCO_2$ ), veren korkea lämpötila sekä korkea 2,3-Bisfosfoglyseriinihappopitoisuus punasoluissa edistävät hapen irtaantumista hemoglobiinista (Levitzky 2013, 162–163). Verenkierron toimintaan vaikuttavat sentraaliset, lokaalit ja humoraaliset mekanismit, jotka kontrolloivat verenkiertoa vastaamaan hapenkulutusta ja tarvetta (Pittman 2011, luku 2). Hapenkulutus ja -tarve ( $VO_2$ ) lasketaan kaavalla  $VO_2 = Q \times ((A-V)O_2)$ ; missä  $Q$  = verenkierto ja  $((A-V)O_2)$  = valtimo-laskimohappikonsentraation erotus (Korthuis 2011, luku 4).

## **LIHASAITIO-OIREYHTYMÄ**

Lihassaitio-oireyhtymän syynä voi olla äkillinen vamma tai liiallinen rasitus (Säären lihasaitio-oireyhtymä: Terveyskirjasto 2022). Näiden perusteella oireyhtymä jaetaan akuutteihin ja kroonisiin lihasaitio-oireyhtymiin. Krooninen lihasaitio-oireyhtymä voi muodostua mihin tahansa lihakseen, jota ympäröi kalvopussi (Aweid ym. 2012). Teoriaosuus on rajattu kuvaamaan alaraajojen kroonista lihasaitio-oireyhtymää, joka on tämän pro gradu – tutkielman aiheena. Tässä luvussa kuvataan kroonisen lihasaitio-oireyhtymän oireita, esiintyvyyttä, syntymekanismeja, taudinkuvaa sekä riskitekijöitä, oireita ja hoitoa.

### **1.3 Krooninen lihasaitio-oireyhtymä**

Kroonista lihasaitio-oireyhtymää esiintyy yleisesti alaraajan pohje- ja sääriosissa, mutta sitä voi esiintyä myös reisissä, pitkissä selkälihaksissa, käsissä ja kyynärvarsissa (Bong ym. 2005; Velasco & Leggit 2020). Alaraajojen kroonista lihasaitio-oireyhtymää esiintyy etenkin liikunnallisesti aktiivisilla nuorilla henkilöillä ja sen oireisiin kuuluvat kuormituksen aikana esiintyvä voimakas kipu, jäykkyys, lihaskrampit, lihasheikkous, neurologiset oireet (Aweid ym. 2012; Bong ym. 2005; Velasco & Leggit 2020) sekä turvotus kohdealueella (Aweid ym. 2012).

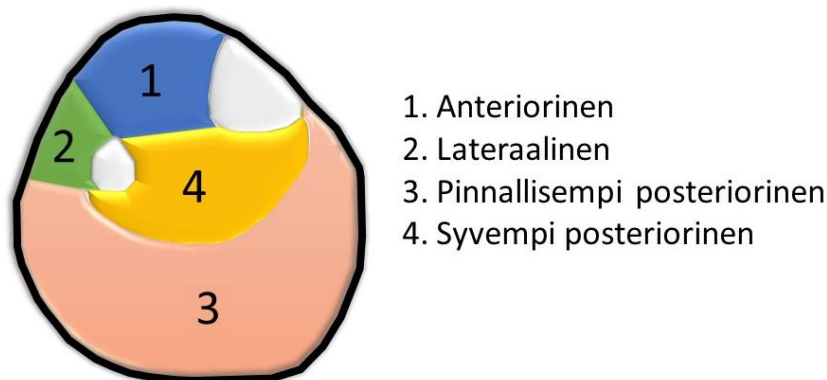
Kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyyden on arvioitu olevan 1 per 2000 henkilövuotta armeijahenkilöstöllä (Waterman ym. 2013), joista suurin osa tutkimuksista on tehty. Sen esiintyvyyden on arvioitu olevan 7,6–27 %. Orlin ym. (2016) tekemän kyselytutkimuksen mukaan kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyys on 7,6 % normaaliväestössä. Diagnoisoimattomissa alaraajakiputapauksissa Qvarfordt ym. (1983) totesivat kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyydeksi 14 %. Tutkimuksessa, jossa tutkittavilla oli kroonista etumaisen lihasaition kipua fyysisessä kuormituksessa, esiintyvyydeksi raportoitiin 27 % (Styf 1988, ks. myös Bong ym. 2005). Bruijn ym. (2020) toteavat, ettei tarkkaa kroonisen lihasaitio-oireyhtymän esiintyvyyttä tiedetä.

Konsensus kroonisen lihasaitio-oireyhtymän patofysiologiasta on, että se aiheutuu kohonneen lihasaitiopaineen aiheuttamasta riittämättömästä kudospesuudesta oirealueella. Tämä johtaa paikalliseen iskemiaan aiheuttaen kipua ja lihasten toimintahäiriötä. (Rennerfelt 2016; Van Den Brand 2004) Lisääntynyt tutkimustieto viittaa oireyhtymän patofysiologiaan liittyvän muitakin tekijöitä kuin hetkellisesti kohonnut lihasaitiopaine (Vogels ym. 2022). Lihaskalvojen jäykkyys

tai paksuus ei näyttäisi olevan selittävä tekijä krooniselle lihasaitio-oireyhtymälle (Dahl ym. 2011). Muita ehdotettuja oireyhtymän syntymekanismista ovat muun muassa verisuonten kompressio, mikrotrauma, myopatia, lihaskalvojen riittämätön komplianssi, hermojen toimintahäiriö tai lihasten hypertrofia, mutta tarkkaa tietoa oireyhtymän aiheuttajasta ei ole (Velasco & Leggit 2020). Riskitekijöinä krooniselle lihasaitio-oireyhtymälle ovat nuori ikä, miessukupuoli, oireiden bilateraalisuus, fyysisen aktiivisuuden lisääntyminen, armeijapalvelus ja tietyt urheilulajit (esim. juokseminen, luistelu) sekä aiemmat alaraajojen patologiat (Bruijn ym. 2020).

#### 1.4 Alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä

Sääri jaetaan neljään lihasaitioon: anterioriseen, lateraaliseen sekä pinnallisempaan ja syvempään posterioriseen aitioon (kuva 2). Kroonista lihasaitio-oireyhtymää esiintyy yleisimmin säären etumaisessa ja takimmaisessa lihasaitiossa, mutta näiden lisäksi oireilu on yleistä myös molemmissa jaloissa samanaikaisesti (Bong ym. 2005). Epäily kroonisesta lihasaitio-oireyhtymästä syntyy oireiden esiintyessä pelkästään fyysisessä kuormituksessa ja oireiden rajoittuessa kohdealueelle estäen meneillään olevan toiminnan jatkamista (Mohile ym. 2019).



KUVA 2. Säären lihasaitiot.

*Kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnosointi* on haasteellista, koska levossa se on oireeton (Zhang ym. 2011). Diagnoimisessa käytetään kliinistä oirekuvaa, fyysistä tutkimista, lihasaitiopaineen testausta sekä kuvantamista, kuten magneettikuvantamista (MRI), lähi-infrapunaspektroskopiaa (NIRS) ja shear wave -elastografiaa (SWE) (Velasco & Leggit 2020).

Vuonna 2022 Vogelsin ym. julkaisemassa delphi -analyysissä oli päädytty viiteen pääkriteeriin kroonisen lihasaitio-oireyhtymän diagnosoinnissa:

- Osallistuminen fyysiseen kuormitukseen, jossa tapahtuu toistuvaa aktivaatiota samalla lihasryhmällä
- Kipu fyysisen kuormituksen aikana
- Jäykkyyden tunne fyysisen kuormituksen aikana
- Tiettyjen aktiviteettien välttäminen tai keskeyttäminen kivun vuoksi
- Oireet voidaan tuoda esiin provosoivilla tai toistavalla kuormituksella

*Kroonisen lihasaitio-oireyhtymän hoitointerventioina* on käytetty kirurgisia ja konservatiivisia interventioita, joiden hoitotuloksista on kirjallisuudessa vaihtelevia tuloksia. Lisäksi konservatiivisista interventioista on julkaistu vain tapaus- tai tapaussarjatutkimuksia (Velasco & Leggit 2020). Konservatiivinen hoito on laajasti hyväksytty kroonisen lihasaitio-oireyhtymän ensisijaisena hoitomuotona, koska kirurgisen hoidon paremmuudesta suhteessa muihin hoitomuotoihin ei ole tarpeeksi näyttöä. Kirurgiset hoidot ovat osoittautuneet suhteellisen turvallisiksi. (Ding ym. 2020)

## **1.5 Yhteenveto lihasaitio-oireyhtymästä**

Krooninen lihasaitio-oireyhtymä voi aiheuttaa merkittävää haittaa työ- ja toimintakykyyn, mikäli se jää hoitamatta. Oireyhtymän syntymekanismin taustalla näyttäisi olevan muitakin tekijöitä, kuin kuormituksen aikainen kohonnut lihasaitiopaine. Diagnosointi on hankalaa, koska krooninen lihasaitio-oireyhtymä on levossa oireeton ja oireprovokaatiomekanismi vaihtelee yksilöittäin. Diagnostiikan apuna käytetään potilashistoriaa, kliinistä kuvaa, lihasaitiopaineen mittausta kuormituksen aikana ja kuvantamista. Hoitoina on käytetty konservatiivisia ja kirurgisia hoitointerventioita, joiden vaikutuksista on saatu vaihtelevia tuloksia.

## **NEAR-INFRARED SPECTROSCOPY (NIRS)**

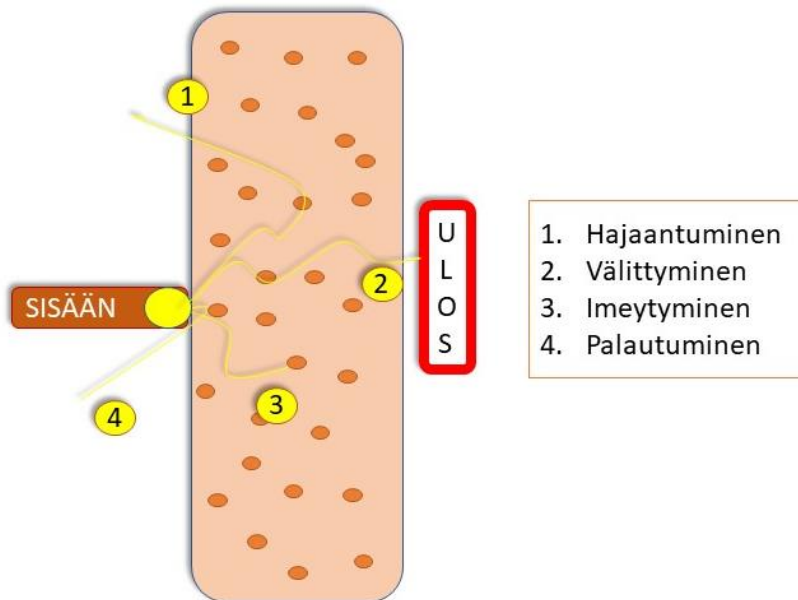
Near-infrared spectroscopy (NIRS) eli lähi-infrapunaspektroskopia on non-invasiivinen mittaussuunnitelma, jolla mitataan paikallisen kudoksen happeutumista. NIRS-mittaussuunnitelma mahdollistaa harjoittelun aikana tapahtuvien hemodynaamisten muutosten (happeutuneen hemoglobiinin, happeutumattoman hemoglobiinin, kokonaishemoglobiinin ja kudoksen happisaturaation) mittaamisen non-invasiivisesti (Perrey 2022). NIRS:n vahvuutena muihin mittaussuunnitelmiin nähden on laitteiden siirrettävyys ja lisääntynyt saatavuus. Lisäksi mittauksen non-invasiivisuus lisää sen käytettävyyttä eri ympäristöissä, mikä tekee NIRS:stä houkuttelevan mittaussuunnitelman eri aloilla hyödynnettäväksi.

Frans Jöbss kuvasi ensimmäisenä NIRS-mittaussuunnitelman käyttöä elävän kudoksen happeutumisen mittaamisessa (Jöbss 1977), jonka jälkeen suunnitelman hyödyntämistä on tutkittu laajemmin lihaskudoksen happeutumisessa lääketieteen ja urheilulääketieteen parissa (mm. Baltrunas ym. 2021; Cole ym. 2012; Cornelis ym. 2021; Perrey & Ferrari 2018). Tässä luvussa käydään läpi NIRS-mittaussuunnitelman toimintaperiaatetta, mittauksen luotettavuutta ja siihen vaikuttavia tekijöitä sekä suunnitelman hyödyntämistä lihaskudoksen happeutumisen mittaamisessa ja kroonisen lihasaitio-oireyhtymän tutkimisessa.

### **1.6 NIRS mittaussuunnitelmana**

NIRS-laite lähettää ja vastaanottaa lähi-infrapuna-aalloja. Lähi-infrapuna-aalloja välitetään kudokseen aallonpituuksilla 700-900nm, joka läpäisee kudosta tehokkaammin kuin näkyvä valo (Hamaoka ym. 2011). Lähetetystä lähi-infrapuna-aallosta 5 % hajaantuu kudokseen ja 95 % palautuu mittauslaitteeseen (Rennerfelt ym. 2016). Lähi-infrapuna-aallon käyttäytyminen kudoksessa on kuvattu kuvassa 3. Paikallisen kudoksen happisaturaatiota (TSI%) arvioidaan mittauslaitteeseen palautuvan lähi-infrapuna-aallon perusteella (Van Den Brand ym. 2005; Willingham & McCully 2017). Kudoksen happeutumisen laskemisessa käytetään modifioitua Beer-Lambert-lakia, joka ottaa huomioon lähi-infrapuna-aallon hajaantumisen ja absorboitumisen (Baker ym. 2014). Kromoforit hemoglobiini sekä myoglobiini, jotka kuljettavat happea veressä ja lihaskudoksessa, absorboivat valon eri aallonpituuksia happeutuneessa ja happeutumattomassa tilassa; happeutunut hemoglobiini absorboi enemmän aalloja 850nm aallonpituudella ja happeutumaton hemoglobiini 760nm aallonpituudella (Mohler ym. 1997). Hemoglobiinin sekä myoglobiinin valon aallonpituuksien absorboitumisen kirjo on

lähes yhdenmukaista (Hamaoka ym. 2011), mistä syystä niiden erottelua ei voida tehdä NIRS-mittausmenetelmällä.



KUVA 3. Lähi-infrapunavalon käyttäytyminen kudoksessa.

NIRS-mittausmenetelmän mittaussyvyyteen vaikuttaa valolähteen ja valovastaanottajan välinen etäisyys (mittaussyvyys on ~50 % antureiden etäisyys) (Hamako ym. 2011; Willingham & McCully 2017) eli NIRS:llä voidaan mitata pinnallisia rakenteita ottaen huomioon NIRS-mittauslaitteiden koko ja niiden käytettävyys kliinisessä ympäristössä.

Paikallisesti happimolekyylit irtoavat hemoglobiinista helpommin pH-tason alentuessa, kehonlämpötilan kasvaessa sekä valtimoveren hiilidioksidinosapaineen kasvaessa, kun taas pH-tason kasvaessa, kehonlämpötilan laskiessa sekä valtimoveren hiilidioksidinosapaineen (pCO<sub>2</sub>) alentuessa happimolekyylit ovat tiukemmin kiinni hemoglobiinissa (McNulty 2011). TSI% -arvoja tulkitessa tulee ottaa verenkierron heterogeenisyyden vaikutus kudoksen happeutumiseen huomioon, kuten verenkierto kohdekudokseen ja mitokondrion toiminta hapen hyödyntämisessä (McNulty 2011).

*NIRS-mittausmenetelmän luotettavuuteen* vaikuttavat eri tekijät. Ihonalainen rasvakudos absorboi lähi-infrapunavaloa (Jones ym. 2016; McNulty 2011). Ihon lämpötila vaikuttaa ihon

perfuusioon (Jones ym. 2016). Lähi-infrapunavalo läpäisee heikommin ihon tummempaa pigmenttiä (Jones ym. 2016; Van Den Brand 2005), jossa on suurempi melamiinitaso. NIRS on mittaussuomenetelmänä luotettava ja herkkä biomarkkeri alaraajojen paikallista happeutumista arvioitaessa (Perrey & Ferrari 2018).

## **1.7 NIRS ja alaraajan krooninen lihasaitio-oireyhtymä**

NIRS-mittausmenetelmän hyödyntämistä kudoksen happeutumisen tutkimisessa alaraajojen kroonisessa lihasaitio-oireyhtymässä on kuvattu kirjallisuudessa (mm. Gustafsson ym. 2017; Mohler ym. 1997; Rennerfelt ym. 2016; Van den Brand ym. 2004; Van den Brand ym. 2005; Zhang ym. 2011). Sitä on ehdotettu vaihtoehtoiseksi diagnosointimenetelmäksi invasiiviselle lihasaitiopaineen mittaukselle (Van den Brand ym. 2004). Van den Brand ym. (2005) totesivat NIRS-mittausmenetelmän olevan yhtä validi mittari sensitiivisyydeltään ja spesifisyydeltään lihasaitio-oireyhtymän diagnosoinnissa kuin invasiiviselle lihasaitiopaineen mittaukselle. He käyttivät mittausarvoina kävelykuormituksen aikana alinta kudoksen happisaturaatioarvoa (TSI%) sekä kuormituksen aikana alimman TSI% -arvon ja lähtötason TSI% -arvon erotusta.

Tutkimuksissa on havaittu, että fyysisen kuormituksen aikana kroonisessa lihasaitio-oireyhtymässä säären etumaisen lihasaition happisaturaation aleneminen on suurempaa verrattuna terveisiin verrokkeihin (Gustafsson ym. 2017; Mohler ym. 1997; Van den Brand ym. 2004) tai muuhun jalkakipuun (Mohler ym. 1997). Lisäksi oireyhtymässä kudoksen uudelleen happeutumisaika on pidempi (Van den Brand ym. 2004; Zhang ym. 2011) ja uudelleen happeutuminen on prosentuaalisesti alemmalla tasolla (Van den Brand ym. 2004). Gustafsson ym. (2017) havaitsivat kudoksen uudelleen happeutumisen olevan valtimo-okkluusion jälkeen hitaampaa kroonisessa lihasaitio-oireyhtymässä verrattuna terveisiin verrokkeihin. Myös Zhang ym. (2011) havaitsivat oireyhtymässä lihaskudoksen pidemmän uudelleenhappeutumisaikan, jonka he esittävät viittaavan paikalliseen kudosperefuusion häiriöön.

*Tutkimuksissa on käytetty eri kuormitusprotokollia.* Van Den Brand ym. (2004) käyttivät kävelyprotokollaa, jossa kuormitus tehtiin juoksumatolla kävellen 6,0 km/h nopeudella ja 5 asteen nousukulmalla vähintään 10 minuuttia tai kunnes oireprovokaatio ilmeni. Van Den Brand ym. (2005) käyttivät samaa kuormitusprotokollaa tutkimuksessa, mutta vauhtia lisättiin 8:aan km/h ja nousukulma 8 asteeseen, mikäli oireita ei esiintynyt ensimmäisen kuuden minuutin aikana. Gustafsson ym. (2017) käyttivät juoksuprotokollaa, jossa kuormitus aloitettiin



8 km/h nopeudella ja neljän minuutin jälkeen nopeutta lisättiin noin 10:een km/h ja nousukulma muutettiin 4 asteeseen, jossa jatkettiin juoksua oireprovokaatioon ja väsymykseen asti. Comerota ym. (2003) käyttivät kävelyprotokollassa kahden minuutin tasoja, jossa kävelykulma oli ensimmäisellä tasolla 0 % ja kulmaa nostettiin 2 % per taso eli viimeisellä tasolla nousukulma oli 14 %, ylläpitäen 2.0 mailin tuntivauhtia koko protokollan ajan. Mohler ym. (1997) käyttivät kuormitusprotokollana nilkan eristettyä dorsi- ja plantaarifleksiota. Rennerfelt ym. (2016) käyttivät kuormitusprotokollaa, jossa aluksi juostiin juoksumatolla, portaisa tai puistossa, jonka jälkeen tehtiin konsentrista ja eksentristä nilkan dorsifleksiota seisten oireprovokaatioon saakka. Zhang ym. (2011) käyttivät kuormitusprotokollana seisten tehtävää nilkan maksimaalista konsentrista dorsifleksiota joko väsymyksen tai oireprovokaatioon asti.

*Käytetyt m. tibialis anteriorin mittauspaiikat vaihtelevat kirjallisuudessa.* Van Den Brand ym. (2004) käyttivät mittauspaiikkana 10 cm distaalisesti tibialis tuberosiksesta ja 2 cm lateraalisesti sääriluun harjusta. Sekä Van Den Brand ym. (2005) että Mohler ym. (1997) käyttivät mittauspaiikkana säären etumaisen lihasaition ensimmäisen kolmanneksen keskikohtaa. Rennerfelt ym. (2016) ja Zhang ym. (2011) raportoivat kiinnittäneensä mittauslaitteen m. tibialis anteriorin keskelle. Gustafsson ym. (2017) raportoivat kiinnittäneensä mittauslaitteen ainoastaan m. tibialis anteriorin päälle ihoon lihassäikeiden suuntaisesti. Van Den Brand ym. (2004) kuvaaman mittauspaiikan heikkoutena on se, että mikäli mittavien sääriluut ovat eri pituiset, vaihtelee anatominen mittauspaiikka mitattavien välillä. Muiden (Comerota ym. 2003; Rennerfelt ym. 2016) kuvaamat mittauspaiikat ovat olleet säären etumaisen lihasaition ensimmäisen kolmanneksen keskikohta ja m. tibialis anteriorin keskikohta, jotka ovat anatomisesti samat.

Cole ym. (2012) kuvaavat lähi-infrapunaspektroskopiolla lihasaitio-oireyhtymän monitorointia käsittelevässä artikkelissaan säären etumaisen lihasaition mittauspaiikaksi proksimaalisen ja keskimmäisen kolmanneksen leikkauspisteen, aivan sääriluun reunan viereen anterolateraalisesti. Tämä mittauspaiikka on anatomisesti tarkka, sillä se on lihasrungon päällä ja selkeästi mitattavissa eri pituisilla henkilöillä. Mittauspaukka mahdollistaa mittaukset laajimmalta alueelta lihasrungosta (Cole ym. 2012), koska etumainen säärilihaksen lihasrunko sijoittuu ensimmäisen ja toisen kolmanneksen alueelle (Juneja & Hubbard 2022).

*Ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen vaikutus lähi-infrapuna spektroskopiaan on kuvattu kirjallisuudessa* (Niemeijer ym. 2017). Normaali vaihteluväli ihonalaisen rasvakudoksen

paksuudessa sukupuolittain on todettu olevan miehillä 0,3 ( $\pm 0,1$ ) cm ja naisilla 0,6 ( $\pm 0,1$ ) cm (Otsuki ym. 2015). Säären etumaisen kroonisen lihasaitio-oireyhtymän tutkimuksissa ainoastaan Rennerfelt ym. (2016) mittasivat tutkittavien ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuuden ennen lähi-infrapuna spektroskopia mittauksia. Gustafsson ym. (2017) mainitsevat pohdinnassaan ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuuden mittauksen olevan tärkeää, vaikkakaan he eivät mitanneet sitä tutkimuksessaan.

*Säären etumaisen lihasaition happisaturaation muutoksia kuormituksen aikana terveillä* on raportoitu tutkimuksissa, joissa kontrolliryhmä on ollut terveitä verrokkeja. Comerota ym. (2003) tutkimuksessa raportoitiin (n=35) TSI%:n olevan levossa 65 ( $\pm 19$ ) %, TSI% alimmillaan kuormituksen aikana mitatun arvon olevan 33 ( $\pm 25$ ) %. Gustafsson ym. (2017) (n=10) raportoivat tutkimuksessaan TSI%:n olevan levossa 76 ( $\pm 11$ ) % ja kuormituksen aikana alhaisimman TSI% olevan 34 ( $\pm 21$ ) %. Van Den Brand ym. (2004) raportoivat (n=16 jalkaa) TSI%:n olevan levossa 91 ( $\pm 5$ ) % ja kuormituksen aikana alimman TSI%:n olevan 56 ( $\pm 16$ ) %. Van Den Brand ym. (2004) tutkimuksessa tutkittavat olivat kaikki asepalveluksessa olevia nuoria miehiä. Tämä voi selittää suuremmat TSI% arvot suhteessa Gustafsson ym. (2017) ja Comerota ym. (2003) tuloksiin, joissa tutkittavat olivat miehiä ja naisia, selkeästi vanhempia ja siviilejä. Naisilla on havaittu olevan alemmat TSI% arvot suhteessa miehiin (Miranda ym. 2010).

## **1.8 Yhteenveto lähi-infrapunaspektroskopiasta (NIRS)**

NIRS-mittausmenetelmä on non-invasiivinen ja luotettava mittari, joka mittaa reaaliaikaisesti kudoksen hemodynaamisia muutoksia. Lähi-infrapunaspektroskopian käytettävyyteen vaikuttaa lukuisat eri tekijät, mutta sen käyttöominaisuudet ovat lisänneet mielenkiintoa sen soveltamiseen tutkimuksissa sekä kliinisissä toimintaympäristöissä. NIRS:n hyödyntämistä kroonisen lihasaitio-oireyhtymän tutkimisessa on kuvattu kattavasti kirjallisuudessa. Tutkimuksissa käytetyt tutkimusmenetelmät vaihtelevat, mikä vaikuttaa tutkimusten tulosten vertailuun.

## **TUTKIMUSAIHE**

Tutkimuksen aiheena oli selvittää säären etumaisen lihasaitiokudoksen hemodynaamisia muutoksia terveillä miehillä kävelykuormituksen aikana NIRS-mittausmenetelmällä mitattuna. Tutkimusaihe saatiin Sairaala NOVA:lta, jossa alaraajojen lihasaitiokudoksen hemodynaamisten muutosten mittauksia käytetään diagnostiikan ja hoidonsuunnittelun tukena muun muassa kroonisissa lihasaitio-oireyhtymä epäilyissä.

Tutkimuskysymys: millaisia hemodynaamisia muutoksia havaitaan säären etumaisessa lihasaitiokudoksessa terveillä miehillä kävelykuormituksen aikana eri ikäluokissa?

## TUTKIMUSMENETELMÄT

*Tutkimusasetelmana* oli havainnoiva tutkimus. Ensisijaisina vastemuuttujina olivat kokonaishemoglobiini (tHb), happeutunut hemoglobiini (O<sub>2</sub>Hb), happeutumaton hemoglobiini (HHb) ja kudoksen happisaturaatioindeksi (TSI%). Aineistonkeruu toteutettiin Sairaala NOVA:n fysiatrian poliklinikan tiloissa, joissa on NIRS-mittauslaitteisto. Aineisto kerättiin 6.10.2022-18.11.2022 välisenä aikana.

*Tutkittaviksi* pyrittiin rekrytoimaan yhteensä 15 miestä kolmesta ikäluokasta: nuoret (20–30-vuotiaat), keski-ikäiset (50–60-vuotiaat) ja seniorit (80–99-vuotiaat). Jokaiseen ikäluokkaryhmään pyrittiin rekrytoimaan viisi tutkittavaa. Heillä ei saanut olla suoritusta rajoittavia kardiorespiratorisia tai tuki- ja liikuntaelimestön sairauksia. Tutkittavien rekrytointi tehtiin sosiaalisen median, Jyväskylän korkeakoulujen, Jyväskylän seudun liikuntapaikkojen ja liikuntaseurojen, yhdistysten ja vanhusten hoitopaikkojen kautta.

*Sisäänottokriteereinä* tutkimukseen olivat ikäluokkaryhmään kuuluminen, tupakoimattomuus sekä kyky ymmärtää puhuttua ja kirjoitettua suomen kieltä. Lisäksi tutkittavien tuli olla terveitä ilman suoritusta rajoittavia sairauksia. Tutkittavien tuli olla sukupuoleltaan miehiä, joilla oli vaalea ihon pigmentti. Tumma ihon pigmentti heikentää lähi-infrapunon läpäisyä ja mahdollinen paksu ihonalainen rasvakerros, joka on naisilla yleisempää, lisää lähi-infrapunavalon imeytymistä kudokseen heikentäen mittauksen luotettavuutta.

*Poissulkukriteereinä* olivat ikäluokkaryhmään kuulumattomuus, naissukupuoli, kyvyttömyys ymmärtää puhuttua ja kirjoitettua suomen kieltä, suoritusta haittaavat sairaudet, liikunnallinen inaktiivisuus, historia alaraajojen lihasaitio-oireyhtymä oireilusta sekä tumma ihon pigmentti, arvet, tatuoinnit ja syntymämerkit mittausalueella. Mittausalueella ei saanut olla arpia, tatuointeja tai syntymämerkkejä, koska ne heikentävät lähi-infrapunavalon läpäisyä.

Tutkittavien potilastietoja ei selvitetty, koska tutkittavat olivat terveitä vapaaehtoisia. Esitietokyselylomakkeessa kysyttiin mahdollisista aiemmista sairauksista, minkä avulla varmistettiin tutkittavien terveydentilan olleen tutkimukseen osallistumiseen soveltuva. Tutkimukseen osallistuvista henkilöistä kerättiin henkilötietoja kyselylomakkeella (liite 1), joka mukailee soveltuvin osin Sairaala NOVA:n fysiatrian kyselylomaketta. Kyselylomakkeessa tutkittavilta kerättiin terveydentilaan ja liikuntatottumuksiin liittyviä

tietoja, kuten: henkilön pituus, paino, allergiat, leikkaus- ja vammahistoria, sairaudet, lääkitys, tupakointi, alkoholin käyttö, liikuntamäärät sekä liikuntakertojen rasittavuudet ja kestot. Aineiston keruusta ja käsittelystä tehtiin aineistohallintasuunnitelma, jota noudatettiin aineiston keruun sekä käsittelyn aikana.

## 1.9 Mittauksen tekninen toteutus

Aineistonkeruussa käytettiin PortaMon (Artinis medical systems, Elst, [www.artinis.com](http://www.artinis.com)) NIRS-laitetta (kuva 4). NIRS-mittauslaite asetettiin etumaisen lihasaition proksimaalisen ja keskimmäisen kolmanneksen leikkauspisteeseen aivan sääriluun reunan viereen anterolateraalisesti (Cole ym. 2012). NIRS-mittauslaite kiinnitettiin elastisilla remmeillä peittäen mittauslaite. Laitteen kiinnitys tuettiin kinesioiteipillä sulkemaan mahdolliset aukot, jotta valon pääsy mittauslaitteeseen saatiin estettyä ja mittauslaitteen pysyminen paikoillaan kuormituksen aikana varmistettua.

Ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuutta mitattiin Venue 40 - ultraäänilaitteella (GE Healthcare, Saksa – ohjelmistoversio R3.0.8) käyttäen GE 12 L-SC lineaarista äänipäätä (bandwidth 4-13Mhz, footprint 12,7 x 47,1 mm). Ihonalaisen rasvakudoksen paksuus mitattiin Otsuki ym. (2015) kuvaamalla tavalla, mittaamalla ihon pinnan ja lihaksen uloimman aponeuroosin välinen etäisyys.



KUVA 4. NIRS-mittauslaite (PortaMon, Artinis medical systems).

## **1.10 Mittausmenetelmä**

Mittauksissa käytettiin Sairaala NOVA:ssa käytettyä kävelyprotokollaa, jossa kuormitusta jatkettiin väsymykseen tai protokollan loppuun saakka. Kävelyprotokollassa kuormitus kesti 18 minuuttia ja koko mittaus 26 minuuttia. Tutkittava asetui selinmakuulle, jolloin ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen mittauksen jälkeen molempiin alaraajoihin kiinnitettiin NIRS-mittauslaitteet edellä kuvatuin menetelmin. Mittauslaitteiden kiinnittämisen jälkeen tutkittava makasi paikoillaan kaksi minuuttia, jonka jälkeen hän nousi seisomaan kahdeksi minuutiksi. Kahden minuutin seisomisen jälkeen tutkittava siirtyi juoksumatolle, jossa kuormitus alkoi kahden minuutin lämmittelyllä 3,0 km/h kävelynopeudella, jonka jälkeen kuormitusta kasvatettiin kahden minuutin välein lisäämällä nopeutta tai nousukulmaa: ensimmäinen kuormitustaso oli 4 km/h ja 0 astetta nousua, toinen 4,5 km/h ja 0 astetta nousua, kolmas 5 km/h ja 0 astetta nousua, neljäs 5,5 km/h 0 astetta nousua, viides 6 km/h 0 astetta nousua, kuudes 6 km/h ja 1 astetta nousua, seitsemäs 6 km/h ja 2 astetta nousua sekä kahdeksas kuormitustaso oli 6 km/h ja 3 astetta nousua. Jokaisen kuormitustason lopussa tutkittavilta kysyttiin subjektiivista uupumisen tuntemusta Borg-mittarilla ja kipua VAS-mittarilla. Kuormituksen jälkeen tutkittava siirtyi seisomaan kahdeksi minuutiksi, jonka jälkeen hän siirtyi makuuasentoon kahdeksi minuutiksi.

## **1.11 Tutkimuksen eettisyys**

Tutkimukselle saatiin Jyväskylän yliopiston ihmistieteiden eettisen toimikunnan puoltava lausunto sekä Keski-Suomen sairaanhoitopiirin tutkimuslupa opinnäytetyötutkimukseen. Aineistonhallintaan tehtiin erillinen aineistonhallintasuunnitelma ja tutkittavat pseudonymisoitiin tutkimuksen alussa. Tutkimuksessa noudatettiin kokonaisuudessaan hyvää tieteellistä käytäntöä ja eettisiä periaatteita (Tutkimuseettinen neuvottelukunta 2012).

## **1.12 Tilastolliset menetelmät**

Raakadata siirrettiin aineiston keruun jälkeen analysoitavaksi Microsoft Excel -ohjelmaan, josta aineisto siirrettiin SPSS-ohjelmaan analysointia varten. Aineiston analyysi tehtiin IBM SPSS Statistics versio 28.0.0.0(190) - ohjelmistolla. Analyysiin otettiin mukaan kolme ensimmäistä kuormitustasoa ja kolme viimeistä kuormitustasoa, joka on Sairaala NOVA:ssa käytetty raportointitapa. Yhden tutkittavan toisen alaraajan mittausaineisto menetettiin teknisten

ongelmien vuoksi, jonka vuoksi senioreiden ryhmästä puuttuu yksi raaja hemodynaamisten muutosten osalta. Tulokset raportoitiin kaikkien raajojen keskiarvoina ja keskihajontoina, jotta puuttuva data näkyy tuloksissa.

Lisäksi tutkittiin, onko ryhmien sisällä mittauspisteiden välillä ja onko ryhmien välillä eri mittauspisteissä tilastollisesti merkitsevää eroa. Aineiston pienen koon vuoksi tilastollisissa analyyseissä käytettiin non-parametrisiä testejä, jotka eivät oleta normaalia jakautuvuutta. Osa aineistosta ei ollut normaalisti jakautunutta (huipukkuus  $> |2|$ , Shapiro-Wilk  $< 0,05$ ). *Ryhmien sisäisen eron* mittauspisteiden välillä tilastolliseen analyysiin käytettiin Friedmanin testiä mittausten ollessa toisistaan riippuvaisia ja havaintoja ollessa useammalta mittauskerralta.  $H_0$ -Hypoteesiksi asetettiin, ettei mittauspisteiden välillä ole tilastollisesti merkitsevää eroa. Analyyseissä käytettiin 5 % luottamustasoa ( $p=0,05$ ) ja parittaisissa vertailuissa käytettiin Bonferroni-korjattuja p-arvoja. *Ryhmien välistä eroa* mittauspisteiden välillä tilastolliseen analyysiin käytettiin Kruskal-Wallis testin testiä ryhmien ollessa toisistaan riippumattomia.  $H_0$ -Hypoteesiksi asetettiin, ettei ryhmien välillä ollut tilastollisesti merkitsevää eroa eri mittauspisteissä. Analyyseissä käytettiin 5 % luottamustasoa ( $p=0,05$ ) ja parittaisissa vertailuissa käytettiin Bonferroni-korjattuja p-arvoja.

*Nota bene: Beasley on esitellyt kolmessa artikkelissa järjestyslukuihin perustuvaa analyysimenetelmää ryhmävertailuille toistomittauksissa (aligned-rank Friedman test), joka on tässä tapauksessa sopiva testimenetelmä (Beasley 2000; Beasley & Zumbo 2002; Beasley & Zumbo 2003). Menetelmä on epäparametrinen versio toistomittausten varianssianalyysille, jossa tarkastellaan nimenomaan muutoksia ryhmien välillä seurantamittauksissa. Artikkelia kirjoitettaessa tullaan käyttämään tätä lähestymistapaa. Lisäksi otetaan huomioon monitestaushaaste, koska ryhmiä on kolme ja mittapisteitä 6. Monitestausta otetaan artikkelissa huomioon joko monitestauskorjauksella tai kiristämällä alfaa alemmas 0,05 tasosta.*

## TULOKSET

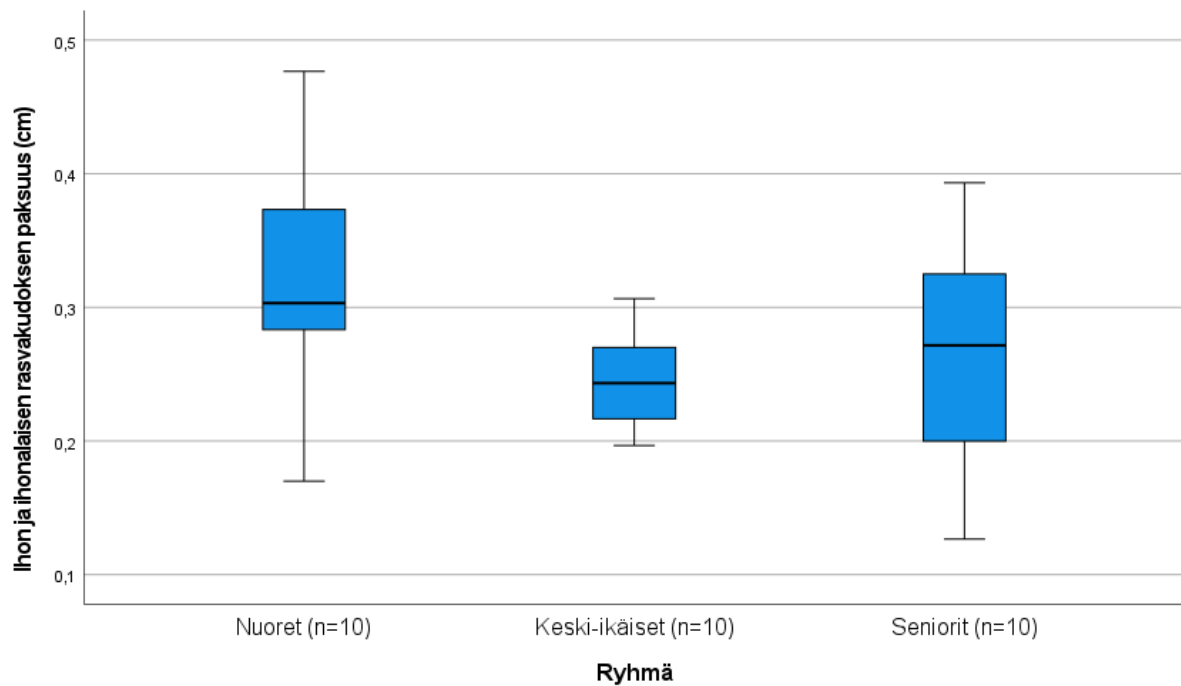
Tutkimukseen osallistui yhteensä 15 tutkittavaa, viisi jokaiseen ikäryhmään. Tutkittavien keski-ikä oli nuorissa 27 vuotta, keski-ikäisissä 55 vuotta ja senioreissa 83 vuotta. BMI:n keskiarvo oli nuorissa 26,8, keski-ikäisissä 26,0 ja senioreissa 27,8. Jokaisen ikäryhmän liikunnallisuuden keskiarvo kuului Kasari FIT-indeksin neliportaisen luokituksen toiseksi suurimman fyysisen aktiivisuuden luokkaan (37–64 pistettä). Fyysisessä aktiivisuudessa oli tilastollisesti merkitsevä ero senioreiden ja nuorten ( $p=0,04$ ) sekä senioreiden ja keski-ikäisten ( $p=0,02$ ) välillä. Eri ikäryhmien demografiset tiedot on kuvattu taulukossa 1. Ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuudet esitetään kuvassa 5.

TAULUKKO 1. Tutkittavien demografiset tiedot (Suluissa keskihajonta eli SD).

Taustamuuttuja	Nuoret n=5	Keski-ikäiset n=5	Seniorit n=5
	Ka (SD)	Ka (SD)	Ka (SD)
Ikä (vuotta)	26,8 (2,9)	54,4 (3,1)	83,0 (4,4)
Pituus (cm)	177,1 (53,5)	179,8 (8,2)	172,6 (3,7)
Paino (kg)	83,8 (5,5)	84,1 (20,5)	82,4 (10,7)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	26,8 (2,5)	26,0 (5,6)	27,8 (4,6)
Liikunnallisuus (Kasari FIT -indeksi)	59,2 (6,2)	63,2 (27,5)	39,4 (19,4)

Nuorissa ja keski-ikäisissä kaikki tutkittavat sekä senioreissa kaksi tutkittavaa suorittivat koko kävelyprokollan. Senioreissa kolme tutkittavaa keskeyttivät kävelyprotokollan väsymykseen takia (kuormitustasoilla 5 km/h, 5,5 km/h ja 6 km/h). Koettu kuormitus Borgin asteikolla (6–20) viimeisellä kuormitustasolla oli nuorissa 10,4 ( $\pm 0,5$ ), keski-ikäisissä 11,2 ( $\pm 3,2$ ) ja senioreissa 16,1 ( $\pm 3,6$ ). Ikäryhmissä raajojen välillä hemodynaamisissa muutoksissa kuormituksen aikana ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa ( $p > 0,05$ ).



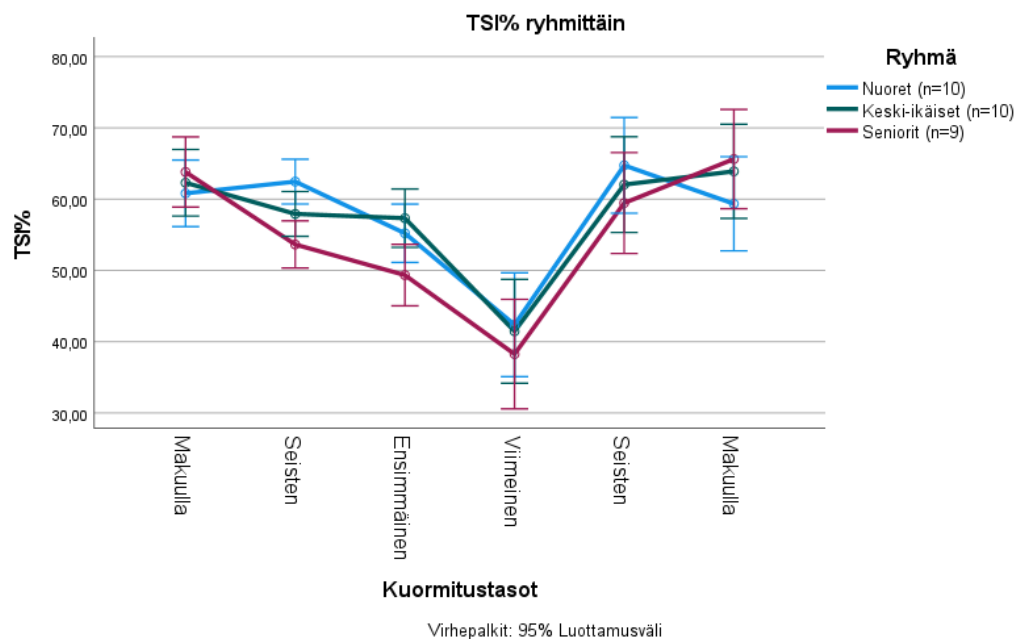


KUVA 5. Ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuus (cm) ryhmittäin (nuoret ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, keski-ikäiset ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, seniorit ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10). Virhepalkit: 95 % luottamusväli.

TSI%:n keskiarvot olivat nuorissa (n=10) ennen kuormitusta makuulla 60,8 ( $\pm 11,1$ ) %, seisten 62,5 ( $\pm 2,3$ ) %, ensimmäisellä kuormitustasolla 55,2 ( $\pm 8,6$ ) % ja viimeisellä kuormitustasolla 42,4 ( $\pm 9,6$ ) % sekä kuormituksen jälkeen seisten 64,8 ( $\pm 9,2$ ) % ja makuulla 59,4 ( $\pm 16,3$ ) %.

TSI%:n keskiarvot olivat keski-ikäisissä (n=10) ennen kuormitusta makuulla 62,3 ( $\pm 4,2$ ) %, seisten 57,9 ( $\pm 5,9$ ) %, ensimmäisellä kuormitustasolla 57,3 ( $\pm 4,3$ ) % ja alimmillaan 41,7 ( $\pm 10,0$ ) %, sekä kuormituksen jälkeen seisten 62,1 ( $\pm 10,4$ ) % ja makuulla 63,9 ( $\pm 4,3$ ) %.

TSI%:n keskiarvot olivat senioreissa (n=9) ennen kuormitusta makuulla 63,8 ( $\pm 3,1$ ) %, seisten 53,7 ( $\pm 5,5$ ) %, ensimmäisellä kuormitustasolla 49,4 ( $\pm 5,1$ ) % ja alimmillaan 38,3 ( $\pm 13,9$ ) %, sekä kuormituksen jälkeen seisten 59,5 ( $\pm 11,5$ ) % ja makuulla 65,6 ( $\pm 4,0$ ) %.



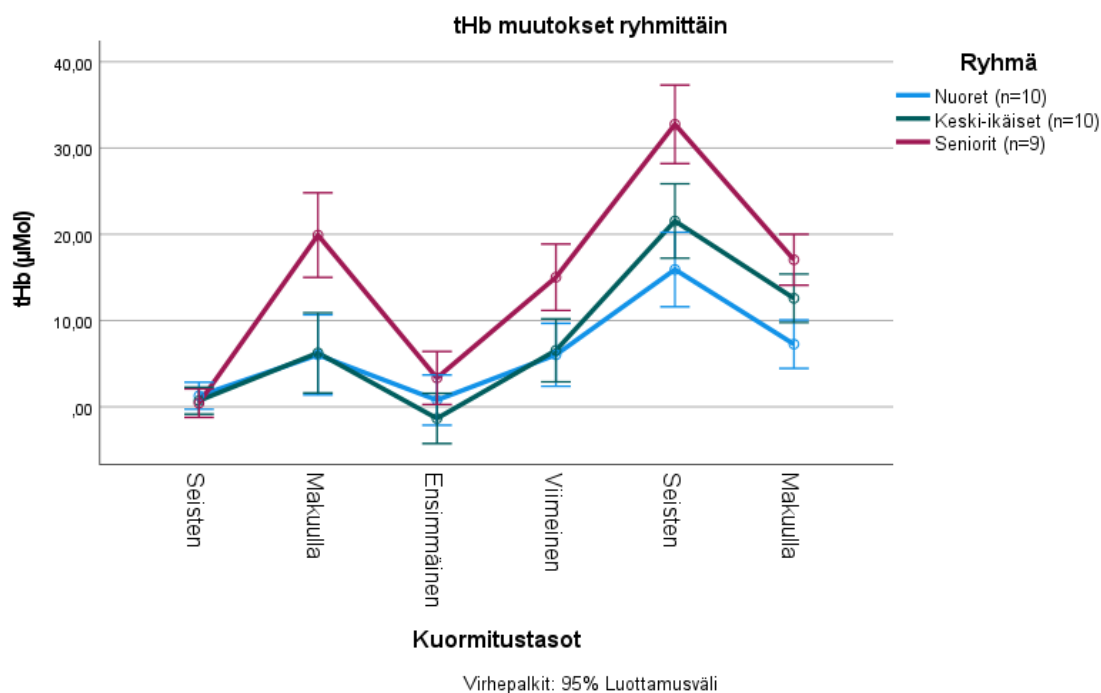
KUVA 6. Kudoksen happisaturaatioindeksi (TSI%) ryhmittäin (nuoret ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, keski-ikäiset ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, seniorit ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=9).

Friedmanin testin päätulos oli kaikissa ryhmissä tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,01$ ). Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa oli tilastollisesti merkitsevä ero, on kuvattu taulukossa 2. Kruskal-Wallis testin perusteella TSI% arvoissa voidaan todeta ryhmien välillä olevan tilastollisesti merkitsevä ero seisten ennen kuormitusta ( $p < 0,01$ ) ja ensimmäisellä kuormitustasolla ( $p = 0,02$ ). Ryhmiä pareittain verrattaessa seisten ennen kuormitusta tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin nuorten ja senioreiden ( $p < 0,01$ ) sekä ensimmäisellä kuormitustasolla keski-ikäisten ja senioreiden ( $p = 0,03$ ) välillä.

TAULUKKO 2. Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa tilastollisesti merkitsevä ero kudoksen happisaturaatioindeksissä (TSI%). Muissa kuormitustasoissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevää. Kuormitustasot: makuulla (ennen), seisten (ennen), ensimmäinen kuormitustaso, viimeinen kuormitustaso, seisten (jälkeen) ja makuulla (jälkeen).

TSI%	Nuoret	Keski-ikäiset	Seniorit
Kuormitustasot	p-arvo	p-arvo	p-arvo
Viimeinen kuormitustaso -1. kuormitustaso	0,07	0,47	1,00
Viimeinen kuormitustaso - seisten (ennen)	<b>0,01</b>	0,25	0,25
Viimeinen kuormitustaso - seisten (jälkeen)	<b>0,01</b>	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>
Viimeinen kuormitustaso - makuulla (ennen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Viimeinen kuormitustaso - makuulla (jälkeen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1. kuormitustaso - makuulla (ennen)	0,84	0,18	<b>0,03</b>
1. kuormitustaso - makuulla (jälkeen)	<b>0,09</b>	0,18	0,00

tHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat nuorissa (n=10) ennen kuormitusta makuulla 1,3 ( $\pm 2,1$ ), seisten 6,0 ( $\pm 3,6$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla 0,8 ( $\pm 3,7$ ) ja viimeisellä kuormitustasolla 6,0 ( $\pm 4,2$ ), sekä kuormituksen jälkeen seisten 15,9 ( $\pm 4,6$ ) ja makuulla 7,3 ( $\pm 4,5$ ). tHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat keski-ikäisissä (n=10) ennen kuormitusta makuulla 0,7 ( $\pm 3,0$ ), seisten 6,3 ( $\pm 5,6$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla -1,3 ( $\pm 3,9$ ) ja alimmillaan 6,6 ( $\pm 3,6$ ) sekä kuormituksen jälkeen seisten 21,6 ( $\pm 5,1$ ) ja makuulla 12,6 ( $\pm 4,1$ ). tHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat senioreissa (n=9) ennen kuormitusta makuulla 0,4 ( $\pm 1,9$ ), seisten 19,9 ( $\pm 10,8$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla 3,4 ( $\pm 5,8$ ) ja alimmillaan 15,0 ( $\pm 8,3$ ) sekä kuormituksen jälkeen seisten 32,8 ( $\pm 9,5$ ) ja makuulla 17,1 ( $\pm 4,3$ ). tHb:n suhteelliset muutokset ryhmittäin eri kuormitustasoissa on kuvattu kuvassa 7.



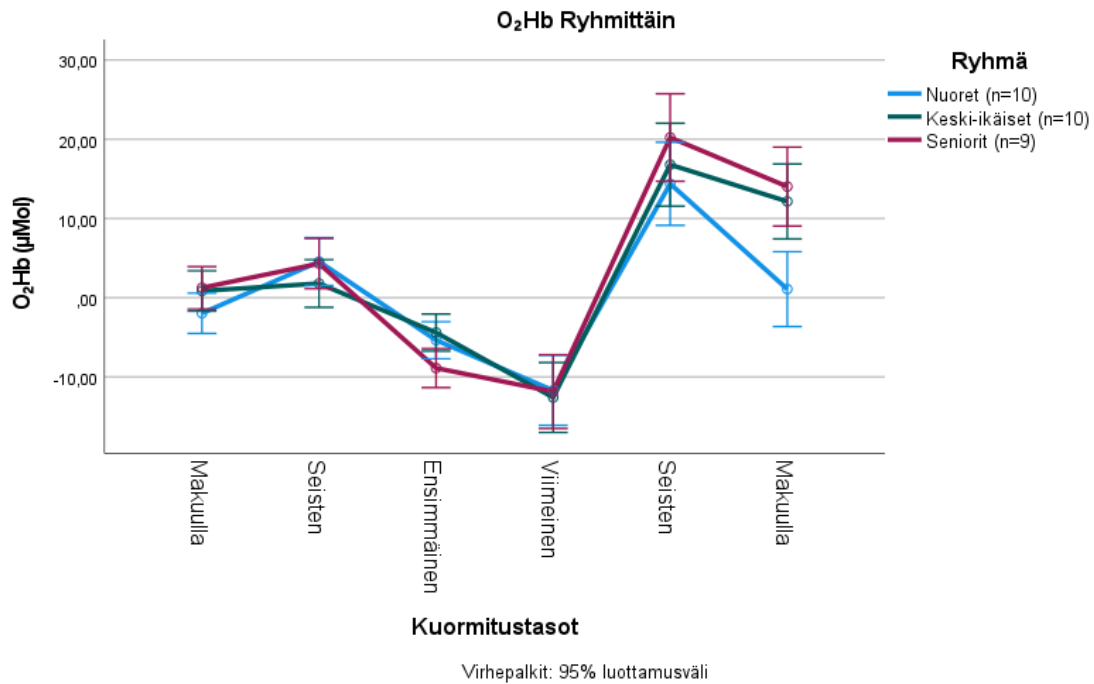
KUVA 7. Kokonaishemoglobiinin (tHb) suhteelliset muutokset ryhmittäin (nuoret ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, keski-ikäiset ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, seniorit ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=9).

Friedmanin testin päätulos oli kaikissa ryhmissä tilastollisesti merkitsevä ( $p < 0,01$ ). Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa oli tilastollisesti merkitsevä ero, on kuvattu taulukossa 3. Kruskal-Wallis testin perusteella voidaan todeta ryhmien välillä olevan tilastollisesti merkitsevä ero seisten ennen kuormitusta ( $p < 0,01$ ), viimeisellä kuormitustasolla ( $p = 0,01$ ), kuormituksen jälkeen seisten ( $p < 0,01$ ), ja makuulla ( $p < 0,01$ ). Ryhmiä pareittain verrattaessa tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin seisten ennen kuormitusta nuorten ja senioreiden ( $p < 0,01$ ) sekä keski-ikäisten ja senioreiden ( $p < 0,01$ ) välillä, viimeisellä kuormitustasolla nuorten ja senioreiden ( $p = 0,02$ ) sekä keski-ikäisten ja senioreiden ( $p = 0,02$ ) välillä, kuormituksen jälkeen seisten ryhmien nuorten ja senioreiden ( $p = 0,00$ ) ja makuulla ryhmien nuorten ja senioreiden ( $p = 0,00$ ) välillä.

TAULUKKO 3. Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa tilastollisesti merkitsevä ero kokonahemoglobiinin (tHb) suhteellisissa muutoksissa. Muissa kuormitustasoissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuormitustasot: makuulla (ennen), seisten (ennen), ensimmäinen kuormitustaso, viimeinen kuormitustaso, seisten (jälkeen) ja makuulla (jälkeen).

tHb	Nuoret	Keski-ikäiset	Seniorit
Kuormitustasot	p-arvo	p-arvo	p-arvo
Makuulla (ennen) - makuulla (jälkeen)	0,13	0,18	<b>0,04</b>
Makuulla (ennen) - seisten (ennen)	<b>0,02</b>	<b>0,00</b>	<b>0,03</b>
Makuulla (ennen) - seisten (jälkeen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1. kuormitustaso - seisten (ennen)	<b>0,03</b>	<b>0,01</b>	0,08
1. kuormitustaso - seisten (jälkeen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Viimeinen kuormitustaso - seisten (jälkeen)	0,06	<b>0,02</b>	0,25
Makuulla (jälkeen) - seisten (jälkeen)	0,13	<b>0,04</b>	0,35

O<sub>2</sub>Hb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat nuorissa (n=10) ennen kuormitusta makuulla -2,0 (±5,9), seisten 4,6 (±6,1), ensimmäisellä kuormitustasolla -5,4 (±3,9) ja viimeisellä kuormitustasolla -11,7 (±32,0) sekä kuormituksen jälkeen seisten 14,4 (±6,0) ja makuulla 1,1 (±11,2). O<sub>2</sub>Hb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat keski-ikäisissä (n=10) ennen kuormitusta makuulla 0,9 (±2,6), seisten 1,8 (±4,2), ensimmäisellä kuormitustasolla -4,4 (±2,5) ja alimmillaan -12,6 (±6,6) sekä kuormituksen jälkeen seisten 16,8 (±10,0) ja makuulla 12,2 (±4,4). O<sub>2</sub>Hb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat senioreissa (n=9) ennen kuormitusta makuulla 1,3 (±1,7), seisten 4,3 (±2,9), ensimmäisellä kuormitustasolla -8,9 (±4,2) ja alimmillaan -11,9 (±8,1) sekä kuormituksen jälkeen seisten 20,2 (±7,6) ja makuulla 14,0 (±3,2). O<sub>2</sub>Hb:n suhteelliset muutokset ryhmittäin eri kuormitustasoissa on kuvattu kuvassa 8.



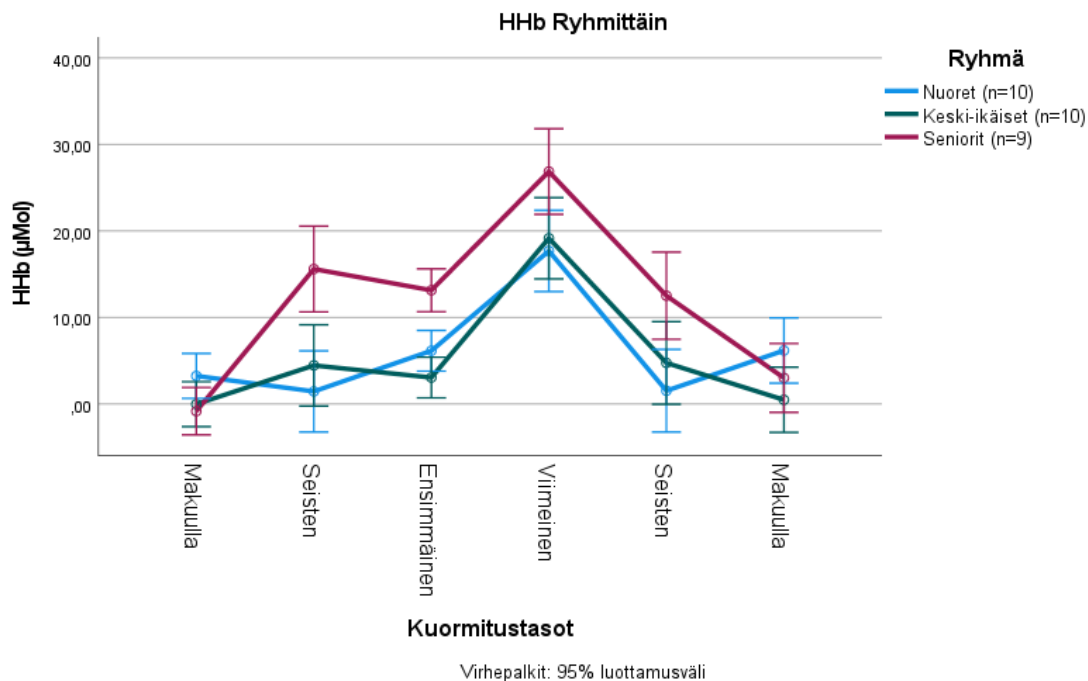
KUVA 8. Happeutuneen hemoglobiinin (O<sub>2</sub>Hb) suhteelliset muutokset ryhmittäin (nuoret ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, keski-ikäiset ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, seniorit ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=9).

Friedmanin testin päätuloksen perusteella voidaan todeta, että kaikissa ryhmissä O<sub>2</sub>Hb suhteellisissa muutoksissa oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $p < 0,01$ ) mittauspisteiden välillä. Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa oli tilastollisesti merkitsevä ero, on kuvattu taulukossa 4. Kruskal-Wallis testin perusteella voidaan todeta ryhmien välillä olevan tilastollisesti merkitsevä ero O<sub>2</sub>Hb suhteellisissa muutoksissa ensimmäisellä kuormitustasolla ( $p = 0,03$ ) ja makuulla kuormituksen jälkeen ( $p < 0,01$ ). Ryhmiä pareittain verrattaessa tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin 1. kuormitustasolla keski-ikäisten ja senioreiden ( $p = 0,03$ ) välillä sekä makuulla kuormituksen jälkeen nuorten ja senioreiden ( $p < 0,01$ ).

TAULUKKO 4. Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa tilastollisesti merkitsevä ero happeutuneen hemoglobiinin (O<sub>2</sub>Hb) suhteellisissa muutoksissa. Muissa kuormitustasoissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuormitustasot: makuulla (ennen), seisten (ennen), ensimmäinen kuormitustaso, viimeinen kuormitustaso, seisten (jälkeen) ja makuulla (jälkeen).

O <sub>2</sub> Hb	Nuoret	Keski-ikäiset	Seniorit
Kuormitustasot	p-arvo	p-arvo	p-arvo
Viimeinen kuormitustaso – seisten (ennen)	<b>0,04</b>	0,09	0,06
Viimeinen kuormitustaso – makuulla (jälkeen)	<b>0,01</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Viimeinen kuormitustaso – seisten (jälkeen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1. kuormitustaso – makuulla (jälkeen)	0,25	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1. kuormitustaso – seisten (jälkeen)	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Makuulla (ennen) – seisten (jälkeen)	<b>0,01</b>	0,09	<b>0,03</b>

HHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat nuorissa (n=10) ennen kuormitusta makuulla 3,3 ( $\pm 6,3$ ), seisten 1,5 ( $\pm 6,9$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla 6,2 ( $\pm 4,0$ ) ja viimeisellä kuormitustasolla 17,7 ( $\pm 4,7$ ). Kuormituksen jälkeen seisten 1,5 ( $\pm 6,1$ ) ja makuulla 6,2 ( $\pm 8,6$ ). HHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat keski-ikäisissä (n=10) ennen kuormitusta makuulla 0,0 ( $\pm 2,3$ ), seisten 4,5 ( $\pm 5,7$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla 3,1 ( $\pm 3,1$ ) ja alimmillaan 19,2 ( $\pm 7,1$ ) sekä kuormituksen jälkeen seisten 4,8 ( $\pm 9,2$ ) ja makuulla 0,5 ( $\pm 4,3$ ). HHb:n suhteellisten muutosten keskiarvot kuormitustasoittain olivat senioreissa (n=9) ennen kuormitusta makuulla -0,8 ( $\pm 1,4$ ), seisten 15,6 ( $\pm 8,9$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla 13,2 ( $\pm 3,7$ ) ja alimmillaan 26,9 ( $\pm 9,4$ ) sekä kuormituksen jälkeen seisten 12,5 ( $\pm 6,2$ ) ja makuulla 3,0 ( $\pm 2,5$ ). HHb:n suhteelliset muutokset ryhmittäin eri kuormitustasoissa on kuvattu kuvassa 9.



KUVA 9. Hapheetumattoman hemoglobiinin (HHb) suhteelliset muutokset ryhmittäin (nuoret ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, keski-ikäiset ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=10, seniorit ryhmässä n=5, alaraajojen lukumäärä n=9).

Friedmanin testin päätuloksen perusteella voidaan todeta, että kaikissa ryhmissä HHb:n suhteellisissa muutoksissa oli tilastollisesti merkitsevä ero ( $p < 0,01$ ) mittauspisteiden välillä. Parittaiset vertailut on kuvattu taulukossa 5. Kruskal-Wallis testin perusteella voidaan todeta ryhmien välillä olevan tilastollisesti merkitsevä ero HHb suhteellisissa muutoksissa mittauspisteissä ennen kuormitusta seisten ( $p = 0,01$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla ( $p < 0,01$ ), viimeisellä kuormitustasolla ( $p = 0,03$ ) ja seisten kuormituksen jälkeen ( $p = 0,01$ ). Ryhmiä pareittain verrattaessa tilastollisesti merkitsevä ero havaittiin ennen kuormitusta seisten nuorten ja senioreiden ( $p < 0,01$ ) sekä keski-ikäisten ja senioreiden ( $p = 0,02$ ), ensimmäisellä kuormitustasolla nuorten ja senioreiden ( $p = 0,03$ ) sekä keski-ikäisten ja senioreiden ( $p = 0,00$ ), viimeisellä kuormitustasolla nuorten ja senioreiden ( $p = 0,03$ ) välillä sekä seisten kuormituksen jälkeen nuorten ja senioreiden ( $p = 0,01$ ) välillä.



TAULUKKO 5. Parittaiset vertailut kuormitustasoista, joissa tilastollisesti merkitsevä ero happeutumattoman hemoglobiinin (HHb) suhteellisissa muutoksissa. Muissa kuormitustasoissa ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Kuormitustasot: makuulla (ennen), seisten (ennen), ensimmäinen kuormitustaso, viimeinen kuormitustaso, seisten (jälkeen) ja makuulla (jälkeen).

HHb Kuormitustasot	Nuoret p-arvo	Keski-ikäiset p-arvo	Seniorit p-arvo
Makuulla (ennen) - 1. kuormitustaso	1,00	1,00	<b>0,02</b>
Makuulla (ennen) - seisten (jälkeen)	1,00	0,84	<b>0,02</b>
Makuulla (ennen) - seisten (ennen)	0,84	0,63	<b>0,00</b>
Makuulla (ennen) - viimeinen kuormitustaso	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
Makuulla (jälkeen) - viimeinen kuormitustaso	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>	<b>0,00</b>
1. kuormitustaso - seisten (jälkeen)	<b>0,00</b>	0,09	1,00
Seisten (jälkeen) - viimeinen kuormitustaso	<b>0,00</b>	0,25	0,25

## POHDINTA

Tämän pro gradu -tutkielman tarkoituksena oli selvittää säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia kävelykuormituksen aikana terveillä eri ikäisillä miehillä. Tutkimuksen tuottamaa tietoa voidaan hyödyntää esimerkiksi säären etumaisen lihasaitio-oireyhtymäepäilyjen diagnostiikan ja hoidon tukena. Lisäksi tutkimuksesta saadaan tärkeää tietoa hemodynaamisista muutoksista eri ikäryhmissä. Tämä on ensimmäinen tutkimus, jossa on tutkittu yli 80-vuotiaiden säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia kuormituksen aikana.

Säären etumaisen lihasaitiokudoksen happisaturaatio laski kuormituksen kasvaessa ja palautui lähtötasolle tai hieman sen yli kuormituksen jälkeen kaikissa ikäryhmissä samankaltaisesti. Happeutumattoman hemoglobiinin (HHb) määrän suhteelliset muutokset lihaskudoksessa kasvoivat kuormituksen lisääntyessä ja alenivat kuormituksen päätyttyä kaikissa ikäryhmissä tilastollisesti merkitsevästi. Happeutuneen hemoglobiinin ( $O_2Hb$ ) määrän suhteelliset muutokset lihaskudoksessa vähenivät kuormituksen kasvaessa ja lisääntyivät kuormituksen päättyessä. Kuormituksen aikaisen ja kuormituksen jälkeisen  $O_2Hb$ :n suhteellisten muutosten ero oli tilastollisesti merkitsevä kaikissa ikäryhmissä. Kokonaishemoglobiinin (tHb) suhteelliset muutokset lisääntyivät kuormituksen kasvaessa ja vähenivät kuormituksen päättyessä, jotka olivat merkittävästi suurempia senioreiden ikäryhmässä. Senioreiden ja nuorten sekä senioreiden ja keski-ikäisten erot tHb:n suhteellisissa muutoksissa olivat tilastollisesti merkitsevät kuormitusta ennen, kuormituksen aikana ja kuormituksen jälkeen.

Happeutumattoman hemoglobiinin (HHb) suhteelliset muutokset kohdekudoksessa kasvoivat senioreilla korkeimmassa kuormituksessa verrattuna nuoriin happisaturaation ja happeutuneen hemoglobiinin määrän pysyessä ryhmien välillä samana. Tulosten perusteella näyttäisi siltä, että ikääntyessä laskimoverenkierto heikkenee, kun taas valtimoverenkierto ja mitokondrioiden kyky käyttää happeutunutta verta soluhengityksessä pysyvät samankaltaisina. Tuloksia tulkitessa tulee ottaa huomioon tutkittavien pieni määrä ja ikäryhmien väliset erot käytetyn kävelyprotokollan koetun kuormituttavuuden suhteen: senioreiden ikäryhmässä kuormitus koettiin erittäin raskaaksi ja nuoremmassa ikäryhmissä kevyeksi.

Tutkimuksen tulokset ovat samankaltaisia aiempien tutkimusten kanssa, mutta aiemmissä tutkimuksissa tutkittavilta on raportoitu ainoastaan kudoksen happisaturaatioarvoja (TSI%).

Comerota ym. (2003) tutkimuksessa raportoitiin TSI%:n olevan levossa 65 ( $\pm 19$ ) % ja alimmillaan kuormituksen aikana mitatun arvon olevan 33 ( $\pm 25$ ) %. Gustafsson ym. (2017) raportoivat tutkimuksessaan TSI%:n olevan levossa 76 ( $\pm 11$ ) % ja kuormituksen aikana alhaisimman TSI%:n olevan 34 ( $\pm 21$ ) %. Van Den Brand ym. (2004) raportoivat lepo TSI%:n olevan 91 ( $\pm 5$ ) %, kuormituksen aikana alhaisimman TSI%:n olevan 56 ( $\pm 16$ ) %. Ero voi liittyä tutkittavien nuoreen ikään ja aktiiviseen elämäntyyliin, käytettyyn kuormitusprotokollaan tai mittauslaitteen käyttämään laskukaavaan kudoksen happisaturaatiosta. Huomionarvoista on, että aiemmissa tutkimuksissa tutkittaviin on kuulunut eri sukupuolisia, tupakoivia ja eri ihon melamiinipitoisuuksien omaavia henkilöitä. Lisäksi aiemmissa tutkimuksissa ei ole mitattu yhtä iäkkäitä tutkittavia eikä raportoitu hemodynaamisia suhteellisia muutoksia.

Tässä tutkimuksessa tutkittavilta mitattiin ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuus, joiden tiedetään vaikuttavan NIRS:n luotettavuuteen (Niemeijer ym. 2017). Tulokset olivat samankaltaiset mitä Otsuki ym. (2015) raportoivat. Mittausarvojen vaihteluvälien erot voivat selittyä tämän tutkimuksen ja Otsuki ym. (2015) tutkimuksen tutkittavien BMI:n eroilla. Otsuki ym. (2015) raportoivat miesten ( $n=16$ ), joiden BMI oli 21 ( $\pm 3$ ) kg/m<sup>2</sup> ja keski-ikä 24 ( $\pm 1$ ) vuotta sekä ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuudeksi 0,3 ( $\pm 0,1$ ) cm.

#### *Vahvuudet ja heikkoudet*

Tutkittavat olivat homogeenisia aiempiin tutkimuksiin verrattuna. Tässä tutkimuksessa kaikki tutkittavat olivat tupakoimattomia kaukasialaisia miehiä, kun taas aiemmissa tutkimuksissa tutkittavien joukossa on ollut tupakoivia (Comerota ym. 2003), eri sukupuolia edustavia (Comerota ym. 2003; Gustafsson ym. 2017; Zhang ym. 2011) ja ihon melamiinitasoiltaan erilaisia (Comerota ym. 2003) tutkittavia. Toinen tämän tutkimuksen vahvuus on ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuuden mittaus ultraäänilaitteella. Niemeijer ym. (2017) toteavat tutkimuksessaan ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen suuremman paksuuden vaikuttavan lähi-infrapunavalon läpäisyyn, mikä heikentää lähi-infrapunaspektroskopian luotettavuutta. Kolmantena vahvuutena on mittausalueen anatominen tarkkuus, joka otti huomioon mitattavien anatomiset erot. Aiemmissä tutkimuksissa mittauspaikka, johon lähi-infrapuna spektroskopia on kiinnitetty, on ollut joko anatomisesti epätarkka (Gustafsson ym. 2017; Rennerfelt ym. 2016; Zhang ym. 2011) tai ei ole ottanut huomioon tutkittavien anatomisia eroavaisuuksia (Van Den Brand ym. 2004).

Tutkimuksen heikkoutena on se, ettei mittaaja ollut rutinoitunut NIRS-laitteiston käytössä, mikä voi altistaa mittausvirheille. Toisena heikkoutena tutkimuksessa on se, ettei mittaajalla ollut aiempaa kokemusta säären etumaisen lihasaition ihon ja ihonalaisen rasvakudoksen paksuuden arvioinnista ultraäänellä, vaikka hänellä oli aiempaa kokemusta ultraäänikuvantamisesta. Yhden alaraajan mittausaineisto menetettiin mittauksissa teknisten ongelmien vuoksi. Senioreiden ikäryhmässä yhdellä tutkittavalla 6 km/h kävelynopeus oli mahdotonta ylläpitää mikä esti protokollan jatkamisen, vaikka fyysinen kunto olisi sen sallinut. Tämä saattoi vaikuttaa tulokseen. Senioreiden ikäryhmässä yhdellä tutkittavalla mittauslaite painoi sääriluun reunaa mittauksen aikana. Tämä aiheutti voimistuvaa kipua kuormituksen kasvaessa (korkeimmillaan VAS 7), joka saattoi vaikuttaa mittaustulokseen. Mahdollisena syynä mittauslaitteen painamiseen vasten sääriluuta saattoi olla silminnähtävä lihaskato kyseisessä alaraajassa. Osa tutkittavista saattoi vastata Kasari FIT-indeksi kyselyyn muodollisen liikunnan määränsä ottamatta huomioon arkiliikuntaa, joka saattoi vaikuttaa taustamuuttujien tuloksiin. Muutamalla tutkittavalla TSI% oli selkeästi alhaisempi makuuasennossa kuin seisoma-asennossa kuormitusta ennen ja sen jälkeen, joka voisi mahdollisesti liittyä tutkittavien keskivartalolihavuuteen. Keskivartalon ympäröimä ei ollut taustamuuttujissa, mutta se olisi voinut olla hyödyllinen mittari arvioidessa keskivartalonlihavuuden vaikutusta lihasaition happeutumiseen. Käytetty kävelykuormitusprotokolla oli kuormittavuuden osalta epätasainen ryhmien välillä, joka on osaltaan saattanut vaikuttaa tuloksiin. Nuorten ja keski-ikäisten ryhmässä kuormittavuus koettiin kevyeksi ja senioreiden ryhmässä hyvin raskaaksi. Tutkittavia oli joka ryhmässä vähän, joten tuloksia voidaan pitää alustavina.

### *Tulosten hyödynnettävyys*

Tutkimuksessa tarkasteltiin säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia kävelyn aikana terveillä miehillä. Tulokset antavat tietoa säären etumaisen lihasaition hemodynaamisista muutoksista ja niitä voidaan hyödyntää erityisesti säären etumaisen lihasaitio-oireyhtymä epäilyjen diagnostiikan ja hoidon suunnittelun tukena. Tutkimustuloksia voidaan käyttää viitearvoina normaaleista hemodynaamisista muutoksista, mutta niitä hyödyntäessä tulee ottaa huomioon tutkittavien pieni lukumäärä.

Tutkimustulokset ovat samankaltaisia verrattuna aiempiin tutkimuksiin. Tämä on ensimmäinen tutkimus, missä on tutkittu säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksia yli 80-vuotiailla. Tulosten perusteella näyttäisi, että valtimoverenkierto sekä kudoksen happeutuminen ovat samankaltaisia ikäryhmistä riippumatta. Tulosten perusteella näyttää siltä,

että ikääntyessä laskimoverenkierto heikentyy nuoriin verrattuna. Havainto voi johtua osittain epätasaisesta kuormituksesta ikäryhmien välillä. Hemodynaamiset muutokset on tärkeää ottaa huomioon verenkiertoelimistön harjoittelun hyötyjä arvioidessa ikääntyneille henkilöille. Aiheesta tarvitaan jatkotutkimusta.

#### *Jatkotutkimusehdotukset*

Tutkimuksessa käytetty kävelykuormitusprotokolla oli vakioitu ja se oli osalle tutkittavista kevyt ja osalle raskas. Jatkotutkimuksessa kuormitusprotokolla tulisi valikoida siten, että jokaiselle tutkittavalle saataisiin turvallisesti nostettua koettu kuormitustaso lähes yhtä korkeaksi ikäryhmästä riippumatta. Tähän voitaisiin käyttää esimerkiksi tutkittavien esikuormitusta, kuten Rennerfelt ym. (2016) käyttivät. Kuormitusprotokollana voisi puolestaan käyttää jatkuvaa yhden kuormitustason protokollaan kuten Van Den Brand ym. (2004) käyttivät. Yhtenäinen kuormitustaso ikäryhmittäin mahdollistaisi lihasten hemodynaamisten muutosten selkeämpien erojen havaitsemisen ikäryhmien välillä. Tutkittavilta voitaisiin estää valtimoverenkierto tai valtimo- ja laskimoverenkierto levossa ja aiheuttaa näin lihasten okklusio kuormitusta edeltäen (Bezemer ym. 2009; Dennis ym. 2021). Näin saataisiin tietoa tutkittavien lihasten happeutumisesta verenvirtauksen estyessä, mitä voitaisiin verrata kuormituksen aikana tapahtuviin muutoksiin. Tutkittavien lihasten maksimaalista voimaa ei mitattu tässä tutkimuksessa, mutta jatkotutkimuksessa se tulisi tutkia taustamuuttujina. Näin voitaisiin tutkia lihasten maksimaalisen voiman yhteyttä hemodynaamisiin muutoksiin kuormituksessa. Lisäksi tutkittavien lihasten hemodynaamisten muutosten tutkiminen eristetyssä kuormituksessa sekä niiden vertaaminen esimerkiksi kävelykuormitukseen antaisi lisätietoa verenkierron heterogeenisyydestä ikäryhmittäin.

Muutamalla tutkittavalla säären etumaisen lihasaition happisaturaatio oli kuormitusta ennen ja kuormituksen jälkeen alhaisempi niin selinmakuulla kuin seisten. Taustamuuttujina voisi olla myös vyötärön ympärys, sillä näin voitaisiin saada tietoa tutkittavien keskivartalolihavuuden vaikutuksesta alaraajojen lihasaitioiden happeutumiseen. Jatkotutkimuksen kautta olisi myös mielenkiintoista selvittää, vaikuttaako keskivartalolihavuus alaraajojen lihasaition hemodynaamiikkaan, esimerkiksi estämällä verenkiertoa eri asennoissa.

Tutkimuksen tulokset rajoittuvat säären etumaisen lihasaitiokudoksen hemodynaamisiin muutoksiin. Säären eri lihasaitioiden hemodynaamisia muutoksia kuormituksen aikana olisi mielenkiintoista jatkossa tutkia samankaltaisilla ikäryhmillä kuin tässä tutkimuksessa.

Ensisijaisesti työskentelevien lihasten happeutumisella ja hapenottokyvyn välillä on todettu olevan yhteys (Guzman ym. 2020). Jatkotutkimusaiheena olisi mielenkiintoista myös tutkia säären etumaisen lihasaition happeutumisen yhteyttä tutkittavien hapenottokykyyn.

#### *Johtopäätökset*

Tutkimuksen tarkoituksena oli tuottaa tietoa säären etumaisen lihasaition hemodynaamisia muutoksista kävelyn aikana eri ikäisillä terveillä miehillä. Tulokset osoittavat, että happisaturaatio laskee kuormituksen lisääntyessä ja palautuu lähtötasoon kuormituksen jälkeen, mikä näyttäisi tämän tutkimuksen perusteella olevan ikäryhmästä riippumatta samankaltainen. Kokonaishemoglobiinin suhteelliset muutokset ovat suurempia ikääntyneillä.

## LÄHTEET

- Aweid, O., Del Buono, A., Malliaras, P., Iqbal, H., Morrissey, D., Maffulli, N., Padhiar N. (2012). Systematic review and recommendations for intracompartmental pressure monitoring in diagnosing chronic exertional compartment syndrome of the leg. *Clinical journal of sport medicine* 22(4): 356–370. doi: 10.1097/JSM.0b013e3182580e1d.
- Baker, W., Parthasarathy, A., Busch, D., Mesquita, R., Greenberg, J., Yodh, A. (2014). Modified Beer-Lambert law for blood flow. *Biomed opt express*. 5(11): 4053–4075. doi: 10.1364/BOE.5.004053.
- Baltrunas, T., Mosenko, V., Mackevicius, A., Dambrauskas, V., Asakiene, I., Rucinskas, K., Narmontas, P. (2021). The use of near-infrared spectroscopy in the diagnosis of peripheral artery disease: A systematic review. *Vascular*. 30(4): 715–727. doi: 10.1177/17085381211025174.
- Beachey, W. (2007). *Respiratory Care anatomy and physiology: Fountain for clinical practice*. 2. painos. Missouri: Mosby.
- Beasley, M. (2000). Nonparametric Tests for Analyzing Interactions among Intra-Block Ranks in Multiple Group Repeated Measures Designs. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*. 25(1): 20-59. doi: <https://doi.org/10.2307/1165311>.
- Beasley, M., Zumbo, B. (2002). Comparison of Aligned Friedman Rank and Parametric Methods for Testing Interactions in Split-Plot Designs. url: [https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract\\_id=3137684](https://papers.ssrn.com/sol3/papers.cfm?abstract_id=3137684)
- Beasley, M., Zumbo, B. (2003). Comparison of aligned Friedman rank and parametric methods for testing interactions in split-plot designs. *Computational Statistics & Data Analysis*. 42(4): 569-593. doi: [https://doi.org/10.1016/S0167-9473\(02\)00147-0](https://doi.org/10.1016/S0167-9473(02)00147-0).
- Bezemer, R., Lima, A., Myers, D., Kijln E., Heger, M., Goedhart, P., Bakker, J., Ince, C. (2009). Assessment of tissue oxygen saturation during a vascular occlusion test using near-infrared spectroscopy: the role of probe spacing and measurement site studied in healthy volunteers. *Critical Care*. 13(S4): 1–7. doi: 10.1186/cc8002.
- Bong, M., Polatsch, D., Jazrami, L., Rokito A. (2005). Chronic Exertional Compartment Syndrome Diagnosis and Management. *Bulletin: Hospital for Joint Diseases*. 62(3–4): 77–84.
- Buerba, R., Fretes, N., Devana, S., Beck. (2019). Chronic exertional compartment syndrome: current management strategies. *Journal of Sports Medicine*. 10: 71–79. doi: 10.2147/OAJSM.S168368.

- Bruijn, J., Winkes, M., Van Eerten, P., Scheltinga, M. (2020). Chronic exertional compartment syndrome as a cause of anterolateral leg pain. *Unfallchirurg*. 123(S1): 8–14. doi: 10.1007/s00113-019-0641-9.
- Cole, A., Smith, E., Austin, A., Freedman, B., Shuler, M. (2012). Near-infrared Spectroscopy Monitoring for Compartment Syndrome. *Techniques in Orthopaedics*. 27(1): 15–21. doi: 10.1097/bto.0b013e31824881f6.
- Comerota, A., Thom, R., Kelly, P., Jaff, M. (2003). Tissue (muscle) oxygen saturation (StO<sub>2</sub>): A new measure of symptomatic lower-extremity arterial disease. *Journal of Vascular Surgery*. 38(4): 724–729. doi: 10.1016/S0741-5214(03)01032-2.
- Cornelis, N., Chatzinikolaou, P., Buys, R., Fourneau, I., Claes, J., Cornelissen, V. (2021). The Use of Near Infrared Spectroscopy to Evaluate the Effect of Exercise on Peripheral Muscle Oxygenation in Patients with Lower Extremity Artery Disease: A Systematic Review. *European Journal of Vascular and Endovascular Surgery*. 61(5): 837–847. doi: 10.1016/j.ejvs.2021.02.008.
- Dahl, M., Hansen, P., Stål, P., Edmundsson, D., Magnusson, P. (2011). Stiffness and Thickness of Fascia Do Not Explain Chronic Exertional Compartment Syndrome. *Clinical Orthopaedics and Related Research*. 469(12): 3495—3500. doi: 10.1007/s11999-011-2073-x.
- Dennis, J., Wiggins, C., Smith, J., Isautier, J., Johnson, B., Joyner, M., Cross, T. (2021). Measurement of muscle blood flow and O<sub>2</sub> uptake via near-infrared spectroscopy using a novel occlusion protocol. *Nature research*. 11(918): 1–13. doi: 10.1038/s41598-020-79741-w.
- Ding, A., Machin, M., Onida, S., Davies A. (2020). A systematic review of fasciotomy in chronic exertional compartment syndrome. *Journal of Vascular Surgery*. 72(5): 1802–1812. doi: 10.1016/j.jvs.2020.05.030.
- Gustafsson, P., Crenshaw, A., Edmundsson, D., Toolanen, G., Crnalic, S. (2017). Muscle oxygenation in Type 1 diabetic and non-diabetic patients with and without chronic compartment syndrome. *PLoS ONE* 12(10): 1–11. doi: 10.1371/journal.pone.0186790.
- Guzman, S., Ramirez, J., Keslacy, S., De Leon, R., Yamazaki, K., Dy, C. (2020). Association between muscle aerobic capacity and whole-body peak oxygen uptake. *European Journal of Applied Physiology*. 120(9): 2029–2036. doi: 10.1007/s00421-020-04402-9.
- Hamaoka, T., McCully, K., Niwayama, M., Chance, B. (2011). The use of muscle near-infrared



- spectroscopy in sport, health and medical sciences: recent developments. *Philosophical transactions of the royal society A*. 369(1955): 4591—4604. doi: 10.1098/rsta.2011.0298.
- Irion, V., Magnussen, R., Miller, T., Kaeding, C. (2013). Return to activity following fasciotomy for chronic exertional compartment syndrome *European Journal of orthopedic surgery and traumatology*. 24(7): 1223-1228 doi: 10.1007/s00590-014-1433-0.
- Jones, S., Chiesa, S., Chaturvedi, N., Alun, H. (2016). Recent developments in near-infrared spectroscopy (NIRS) for the assessment of local skeletal muscle microvascular function and capacity to utilise oxygen. *Artery research*. 16(C): 25–33. doi: 10.1016/j.artres.2016.09.001.
- Juneja, P., Hubbard, J. (2022). *Anatomy, Bony Pelvis and Lower Limb, Tibialis Anterior Muscles*. Treasure Island: StatPearls Publishing. DOI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK513304>.
- Jöbsis, F. (1977). Noninvasive, infrared monitoring of cerebral and myocardial oxygen sufficiency and circulatory parameters. *Science*, 198(4323): 1264–1267. doi: 10.1126/science.929199.
- Korthuis, R. J. (2011). *Skeletal Muscle Circulation*. San Rafael: Morgan & Claypool Life Sciences. DOI: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK57136>.
- Levitzky, M. (2013). *Pulmonary Physiology*. 8. painos. New York: McGraw-Hill.
- McNulty, J., Born, M., & Pozos, R. (2011). Near-Infrared Spectroscopy (NIRS). *Springer Handbook of Medical Technology*, 423–438. doi:10.1007/978-3-540-74658-4\_22.
- Miranda, A., Figoni, S., Figoni, S., Castellano, V., Hyams, D., Kerendian, N., Nguyen, T., Tyson, A., Scremin, E. & Scremin, O. (2010). Calf Muscle Oxygenation During Exercise in Healthy Adults. *Clinical kinesiology*. 64(1): 8–15.
- Mohile, N., Perez, J., Rizzo, M., Emerson, C., Foremny, G., Allerga, P., Graditzer., & Jose, J. (2019). Chronic Lower Leg Pain in Athletes: Overview of Presentation and Management. *Hospital for Special Surgery*. 16(1): 86–100. doi: 10.1007/s11420-019-09669-z.
- Mohler, R., Styf, J., Pedowitz, R., Hargens, A., Gershuni, D. (1997). Intramuscular Deoxygenation during Exercise in Patients Who Have Chronic Anterior Compartment Syndrome of the Leg. *The Journal of bone and joint surgery*. 79(6): 844—849.
- Niemeijer, V., Jansen, J., Dijk, T., Spee, R., Meijer, E., Kemps, H., Wijn, P. (2017). The

- influence of adipose tissue on spatially resolved near-infrared spectroscopy derived skeletal muscle oxygenation: the extent of the problem. *Physiological Measurement*. 38(3): 539–554. doi: 10.1088/1361-6579/aa5dd5.
- Otsuki, A., Muraoka, Y., Fujita, E., Kubo, S., Yoshida, M., Komuro, Y., Ikegawa, S., Ohta, Yuji, Kuno-Mizumura, M. (2015). Gender differences in muscle blood volume reduction in the tibialis anterior muscle during passive plantar flexion. *Clinical Physiology and Functional Imaging*. 36(5): 421–425. doi: 10.1111/cpf.12232.
- Orlin, J., Lied, I., Strandén, E., Irgens, H., Andersen, J. (2016). Prevalence of chronic compartment syndrome of the legs: Implications for clinical diagnostic criteria and therapy. *Scandinavian Journal of Pain*. doi: 10.1016/j.sjpain.2016.01.001.
- Pedowitz, R., Hargens, A., Mubarak, S., Gershuni, D. (1990). Modified 4 criteria for the objective diagnosis of chronic compartment syndrome of the leg. *The American Journal of Sports Medicine*. 18(1): 35–40. doi: 10.1177/036354659001800106.
- Perrey, S., Ferrari, M. (2018). *Muscle Oximetry in Sports Science: A Systematic Review*. Springer Nature. 48(3): 597—616. doi: 10.1007/s40279-017-0820-1.
- Perrey, S. (2022). Muscle Oxygenation Unlocks the Secrets of Physiological Responses to Exercise: Time to Exploit it in the Training Monitoring. *Frontier in Sports and Active Living*. 4(864825): 1—4. doi: 10.3389/fspor.2022.864825.
- Pittman, R. N. (2011). *Regulation of Tissue Oxygenation*. San Rafael: Morgan & Claypool Life Sciences. doi: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/books/NBK54109>.
- Pubmed. (2022). Haku (NIRS + Muscle). Verkkosivu. Viitattu 13.5.2022. doi: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/>.
- Qvarfordt, P., Christenson, J., Eklöf, B., Ohlin, P., Saltin, B. (1983). Intramuscular Pressure, Muscle Blood Flow, and Skeletal Muscle Metabolism in Chronic Anterior Tibial Compartment Syndrome. *Clinical orthopaedics and related research*, 179(1): 284—290.
- Rennerfelt, K., Zhang, Q., Karlsson, J., Styf, J. (2016). Changes in muscle oxygen saturation have low sensitivity in diagnosing chronic anterior compartment syndrome of the leg. *The journal of bone and joint surgery* 98(1): 56–61. doi: 10.2106/JBJS.N.01280.
- Smith, D., Fernhall, B. (2011). *Advanced cardiovascular exercise physiology*. Champaign: Human kinetics.
- Styf, J. (1988). Diagnosis of exercise-induced pain in the anterior aspect of the lower leg. *The American Journal of Sports Medicine*. 16(2): 165—169. doi: 10.1177/036354658801600214.
- Terveyskirjasto. (2022). Säären lihasaitio-oireyhtymä, ”penikkatauti” päivitetty 7.5.2021.

- Lääkärikirja duodecim. Viitattu 2.3.2022. <https://www.terveyskirjasto.fi/dlk00317>.
- Tutkimustieteellinen neuvottelukunta. (2012). Hyvä tieteellinen käytäntö ja sen loukkausepäilyjen käsitteleminen Suomessa. Viitattu 18.12.2022. Opetus- ja kulttuuriministeriö. [https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK\\_ohje\\_2012.pdf](https://tenk.fi/sites/tenk.fi/files/HTK_ohje_2012.pdf)
- Van den Brand, J., Verleisdonk, E., Van der Werken C. (2004). Near Infrared Spectroscopy in the diagnosis of chronic exertional compartment syndrome. *The American Journal of Sport Medicine* 32(2): 452–456. doi: 10.1177/0363546503261733.
- Van den Brand, J., Nelson, T., Verleisdonk, E., Van der Werken, C. (2005). The diagnostic value of intracompartment pressure measurement, magnetic resonance imaging, and near-infrared spectroscopy in chronic exertional compartment syndrome. *The American Journal of Sport Medicine*. 33(5): 699–704. doi: 10.1177/0363546504270565.
- Velasco, T. & Leggit, J. (2020). Chronic Exertional Compartment Syndrome: A Clinical Update. *Current Sports Medicine Reports*. 19(9): 347-352. doi: 10.1249/JSR.0000000000000747.
- Vogels, S., Ritchie, E., Van der Burg, B., Scheltinga M., Zimmermann W., Hoencamp, R. (2022). Clinical Consensus on Diagnosis and Treatment of Patients with Chronic Exertional Compartment Syndrome of the Leg: A Delphi Analysis. *Sports Medicine*. doi: 10.1007/s40279-022-01729-5.
- Wasserman, K., Hansen, J., Sue, D., Stringer, W., Sietsema, K., Sun, X.-G., Whipp, B. (2012). Principles of exercise testing and interpretation: including pathophysiology and clinical applications. 5. painos. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins.
- Waterman, B., Liu, J., Newcomb, R., Schoenfeld, A., Orr, J., Belmont, P. (2013). Risk Factors for Chronic Exertional Compartment Syndrome in a Physically Active Military Population. *The American Journal of Sports Medicine*. 41(11): 2545–2549. doi: 10.1177/0363546513497922.
- Willingham, T., McCully, K. (2017). In Vivo assessment of mitochondrial dysfunction in clinical populations using Near-Infrared spectroscopy. *Frontiers in physiology*. 8(689): 1–11. doi: 10.3389/fphys.2017.00689.
- Zhang, Q., Rennerfelt, K., Styf, J. (2011). The Magnitude of intramuscular deoxygenation during exercise is an unreliable measure to diagnose the cause of leg pain. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*. doi: 10.1111/j.1600-0838.2011.01392.x.

LIITE 1. Esitietolomake.



**ESITIETOLOMAKE**

Lomakkeen täyttöpvm \_\_\_\_\_

**HENKILÖTIEDOT**

Sukunimi \_\_\_\_\_ Etunimi \_\_\_\_\_

Sähköpostiosoite \_\_\_\_\_

**TERVEYDENTILA**

Pituus \_\_\_\_ cm Paino \_\_\_\_ Kg

Allergiat (lääke, puudutteen) \_\_\_\_\_

Leikkaukset ja vammat (vuosi) \_\_\_\_\_

Sairaudet \_\_\_\_\_

Lääkkeet (nimi ja annos) \_\_\_\_\_

Onko sinulla ollut koskaan fyysiseen rasitukseen liittyvää kroonisia kiputiloja säären etuosassa? \_\_ei\_\_ kyllä

Tupakointi \_\_ei\_\_ kyllä, keskimäärin \_\_\_\_\_ savuketta/päivä

Alkoholin käyttö \_\_ei\_\_ kyllä, keskimäärin \_\_\_\_\_ pna/viikko, \_\_\_\_\_ annosta /käyttökerta

*(Yksi alkoholiannos vastaa yhtä ns. ravintola-annosta = pullo keskialutta, 12 cl mietoa viiniä tai 4cl väkeviä).*

1. Kuinka usein harrastat liikuntaa yhteensä työmatkoilla ja vapaa-aikana?	Ympyröi oikeat luvut
Vähintään 6 kertaa viikossa	5
3-5 kertaa viikossa	4
1-2 kertaa viikossa	3
Muutaman kerran kuukaudessa	2
Kerran kuukaudessa tai vähemmän	1

2. Kuinka rasittavaa harrastamasi liikunta tavallisesti on?	Ympyröi oikeat luvut
Erittäin rasittavaa kovatehoista liikuntaa. Hengästyminen ja hikoilu on runsasta.	5
Selvästi rasittavaa liikuntaa, joka aiheuttaa hengästy mistä ja hikoilua	4
Kohtalaisen rasittavaa liikuntaa esim. reipas kävely	3
Kevyttä liikuntaa	2
Hyvin kevyttä liikuntaa	1

3. Kuinka kauan liikuntasuorituksesi tavallisesti kestää?	Ympyröi oikeat luvut
Pidempään kuin 30 minuuttia	4
20-30 minuuttia	3
10-19 minuuttia	2
Alle 10 minuuttia	1

Mitä liikuntaa harrastat säännöllisesti?

---