

Jenni Setälä ja Konsta Vainio

VERENKIERRON ARVIOINTI INFRAPUNAKAMERALLA PERIFEERISESSÄ
VALTIMOTAUDISSA

Syventävien opintojen kirjallinen työ

Kevätlukukausi 2021

Jenni Setälä ja Konsta Vainio

VERENKIERRON ARVIOINTI INFRAPUNAKAMERALLA PERIFEERISESSÄ
VALTIMOTAUDISSA

Kliininen fysiologia

Kevätlukukausi 2021

Vastuhenkilö: Juho Raiko

TURUN YLIOPISTO
Lääketieteellinen tiedekunta

SETÄLÄ, JENNI
VAINIO, KONSTA: Verenkierron arviointi infrapunakameralla perifeerisessä
valtimotaudissa

Syventävien opintojen kirjallinen työ, 20 s.
Kliininen fysiologia
Helmikuu 2021

Alaraajojen perifeerinen valtimotauti (PAD) on yleinen ateroskleroottisen kardiovaskulaarisairauden ilmentymä ja tämän huomattavin kliininen ilmentymä on katkokävely, joka aiheutuu alaraajojen lihasten iskemian seurauksena. PAD:n diagnostiikassa käytetään nilkka-olkavarsipainesuhdetta (ABI) ja tarvittaessa myös varvas-olkavarsipainesuhdetta (TBI). Viime vuosina on tutkittu lämpökuvauksen mahdollisuutta vaihtoehtoisena menetelmänä PAD:n diagnosoimiseksi.

Tässä tutkimuksessa kuvattiin lämpökameralla poliklinikkakäynnin yhteydessä vapaaehtoisten tutkimushenkilöiden jalkojen pintalämpötiloja. Tarkoituksena oli selvittää, olisiko lämpökuvauksella mahdollista arvioida alaraajojen ateroskleroottisia suonimuutoksia. Lämpökuvia ja ABI- sekä TBI-mittausten tuloksia vertailtiin tutkimuksessa. Lisäksi selvitettiin, onko potilaiden pitkäaikaissairauksilla yhteyttä lämpökuvauksissa saatuihin tuloksiin. Tutkimushenkilöiden suostumuksella saatiin tutkimusta varten käyttöön Tyksin potilaskertomusjärjestelmän tietoja.

ABI-arvoja vertailtaessa säären eri lämpömittauspisteisiin, tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittiin säären distaaliosissa. Lisäksi havaittiin tilastollisesti merkittäviä tuloksia ABI-arvoja vertailtaessa sairausryhmien sisällä tyypin 2 diabetesta sekä sepelvaltimotautia sairastavilla. TBI-mittausten perusteella ei tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittu. Tutkimusta tulisi vielä tehdä lisää suuremmilla otannoilla, jotta selvittäisiin, onko tulevaisuudessa ihon pintalämpötilan määrittämisellä sijaa alaraajojen valtimotaudin selvittelyssä.

Asiasanat: alaraajojen perifeerinen valtimotauti, ABI-mittaus, lämpökuvaus

Sisällys

1 JOHDANTO.....	1
2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEEESIT.....	2
3 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT.....	2
3.1 Aineisto.....	2
3.2 ABI- ja TBI-mittaus.....	3
3.3 Tutkimuksen kulku.....	6
3.4 Kuvauslaitteisto.....	8
3.5 Lämpökuvien ja potilastietojen taulukointi.....	8
4 TULOKSET.....	9
5 POHDINTA.....	15
LÄHTEET.....	18

1 JOHDANTO

Alaraajojen perifeerinen valtimotauti (PAD, peripheral artery disease) on kolmanneksi yleisin ateroskleroottisen kardiovaskulaarisairauden ilmentymä. PAD:n huomattavin kliininen ilmentymä on iskemian seurausta oleva katkokävely, jota esiintyy 10–20%:lla potilaista (1). Kliinisessä työssä PAD:n diagnostiikassa käytetään nilkka-olkavarsipainesuhdetta (ABI). ABI on nilkkatason systolisen verenpaineen ja olkavarren systolisen verenpaineen välinen suhdeluku. Normaali ABI-arvo on välillä 0,90–1,30. $ABI \leq 0,9$ on diagnostinen PAD:lle (2).

ABI-mittauksessa on omat puutteensa PAD:n diagnostiikassa. Esimerkiksi mediaskleroosin kovettamat verisuonet eivät puristu normaalisti kasaan, joten potilaalla voi tällaisessa tilanteessa olla merkittävä PAD normaalista ABI-arvosta huolimatta (3). Jos verisuonien tukkiutumista esiintyy distaalisesti nilkkatasosta, ABI-mittaus ei havaitse sitä. Tällöin tulee määrittää varvas-olkavarsipainesuhde (TBI). Jotkut potilaat voivat pitää ABI-mittausta epämiellyttävänä tutkimuksen ajallisen keston (30–60 minuuttia) vuoksi. ABI-mittauksen puutteiden vuoksi lämpökuvausta on tutkittu viime vuosina vaihtoehtoisena ja täydentävänä menetelmänä ABI-mittaukselle PAD:n diagnostiikassa.

Katkokävelyssä esiintyy jalkojen kipua, joka alkaa ja vaikeutuu kävellessä sekä helpottaa levossa. Tällaista iskeemistä kipua esiintyy useimmiten pohkeiden lihaksissa säären alueen valtimoiden tukkiutumisen vuoksi. Kipua voi esiintyä myös muissa lihaksissa riippuen valtimotukoksen tasosta (2, 4). Lisäksi noin 50 % potilaista kärsii epätyypillisistä alaraajaoireista, kuten jalkojen väsymyksestä ja kävelyvaikeudesta (1, 5).

PAD:n mahdollisimman aikainen havaitseminen on tärkeää, jotta voidaan ehkäistä sen eteneminen kriittiseksi iskemiaksi. Kriittinen iskemia jaetaan akuuttiin ja krooniseen kriittiseen iskemiaan. Akuutti kriittinen iskemia on harvinainen ja syntyy embolian aiheuttamana (6). Krooninen kriittinen iskemia syntyy viikkojen tai kuukausien aikana alaraajavaltimon tukkiutumisen edetessä, ja sen kliinisiä ilmentymiä ovat raajan etenevä lepokipu ja kudusvaurio. Kriittiselle iskemialle ei ole absoluuttisia numeerisia raja-arvoja, mutta ESVS (European Society for Vascular Surgery) ja ESC (European Society for Cardiology) ovat määritelleet vuonna 2017 ohjeistuksessaan kriittisen iskemian raja-arvot seuraavasti: $ABI < 0,40$, nilkkapaine < 50 mmHg, varvaspaine < 30 mmHg (7). Kriittisessä alaraajaiskemiassa 30–70 % joutuu alaraaja-amputaatioon tai kuolee vuoden kuluessa diagnoosista. Kriittinen iskemia johtaa välittömään amputaatioon 10–40 %:lla potilaista (8).

PAD:n diagnoosi diabeetikoilla voi olla vaikeaa diabeettisen neuropatian, turvotuksen, infektioiden ja haavautumisen vuoksi. Diabeetikot, joilla on PAD, eivät koe katkokävelyoireita diabeettisen neuropatian aiheuttamien sensoristen puutosten takia yhtä todennäköisesti kuin ei-diabeetikot (9). Diabeetikoilla, joilla on PAD, on suurempi riski kriittiseen iskemiaan ja sen seurauksena alaraajan amputaatioon kuin ei-diabeetikoilla (3). Useissa viimeaikaisissa kliinisissä lämpökuvantamistutkimuksissa on verrattu diabeetikoita ei-diabeetikoihin.

PAD:hen liittyy usein samanaikaisesti muut vakavat ateroskleroottiset taudit, kuten sepelvaltimotauti, vaskulaarinen aivosairaus sekä munuaisvaltimon sairaus (5). Jopa oireeton alaraajojen valtimoiden tukkeutuminen lisää riskiä sydäninfarktiin tai aivohalvaukseen (1).

PAD:n riskitekijät ovat samat kuin muidenkin ateroskleroottisten sairauksien: tupakointi, korkea verenpaine, diabetes mellitus, matala fyysinen aktiivisuus, korkea ikä, obesiteetti ja dyslipidemiat (2, 4, 10).

2 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT

Tutkimuksemme tarkoitus oli selvittää, onko lämpökuvantaminen hyödyllinen tutkimusmenetelmä PAD:n havaitsemiseksi, ja miten ihon lämpötila korreloi ABI- ja TBI-arvojen kanssa.

3 TUTKIMUSAINEISTO JA -MENETELMÄT

3.1 Aineisto

Tutkimuksessa kuvattiin infrapunakameralla alaraajojen pintalämpötiloja. Pintalämpötilojen ja systolisten verenpaineiden avulla pyrittiin selvittämään lämpötilojen vaikutusta valtimotauteihin. Tutkimusaineisto koostui 99 vapaaehtoisesta tutkimushenkilöstä (31 naista ja 68 miestä), jotka osallistuivat tutkimukseen potilaskäyntiensä yhteydessä Turun yliopistollisen keskussairaalan kliinisen fysiologian poliklinikalla. Henkilöille oli varattu aika laboratoriohoitajan vastaanotolle alaraajavaltimoiden toimintaa määrittäviin ABI- ja TBI-mittauksiin. Käyntien ohessa tutkimukseen haluaville henkilöille suoritettiin lämpökamerakuvaus, joka suoritettiin ennen laboratoriohoitajan tekemiä ABI- ja TBI-mittauksia.

Lämpökuvauksen jälkeen määritettyjä ABI- ja TBI-arvoja hyödynnettiin tutkimuksessa. Tutkimusta varten selvitettiin Turun yliopistollisen keskussairaalan potilaskertomusjärjestelmistä, oliko tutkimushenkilöillä diagnosoitu tyypin 1 diabetes, tyypin 2 diabetes, sepelvaltimotauti tai alaraajojen perifeerinen valtimotauti. Lisäksi potilasaineiston perusteella selvitettiin ikä ja BMI. Tutkimushenkilöiltä saatiin kirjallinen suostumus potilastietojen käyttämiseen tutkimuksessa.

3.2 ABI- ja TBI-mittaus

ABI:n (ankle-brachial-index) eli nilkka-olkavarsipainesuhteen ja TBI:n (toe-brachial-index) eli varvas-olkavarsipainesuhteen avulla pyritään selvittämään systolisen ääreisverenpaineen suhdetta samanaikaiseen olkavarren systoliseen verenpaineeseen. Normaalisti sydämen vasemman kammion supistumista seuraava, valtimopuustoa pitkin etenevä paineaalto on systoliselta huipultaan erittäin terävä erityisesti suonien läpimitan ja myötäävyyden pienentyessä (kuva 1). Valtimoahtaumassa paineaallon systolinen huippu mataloituu jo ennen keskivaltimopaineen muuttumista. Systolinen ääreisverenpaineen mittaus voi jo levossa kuvata sydämen ja mittauspaikan välistä valtimoiden vajaatoimintaa. (7)

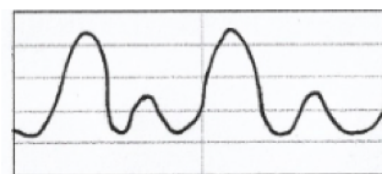
Nilkka-olkavarsipainesuhde (ABI) saadaan laskemalla systolisen nilkkapaineen ja korkeamman systolisen olkavarsipaineen välinen painesuhde (kuva 1). Määritettäessä ääreisverenpaineita verenpaine mitataan aina molemmista olkavarsista. Vastaavasti saadaan määritettyä varvas-olkavarsisuhde (TBI) mittaamalla systoliset verenpaineet I-varpaasta ja molemmista olkavarsista. Mittaus on mahdollista tehdä myös muista varpaista, mutta I-varvasta käytetään mittauksissa ensisijaisesti. Verenpaineiden perusteella määritetään painesuhde kuten edellä. Varvaspainemittaukset tehdään nilkkapainemittausten yhteydessä ja niitä käytetään yleensä täydentämään nilkkapaineista saatavaa tietoa. Jalkaterän valtimomuutoksia tai nilkkapainemittausten luotettavuutta epäiltäessä varvaspaineiden määrittäminen on merkittävä tutkimus. (7)

A) Terve henkilö

Systoliset paineet mittauspaikoissa	Systolinen paine (mmHg)
Olkavarsi	120
ATP	122
ADP	121
Isovarvas	100

Mittauspaikka verrattuna olkavarteen	Paineiden suhde
ATP	1,02
ADP	1,01
Isovarvas	0,83

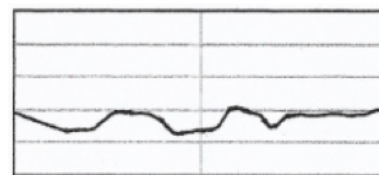
Syketilavuus:



B) Krooninen iskemia

Systoliset paineet mittauspaikoissa	Systolinen paine (mmHg)
Olkavarsi	125
ATP	51
ADP	48
Isovarvas	32

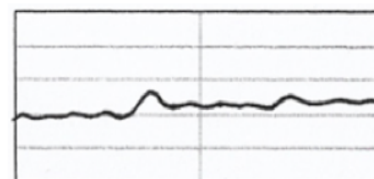
Mittauspaikka verrattuna olkavarteen	Paineiden suhde
ATP	0,41
ADP	0,38
Isovarvas	0,26



C) Mediaskleroosin aiheuttaman pseudohypertension peittämä iskemia

Systoliset paineet mittauspaikoissa	Systolinen paine (mmHg)
Olkavarsi	181
ATP	248
ADP	250
Isovarvas	40

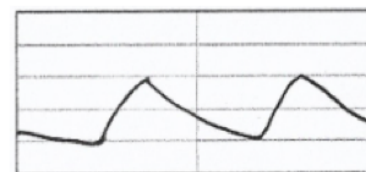
Mittauspaikka verrattuna olkavarteen	Paineiden suhde
ATP	1,37
ADP	1,38
Isovarvas	0,22



D) Matala varvaspaine liittyneenä jalkaterän suonimuutoksiin

Systoliset paineet mittauspaikoissa	Systolinen paine (mmHg)
Olkavarsi	120
ATP	90
ADP	95
Isovarvas	20

Mittauspaikka verrattuna olkavarteen	Paineiden suhde
ATP	0,75
ADP	0,79
Isovarvas	0,17



Kuva 1. Ääreisverenpaineen mittaus a. tibialis posteriorista (ATP), a. dorsalis pediksestä (ADP) ja isovarpaasta sekä nilkan tason syketilavuuden kuvaajat terveellä henkilöllä (A) ja erilaisissa ahtaavissa verisuonisairauksissa (B, C ja D). Esitystapa teoksen (22) mallin mukainen.

Kriittiselle iskemialle ei ole olemassa varmaa raja-arvoa, mutta tasoja $< 0,5$ – $< 0,3$ on esitetty (7). Myös normaalin raja-arvo hieman vaihtelee lähteestä riippuen (7, 11, 12, 13). Tutkimuksessa

käytettiin nilkka-olkavarsipainesuhteen (ABI) normaali-arvona 0,91–1,14 ja varvas-olkavarsipainesuhteen (TBI) normaali-arvona $\geq 0,7$ (taulukko 1) (11).

Taulukko 1. ABI- ja TBI-mittauksissa käytettävät viitearvot, jotka käytössä Tyksissä (11).

KÄYTETTÄVÄT VIITEARVOT

Nilkka-olkavarsipainesuhde (ABI) (ref. 2)

normaali	$\geq 0,91$
lievästi alentunut	0,90–0,70
merkittävästi alentunut	0,69–0,50
voimakkaasti alentunut	$< 0,5$
poikkeavasti kohonnut	$> 1,4$
mahdollisesti kohonnut	$> 1,15$

Merkittävä ABI:n muutos lyhyellä aikavälillä $> 0,15$

Varvas-olkavarsipainesuhde (TBI)

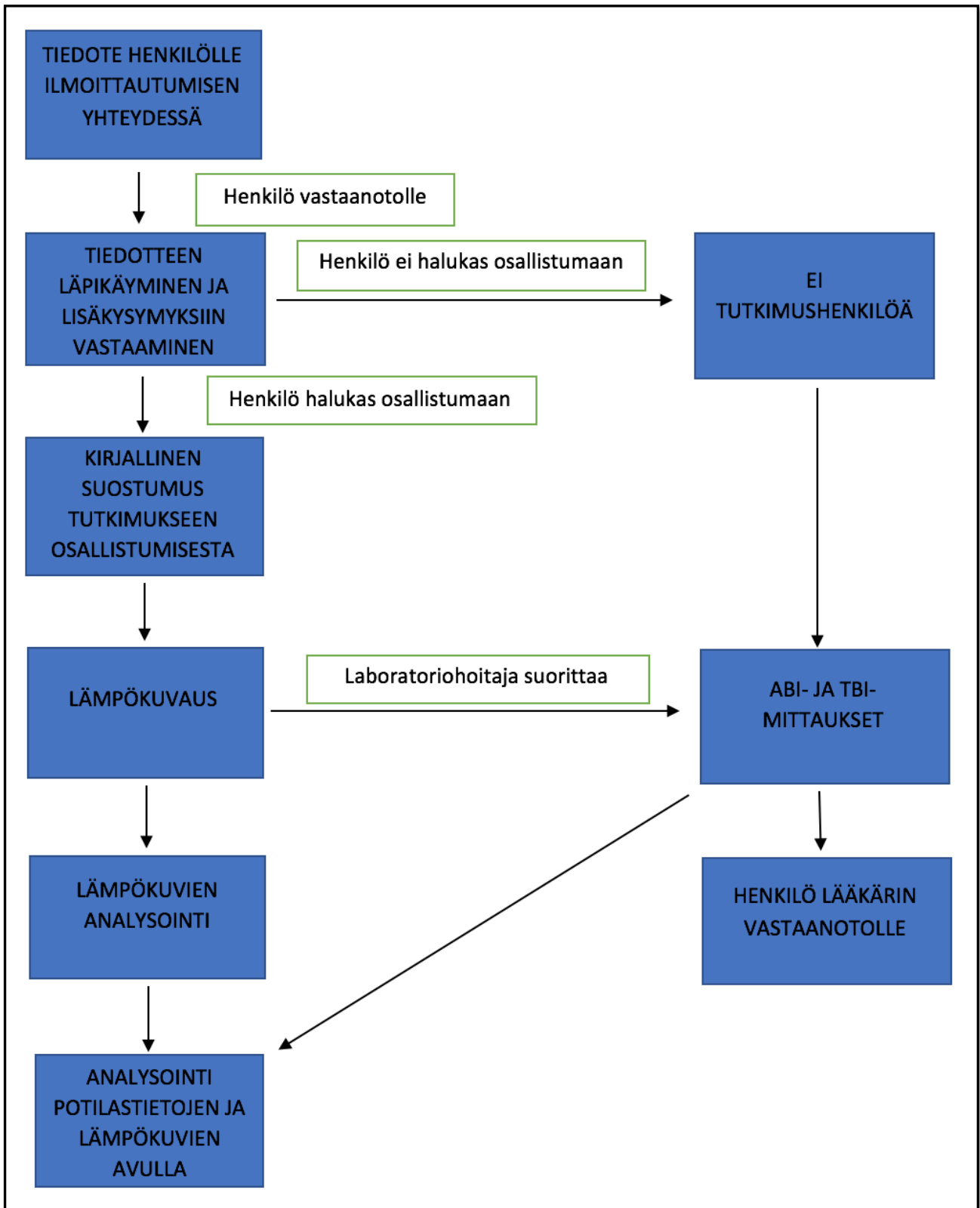
normaali	$\geq 0,7$
lievästi alentunut	0,69–0,60
merkittävästi alentunut	$< 0,6$
voimakkaasti alentunut	$< 0,2$

3.3 Tutkimuksen kulku

Poliklinikalla ilmoittautumisen yhteydessä tutkimukseen halukkaille henkilöille annettiin kirjallinen tutkimusprojektin potilastiedote, johon he saivat tutustua ennen vastaanottoa (kuva 2). Vastaanottohuoneessa henkilöille vielä kerrottiin tutkimuksen kulusta ja vastattiin mahdollisesti heränneisiin kysymyksiin. Tutkimukseen halukkaat henkilöt antoivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen osallistumisesta Helsingin julistuksen mukaisesti.

Lämpökuvaukseen osallistuneita tutkimushenkilöitä pyydettiin riisumaan vaatetus alaraajojen alueelta. Tutkimuksen ajaksi tutkimushenkilöiden jalkojen alle asetettiin 4 cm:n paksuinen kangaspäällysteinen pehmeä patja, jonka päälle oli laitettu ohut muovipussi hygienian mahdollistamiseksi. Patjan avulla pyrittiin estämään lämmön siirtyminen jaloista lattiaan kuvauksen aikana. Pohkeiden kuvauksen aikana henkilöitä pyydettiin seisomaan patjalla, mutta muut kuvat otettiin henkilöiden istuessa tutkimuspöydän reunalla. Muutamassa tapauksessa tutkimushenkilöiden kunto ei sallinut seisomista, ja näissä tapauksissa kaikki kuvaukset suoritettiin kuvattavan istuessa. Tällöin kuvaaminen pyrittiin toteuttamaan muuten samoin kuin seisten kuvatuilla henkilöillä, jotta mittaukset olisivat keskenään vertailukelpoisia. Säärien ja pohkeiden alueiden lämpötiloja kuvattiin infrapunakameralla mediaalisesti, lateraalisesti, anteriorisesti ja posteriorisesti. Lisäksi otettiin lämpökuvat jalkaterien dorsaalipuolelta. Jalkapohjien plantaaripuolelta kuvia ei otettu, koska tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää, onko valtimotaudilla ja alaraajojen pintalämpötilojen välillä yhteyttä, sekä onko näillä korrelaatiota alaraajojen verenpaineeseen.

Kuvaus näin ollen painottuu suurimpien distaalisten alaraajavaltimoiden alueelle eli säärien, pohkeiden ja jalkaterien dorsaalipuolien alueelle. Tässä tutkimuksessa ei ollut erikseen tarkoitus selvittää jalkapohjien verenkiertoa, joten se jätettiin tutkimuksen ulkopuolelle. Lisäksi jalkapohjien ihotyyppi eroaa paksuudeltaan alaraajojen muusta ihosta ja jalkapohjien lämpötilaa on tutkittu jo aikaisemmissa projekteissa, joten päätimme keskittyä tässä tutkimuksessa valitsemiimme ihoalueisiin alaraajan alueella.



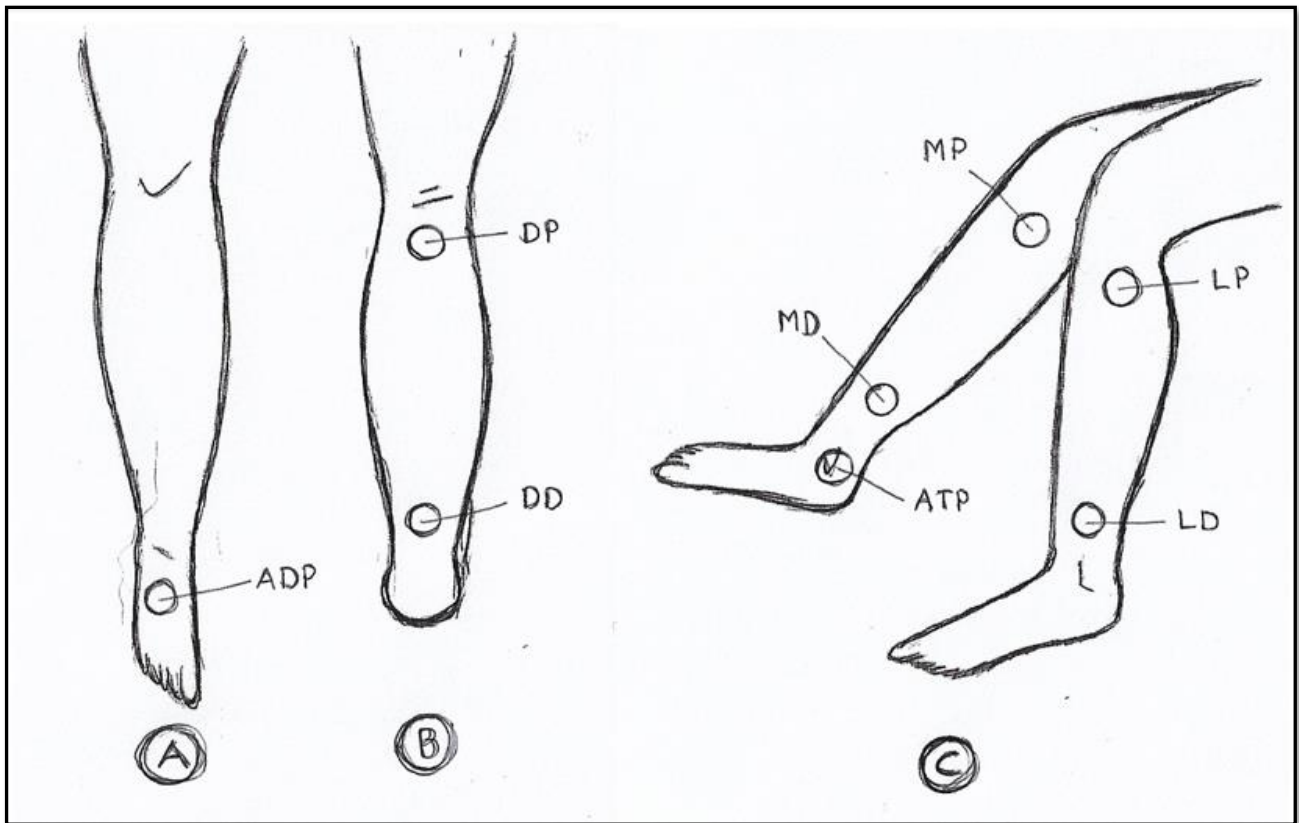
Kuva 2. Tutkimuksen kulku.

3.4 Kuvauslaitteisto

Kuvaus suoritettiin infrapunakameralla noin metrin etäisyydeltä kuvattavasta kohteesta. Kuvauksissa käytettiin Thermidas Oy:n tutkimuskäyttöön lainaamaa infrapunakameraa FLIR TG165.

3.5 Lämpökuvien ja potilastietojen taulukointi

Lämpökuvista taulukoitiin ihon pintalämpötilojen minimi- ja maksimiarvot seuraavissa raajojen kohdissa: säären mediaali proksimaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä MP), säären mediaali distaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä MD), säären lateraali proksimaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä LP), säären lateraali distaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä LD), säären dorsaali proksimaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä DP), säären dorsaali distaali -kohta (jatkossa käytetään lyhennettä DD), nilkasta mediaalisesti ATP:n kohta (jatkossa käytetään lyhennettä ATP) ja jalkapöydän ADP:n kohta (käytetään jatkossa lyhennettä ADP) (kuva 3). Lisäksi taulukoitiin tutkimushenkilöiden ikä, sukupuoli, ABI- ja TBI-mittausten tulokset sekä diagnosoiduista sairauksista tyypin 1 diabetes, tyypin 2 diabetes, sepelvaltimotauti ja alaraajojen perifeerinen valtimotauti.



Kuva 3. Lämpökuvissa käytetyt jalkojen kohdat, joista lämpötilat on määritetty. Kuvaan merkitty käytetyt lyhenteet. A) jalka kuvattuna edestä (anteriorisesti), B) jalka kuvattuna takaa (posteriorisesti) ja C) jalka kuvattuna sivulta (mediaalisesti ja lateraalisesti).

4 TULOKSET

Tutkimukseen osallistui 99 tutkimushenkilöä, joista 31,3 % (N=31) oli naisia ja 68,7 % (N=68) oli miehiä. Tutkimushenkilöiden iän vaihteluväli oli 46–94 vuotta ja keskimäärin ikä oli $72,9 \pm 10,4$ vuotta. Tutkimushenkilöillä esiintyi tyypin 1 diabetesta 1,0 %:lla (N=1), tyypin 2 diabetesta 42,4 %:lla (N=42), sepelvaltimotautia 33,3 %:lla (N=33) ja alaraajojen perifeeristä valtimotautia 76,8 %:lla (N=76). Tiedot on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Sukupuolen ja iän jakautuminen tutkimuksessa, sekä tutkimushenkilöiden sairastamat pitkäaikaissairaudet.

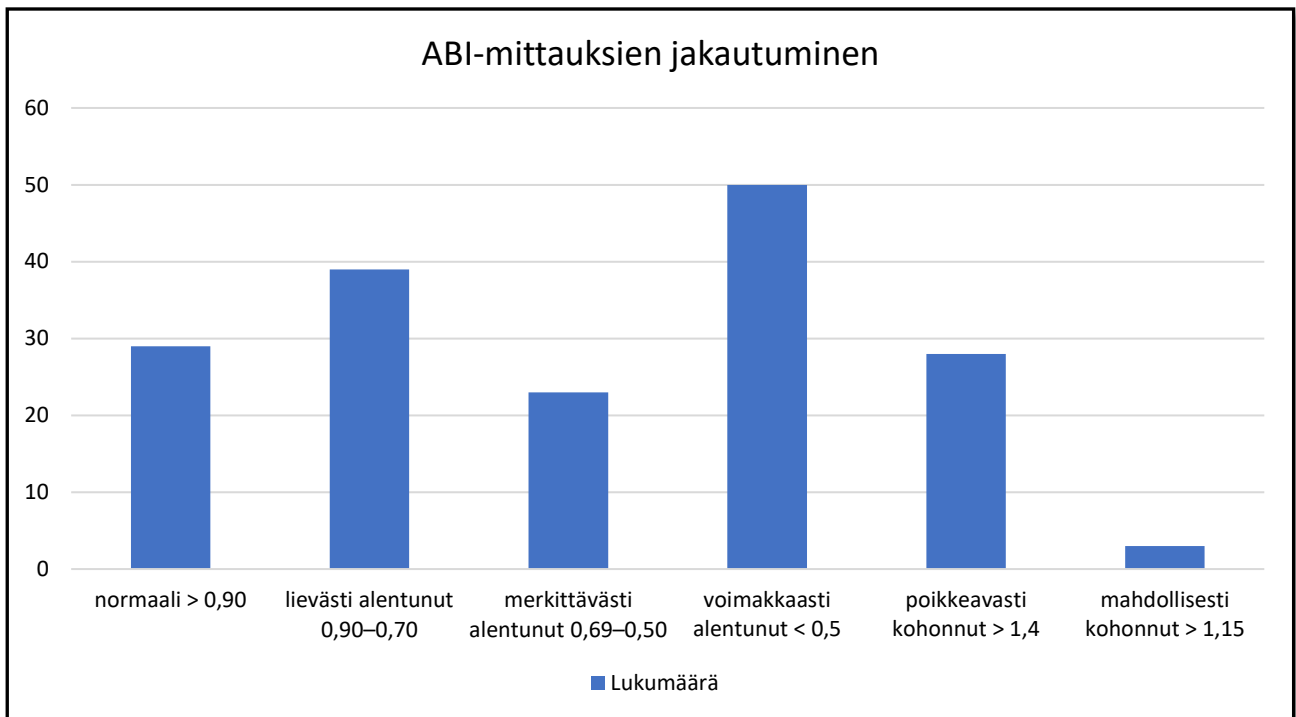
Muuttuja	Arvo
Sukupuoli (N, miehet/naiset)	68/31
Ikä (vuodet)	72,9±10,4
DM2 (N)	42
DM1 (N)	1
ASO-tauti (N)	76
MCC (N)	33

Oikeanpuoleinen ABI-arvo saatiin määritettyä 88 tapauksista ja näiden ABI-arvojen vaihteluväli oli 0,25–1,44 ja keskimäärin ABI-arvo oli 0,87±0,32. Vasemmanpuoleinen ABI-arvo saatiin määritettyä 84 tapauksista ja näiden ABI-arvojen vaihteluväli oli 0,15–1,36 ja keskimäärin ABI-arvo oli 0,78±0,31.

Oikeanpuoleinen TBI-arvo saatiin määritettyä kaikissa tapauksissa ja vaihteluväli oli 0,10–1,06 ja keskimäärin TBI-arvo oli 0,51±0,25. Vasemmanpuoleinen TBI-arvo saatiin määritettyä 97 tapauksista ja vaihteluväli oli 0,08–1,07 ja keskimäärin TBI-arvo oli 0,49±0,23.

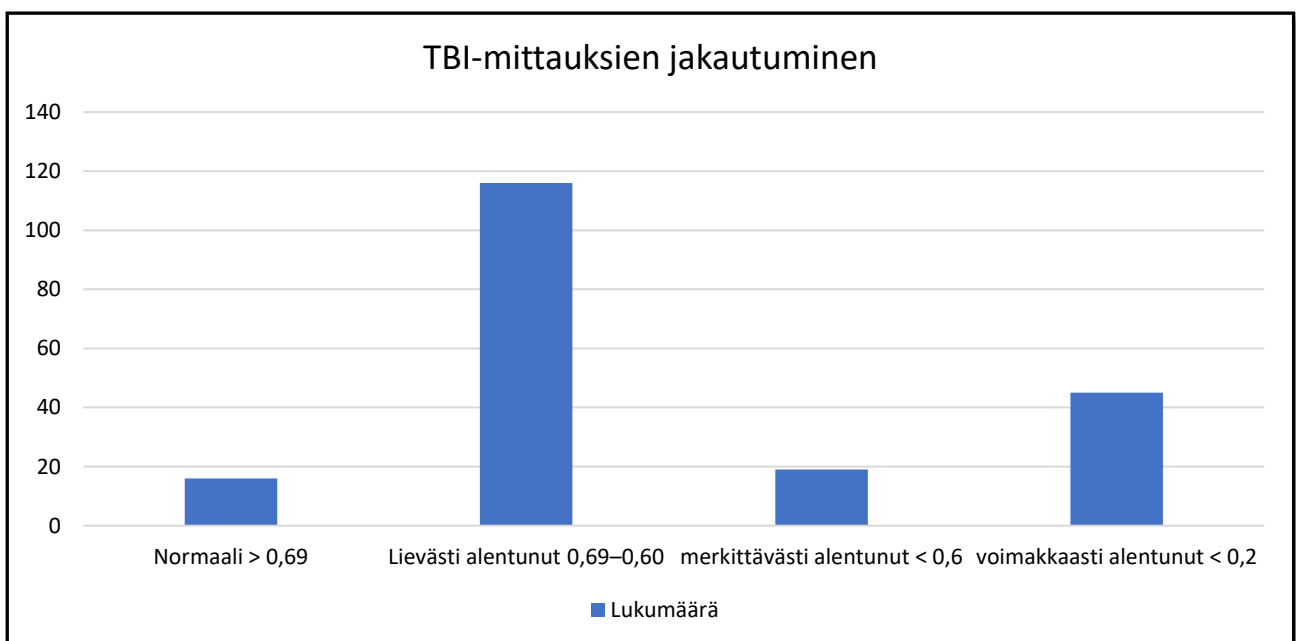
Tuloksia analysoitaessa oletettiin tutkimushenkilön jalat itsenäisiksi tutkimuksen kohteiksi eli tutkimuksemme osallistui näin ollen 198 tutkittavaa jalkaa. Tuloksia analysoitaessa yhdistettiin oikean ja vasemman jalan vastaavat arvot ja näiden perusteella tehtiin analyysit. Kaikista tutkimukseen osallistuneista jaloista ei ollut mahdollista määrittää kaikkia tutkimuksessa käytettäviä arvoja, ja syinä tähän olivat tutkimushenkilöiden hankalat säärihaavat, joissa sidokset estivät kuvauksen tai tulehtuneen jalan valheellisen korkean lämpötilan vuoksi ei arvoa määritetty, tai tutkimushenkilön distaalisen alaraajan tai varpaiden amputaatiot. Tuloksissa on ilmoitettu kunkin mitattavan paikan kohdalla, kuinka monta arvoa on ollut käytettävissä.

Yhdistämällä oikean ja vasemman puolen arvot saatiin määritetty 172 kappaletta ABI-arvoja ja 196 kappaletta TBI-arvoja. ABI-mittauksista normaaliarvoisia eli $\geq 0,91$ oli 14,6 % (N=29), lievästi alentuneita eli 0,90–0,70 oli 19,7 % (N=39), merkittävästi alentuneita eli 0,69–0,51 oli 11,6 % (N=23), voimakkaasti alentuneita eli $< 0,5$ oli 25,3 % (N=50), poikkeavasti kohonneita eli $> 1,4$ oli 14,1 % (N=28) ja mahdollisesti kohonneita eli $> 1,15$ oli 1,5 % (N=3) (kuva 4).



Kuva 4. ABI-mittauksien tulosten jakautuminen eri ryhmien kesken.

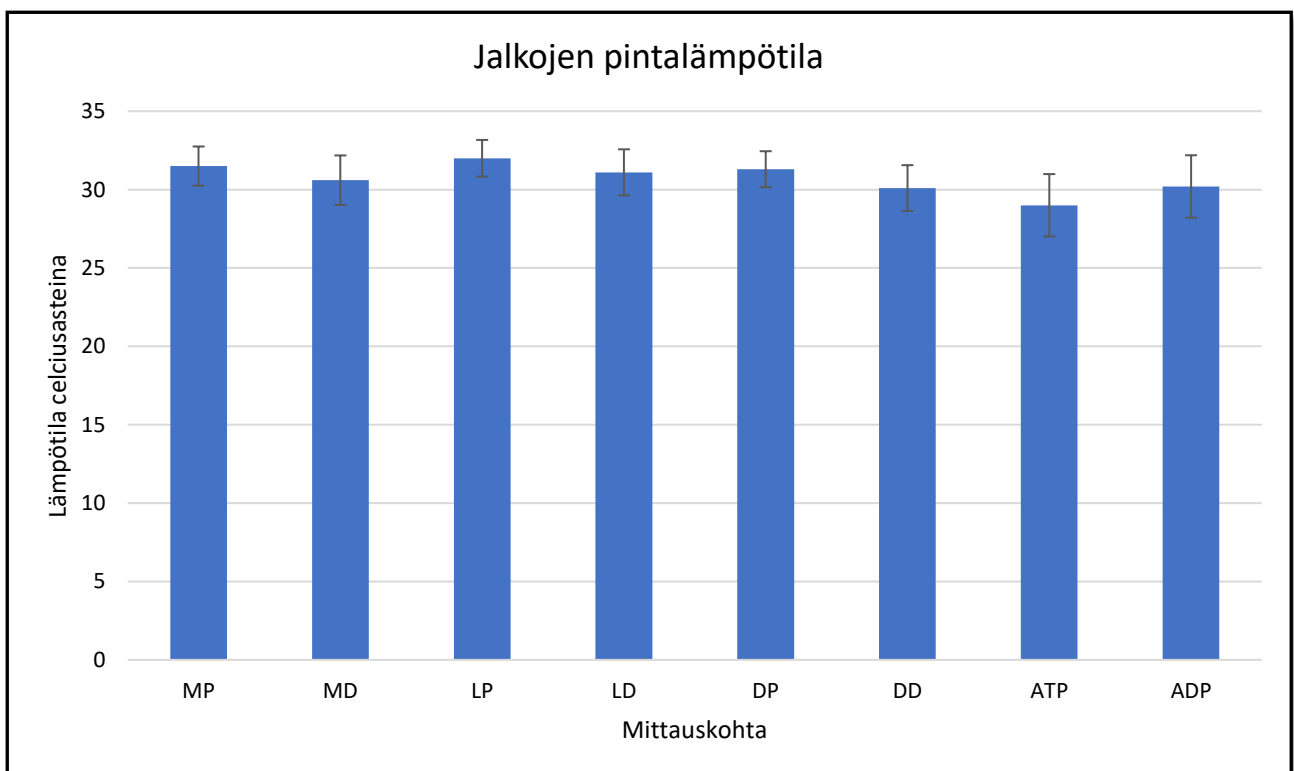
TBI-mittauksista normaaliarvoisia eli $\geq 0,7$ oli 8,1 % (N=16), lievästi alentuneita eli 0,69–0,61 oli 58,6 % (N=116), merkittävästi alentuneita eli $< 0,6$ oli 9,6 % (N=19) ja voimakkaasti alentuneita eli $< 0,2$ oli 22,7 % (N=45) (kuva 5).



Kuva 5. TBI-mittauksien tulosten jakautuminen eri ryhmien kesken.

Lämpökameralla otetuista kuvista määritettiin lämpötilat ennalta päätetyistä kohdista ja näitä käytettiin analyyseissa vertailtaessa ABI- ja TBI-mittausten tuloksiin. Jaloista otetuista lämpökuvista määritettiin lämpötilat säären MP, säären MD, säären LP, säären LD, säären DP, säären DD, nilkan ATP:n ja jalkapöydän ADP:n kohdalta. Kohdat esitetty edellä kuvassa 3.

Säären MP kohdasta saatiin 190 arvoa, joiden lämpötilojen vaihteluväli oli 27,7–35,0 ja keskimäärin lämpötila oli $31,4 \pm 1,25$, säären MD kohdasta saatiin 193 arvoa, joiden vaihteluväli oli 25,6–34,2 ja keskimäärin lämpötila oli $30,5 \pm 1,58$, säären LP kohdasta saatiin 195 arvoa, joiden vaihteluväli oli 27,4–34,9 ja keskimäärin lämpötila oli $32,0 \pm 1,17$, säären LD kohdasta saatiin 193 arvoa, joiden vaihteluväli oli 25,8–34,6 ja keskimäärin lämpötila oli $31,1 \pm 1,47$, säären DP kohdalta saatiin 194 arvoa, joiden vaihteluväli oli 27,1–33,6 ja keskimäärin lämpötila oli $31,3 \pm 1,15$, säären DD kohdalta saatiin 192 arvoa, joiden vaihteluväli oli 26,4–33,6 ja keskimäärin lämpötila oli $31,0 \pm 1,46$, nilkasta ATP kohdasta saatiin 152 arvoa, joiden vaihteluväli oli 23,5–34,0 ja keskimäärin lämpötila oli $29,0 \pm 1,94$, sekä jalkapöydältä ADP kohdasta saatiin 187 arvoa, joiden vaihteluväli oli 24,4–34,7 ja keskimäärin lämpötila oli $30,2 \pm 1,99$. Lämpötilat esitetty kuvassa 6.



Kuva 6. Jalkojen pintalämpötilojen keskiarvot ja -hajonnat eri mittauskohdissa.

Eri mittauspisteiden lämpötiloja vertailtiin ABI-luokkien välillä. Tilastollisesti merkittävänä tulosta pidetään, kun p-arvo on alle 0,05. Säären MD kohdalla verrattuna luokkakeskisarvojen välistä hajontaa ja sisäistä hajontaa saatiin p-arvoksi 0,02, joka on näin ollen tilastollisesti merkittävä. Vastaavia tuloksia saatiin säären DD kohdasta, jossa saatiin p-arvoksi 0,021, sekä jalkapöydältä ADP:n kohdalta, jossa saatiin p-arvoksi 0,037. Nämä ovat myös tilastollisesti merkittäviä. Muiden kuvauskohtien osalta ei tilastollista merkitsevyyttä analyyseissa nähdä. Vastaavasti analysoitiin eri mittauspisteiden lämpötiloja myös TBI-luokkien välillä, mutta näissä ei tilastollista merkitsevyyttä havaita. Nämä on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Eri mittauspisteiden lämpötilojen vertailu ABI- ja TBI-luokkien välillä ja näistä mittauspisteille lasketut p-arvot. P-arvon ollessa alle 0,05 voidaan tulosta pitää tilastollisesti merkittävänä.

	ABI/ p-arvo	TBI/ p-arvo
MP	0,109	0,106
MD	0,02	0,343
LP	0,27	0,163
LD	0,247	0,203
DP	0,2	0,145
DD	0,021	0,308
ATP	0,094	0,491
ADP	0,037	0,738

Lisäksi tutkimuksessa vertailtiin lämpötilojen ja ABI-arvojen merkitsevyyttä eri sairausryhmien välillä. Tässä vertailtiin erikseen vasemmasta ja oikeasta jalasta saatuja arvoja, lukuun ottamatta ATP- ja ADP-arvoja, jotka on myös tässä yhdistetty yhdeksi ryhmäksi. Tyypin 2 diabeetikoilla tilastollisesti merkittäviä tuloksia saatiin ADP (p=0,004), oikean säären MD (p=0,004) ja oikean säären DD (p=0,04) kohdista. Sepelvaltimotautia sairastavilla löydettiin tilastollisesti merkitseviä tuloksia seuraavista kohdista: oikean säären MD (p=0,048), oikean säären LP (p=0,038), oikean säären LD (p=0,044), oikean säären DP (p=0,017) ja oikean säären DD (p=0,026). Alaraajojen perifeeristä valtimotautia sairastavilla tilastollisesti merkittävä tulos havaittiin oikean säären MD (p=0,006) kohdassa. Tyypin 2 diabetesta, sepelvaltimotautia ja alaraajojen perifeeristä valtimotautia

sairastamattomien tuloksista ei havaittu tilastollisesti merkitseviä tuloksia. Tulokset on esitetty taulukossa 4.

Taulukko 4. Lämpötilojen ja ABI-arvojen merkitsevyyttä vertailtiin eri sairausryhmien välillä, p-arvot taulukoitu. Tässä erikseen taulukoitu oikean ja vasemman jalan tulokset, jotka lyhennetty O. ja V. Näiden jäljessä olevat lyhenteet, kuten aikaisemminkin (O.MP = Oikean säären Mediaali Proksimaali jne.). Ei-DM2 = henkilö ei sairasta tyypin 2 diabetesta, DM2 = henkilö sairastaa tyypin 2 diabetesta, ei-MCC = henkilö ei sairasta sepelvaltimotautia, MCC = henkilö sairastaa sepelvaltimotautia, ei-ASO = henkilö ei sairasta alaraajojen perifeeristä valtimotautia ja ASO = henkilö sairastaa alaraajojen perifeeristä valtimotautia.

	ei-DM2	DM2	ei-MCC	MCC	ei-ASO	ASO
ATP	0,354	0,761	0,974	0,124	0,884	0,482
ADP	0,085	0,004	0,435	0,055	0,162	0,133
O.MP	0,618	0,173	0,158	0,294	0,23	0,783
O.MD	0,46	0,004	0,28	0,048	0,272	0,006
O.LP	0,186	0,606	0,486	0,038	0,62	0,125
O.LD	0,413	0,169	0,865	0,044	0,293	0,066
O.DP	0,385	0,867	0,777	0,017	0,55	0,426
O.DD	0,458	0,04	0,388	0,026	0,222	0,11
V.MP	0,834	0,83	0,836	0,366	0,225	0,978
V.MD	0,799	0,276	0,251	0,603	0,161	0,53
V.LP	0,062	0,775	0,187	0,062	0,619	0,149
V.LD	0,312	0,413	0,258	0,169	0,258	0,605
V.DP	0,478	0,844	0,662	0,076	0,833	0,544
V.DD	0,552	0,499	0,163	0,79	0,109	0,498

Vastaavasti vertailtiin TBI-arvojen merkitsevyyttä eri sairausryhmien välillä. Tyypin 2 diabeetikoilla tilastollisesti merkittävä tulos löydettiin kohdasta: oikea ADP (p=0,021). Sepelvaltiotautia tai alaraajojen perifeeristä valtimotautia sairastavilta ei tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittu. Tyypin 2 diabetesta, sepelvaltimotautia ja alaraajojen perifeeristä valtimotautia sairastamattomilla ei tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittu. Tulokset on esitetty taulukossa 5.

Taulukko 5. Lämpötilojen ja TBI-arvojen merkitsevyyttä vertailtiin eri sairausryhmien välillä, p-arvot taulukoitu. Tässä erikseen taulukoitu oikean ja vasemman jalan tulokset, jotka lyhennetty O. ja V. Näiden jäljessä olevat lyhenteet, kuten aikaisemminkin (O.MP = Oikean säären Mediaali Proksimaali jne.). Ei-DM2 = henkilö ei sairasta tyypin 2 diabetesta, DM2 = henkilö sairastaa tyypin 2 diabetesta, ei-MCC = henkilö ei sairasta sepelvaltimotautia, MCC = henkilö sairastaa sepelvaltimotautia, ei-ASO = henkilö ei sairasta alaraajojen perifeeristä valtimotautia ja ASO = henkilö sairastaa alaraajojen perifeeristä valtimotautia.

	ei-DM2,	DM2	ei-MCC	MCC	ei-ASO	ASO
ATP	0,686	0,823	0,682	0,938	0,834	0,665
ADP	0,906	0,021	0,976	0,216	0,821	0,804
O.MP	0,539	0,536	0,57	0,277	0,387	0,433
O.MD	0,808	0,898	0,902	0,756	0,737	0,549
O.LP	0,19	0,779	0,124	0,071	0,312	0,563
O.LD	0,916	0,491	0,691	0,795	0,959	0,292
O.DP	0,643	0,946	0,825	0,054	0,724	0,998
O.DD	0,788	0,584	0,742	0,593	0,643	0,687
V.MP	0,808	0,891	0,324	0,516	0,252	0,983
V.MD	0,918	0,823	0,772	0,92	0,895	0,677
V.LP	0,13	0,601	0,114	0,094	0,143	0,973
V.LD	0,908	0,884	0,976	0,673	0,884	0,74
V.DP	0,822	0,892	0,575	0,216	0,915	0,895
V.DD	0,646	0,575	0,863	0,987	0,508	0,891

POHDINTA

Tässä tutkimuksessa havaittiin tilastollisesti merkitseviä tuloksia ABI-arvoja vertailtaessa säären mediaali distaali (MD), dorsaali distaali (DD) ja jalkapöydällä ADP:n kohdilla. Näiden perusteella jalan distaaliosan lämpötilan muutoksen mittauksella saattaisi olla merkitystä määrittäessä alaraajojen ahtauttavia verisuonisairauksia.

Sepelvaltimotautia sairastavilla havaittiin tilastollisesti merkittäviä tuloksia sekä jalan proksimaaliosissa että distaaliosissa, kohdissa DP, LP, DD, LD ja MD, kun vertailtiin ABI-arvoja sairausryhmän sisällä. Proksimaalisesti (LP ja DP) havaittiin lämpötilan kohoavan ABI-arvon laskiessa sekä noustessa $> 1,15$ (mahdollisesti kohonnut ABI-arvo). Distaalisesti (MD, LD ja DD) havaittiin lämpötilan laskevan ABI-arvon laskiessa normaalista ($\geq 0,91$) merkittävästi alentuneeseen ($0,69-0,51$). ABI-arvoilla voimakkaasti alentunut ($< 0,50$) sekä mahdollisesti kohonnut ($> 1,15$) lämpötilojen havaittiin pysyvän merkittävästi alentuneen tasolla tai jopa nousevan. Tässä kuitenkin tarkasteltiin vasemman ja oikean puolen jalkoja erikseen ja tilastollisesti merkittävät tulokset havaittiin vain oikean puolen tuloksista. Jatkossa tulisi lämpökuvauksia suorittaa suuremmalla otannalla ja tämän perusteella voisi mahdollisesti havaita onko tällä merkitystä suuremmassa tutkimusjoukossa.

Tyypin 2 diabetesta sairastavilla havaittiin tilastollisesti merkittäviä tuloksia jalan distaaliosissa, kun vertailtiin ABI-arvoja sairausryhmän sisällä. Tyypin 2 diabeetikoilla tilastollisesti merkitseviä tuloksia havaittiin säären mediaali distaali (MD), dorsaali distaali (DD) ja jalkaterän ADP:n kohdilla, joissa havaittiin lämpötilan laskevan ABI-arvon laskiessa normaalista ($\geq 0,91$) merkittävästi alentuneeseen ($0,69-0,51$) sekä noustessa mahdollisesti kohonneeseen ($> 1,15$). Voimakkaasti alentuneen ($< 0,50$) lämpötila pysyi samalla tasolla tai jopa hieman nousi. Myös tässä havaittiin tilastollisesti merkittävät tulokset oikean jalan tuloksissa.

Vastaavanlaisia tuloksia on saatu aikaisemmista tutkimuksista, joissa havaittiin myös lämpötilan nousevan jalan distaaliosassa ja varpaissa tyypin 2 diabetesta sairastavilla, joilla oli todettu PAD (14). PAD:ia sairastavilla diabeetikoilla päkiän alueen keskimääräinen lämpötila on korkeampi kuin diabeetikoilla, joilla ei ole PAD:ia. Yhtenä selityksenä tälle ilmiölle on esitetty jalkojen normaalin lämmönsäätelymekanismin häiriötä. On arveltu paikallisen iskemian johtavan vasokonstriktion häiriöön, joka johtaisi suurentuneeseen verenvirtaukseen ihon pintasuonissa syvempien suonien sijaan ja näin nostaisi ihon pintalämpötilaa. Diabeetikoilla, joilla on merkittävä PAD, tämä mekanismi saattaisi selittää havaitut korkeammat distaalisten jalkojen ja varpaiden ihon pintalämpötilat. On myös hypoteettisesti esitetty, että kriittisessä iskemiassa jalkojen verenkierto olisi heikentynyt niin, että vasodilataatiosta huolimatta jalka saattaisi olla kylmempi normaaliin verrattuna. (15, 16)

Aiemmassa kliinisessä lämpökuvantamiseen liittyvässä tutkimustyössä paikalliset ihon lämpötilan muutokset ovat assosioituneet korkeampaan riskiin alaraajojen neuropaattisten haavojen kehittymiselle (16, 17, 18, 19). Lisäksi on havaittu, että alaraajojen lämpötilan kotiseuranta vähentää riskiä diabeettisten alaraajahaavojen muodostumiselle korkean haavariskin potilailla (20). Jos tyypin 2 diabeetikolla on alaraajoissa jo haavoja, ei kuvaus varmastikaan ole hyvä vaihtoehto PAD:n

diagnosoimiseksi. PAD:n diagnosoiminen kliinisen arvion ja diagnostisten testien, kuten ABI-mittauksen, avulla on haastavaa haavapotilailla johtuen infektiosta, neuropatiasta ja turvotuksista (9). Näiden vuoksi ei myöskään lämpökuvauksella saataisi luotettavaa tulosta.

Alaraajojen perifeeristä valtimotautia vertailtaessa ABI-arvoihin tilastollisesti merkittävä arvo saatiin vain säären mediaali distaali (MD) kohdasta ja myös tässä tilastollisesti merkittävä tulos saatiin vain oikeasta jalasta. Havaittiin lämpötilan laskevan ABI-arvon laskiessa normaalista ($\geq 0,91$) merkittävästi alentuneeseen (0,69–0,51). Voimakkaasti alentuneessa ($< 0,50$) sekä mahdollisesti kohonneessa ($> 1,15$) lämpötila oli hieman kohonnut verrattuna merkittävästi alentuneeseen arvoon.

ABI-mittausta vertailtaessa eri sairausryhmissä, lämpötilan mittauspiste, jossa kaikilla eri sairauksilla havaittiin tilastollisesti merkitsevä tulos, oli säären mediaali distaali (MD) kohta oikean jalan puolella. Oikean säären dorsaali distaali (DD) kohdalta merkitseviä tuloksia havaittiin tyypin 2 diabeteksen ja sepelvaltimotaudin osalta. Näiden perusteella voisi ajatella, että jalan distaaliosan lämpötilan määrittämisellä, erityisesti dorsaalisesti ja mediaalisesti, saataisi olla merkitystä alaraajan valtimotauteja selvitettäessä. Aiemmassa kliinisessä tutkimustyössä on osoitettu, että terveillä ihmisillä alaraajojen pintalämpötilat ovat symmetriset keskenään (21).

TBI-mittausten tulosten perusteella ei vastaavia tuloksia saatu.

Jatkossa mittauksia kannattaisi selvittää suuremmalla otannalla. Näin voitaisiin selvittää, onko ihon pintalämpötilan mittauksessa jalan puolella väliä ja mahdollisesti saataisiin lisää tietoa, mistä kohdalta mittaus tulisi tehdä, jotta saataisiin luotettavin tulos alaraajojen valtimotautia selvitettäessä. Lisäksi alaraajojen lämpötilan seurantatutkimuksilla voitaisiin selvittää, onko ihon lämpötilassa yksilön sisäistä vaihtelua eri ajankohtina. Näiden perusteella voitaisiin mahdollisesti päätellä voisiko jalan ihon pintalämpötilan mittauksella joissain tilanteissa korvata ABI-mittauksen.

LÄHTEET

1. F Gerald R Fowkes, Rudan D, Rudan I, Aboyans V, Denenberg JO, McDermott MM, Norman PE, Sampson U, Williams LJ, Mensah GA, Criqui MH. Comparison of global estimates of prevalence and risk factors for peripheral artery disease in 2000 and 2010: a systematic review and analysis. *The Lancet* 2013; 382(9901):1329–1340
2. Criqui MH, Aboyans V. Epidemiology of peripheral artery disease. *Circ Res* 2015; 116(9):1509–26
3. Aubert CE, Cluzel P, Kemel S, Michel PL, Lajat-Kiss F, Dadon M, Hartemann A, Bourron O. Influence of peripheral vascular calcification on efficiency of screening tests for peripheral arterial occlusive disease in diabetes--a cross-sectional study. *Diabet Med* 2014; 31(2):192–9
4. Chen Q, Smith CY, Bailey KR, Wennberg PW, Kullo IJ. Disease Location Is Associated With Survival in Patients With Peripheral Arterial Disease. *J Am Heart Assoc* 2013; 2:e000304
5. White C. Intermittent Claudication. *N Engl J Med* 2007; 356(12):1241–1250
6. Creager MA, Kaufman JA, Conte MS. Acute Limb Ischemia. *N Engl J Med* 2012; 366(23):2198–2206
7. Sovijärvi ym 2003: Raajojen valtimoverenkierron tutkiminen. Teoksessa *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. S 438–452. Duodecim, Helsinki.
8. Kriittisen iskemian luonnollinen kulku. Käypä hoito -suositus. Lepäntalo M. Helsingin Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2010 (viitattu 08.02.2021). Saatavilla internetissä: www.kaypahoito.fi
9. Brownrigg JR, Schaper NC, Hinchliffe RJ. Diagnosis and assessment of peripheral arterial disease in the diabetic foot. *Diabet Med* 2015; 32(6):738–47
10. Pereira C, Miname MH, Makdisse MR, Watanabe C, Pesaro AE, Jannes CE, Kalil Filho R, Pereira AC, Santos RD. Peripheral arterial disease in heterozygous familial hypercholesterolemia. *Atherosclerosis* 2015; 242(1):174–8
11. Sovijärvi ym 2001: HYKS-laboratoriodiagnostiikka, Tutkimukset. Alaraajojen valtimopaineen mittaaminen. Teoksessa *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. s 9–10. Duodecim, Helsinki.

12. Dopplerlaitteen käyttö perusterveydenhuollossa. Käypä hoito -suositus. Ellonen M. Helsingin Suomalainen Lääkäriseura Duodecim, 2010 (viitattu 10.11.2020). Saatavilla Internetissä: www.kaypahoito.fi
13. Huslab-ohjekirja 2020: Raajojen valtimopaineen mittaaminen dopplerilla Pt-VP-dop.
14. Thiruvengadam J, Anburajan M, Menaka M, Venkatraman B. Potential of thermal imaging as a tool for prediction of cardiovascular disease. *J Med Phys* 2014; 39(2):98–105
15. Gatt A, Cassar K, Falzon O, Ellul C, Camilleri KP, Gauci J, Mizzi S, Mizzi A, Sturgeon C, Chockalingam N, Formosa C. The identification of higher forefoot temperatures associated with peripheral arterial disease in type 2 diabetes mellitus as detected by thermography. *Prim Care Diabetes*. 2018 Aug;12(4):312-318. doi: 10.1016/j.pcd.2018.01.001. Epub 2018 Feb 1. PMID: 29396205.
16. Arjaleena Ilo, MD, Pekka Ronsi, MD, PhD, Jussi Mäkelä, MD, PhD Infrared Thermography and Vascular Disorders in Diabetic Feet *J Diabetes Sci Technol*. 2020 Jan;14(1):28–36
17. David G Armstrong, Lawrence A Lavery, Paul J Liswood, William F Todd, Jeffrey A Tredwell Infrared Dermal Thermometry for the High-Risk Diabetic Foot *Physical Therapy*, Volume 77, Issue 2, 1 February 1997, Pages 169–175,
18. A. Astasio-Picadoa, E. Escamilla Martínez, A. Martínez Nova, R. Sánchez Rodríguez, B. Gómez–Martín. Thermal map of the diabetic foot using infrared thermography *Infrared Physics & Technology* Volume 93, September 2018, Pages 59–62
19. Alfred Gatt ,1 Owen Falzon ,2 Kevin Cassar,3 Christian Ellul,1 Kenneth P. Camilleri ,2,4 Jean Gauci,2 Stephen Mizzi ,1 Anabelle Mizzi,1 Cassandra Sturgeon,3 Liberato Camilleri,5 Nachiappan Chockalingam ,6 and Cynthia Formosa 1 Establishing Differences in Thermographic Patterns between the Various Complications in Diabetic Foot Disease *International Journal of Endocrinology* Volume 2018 Article ID 9808295
20. Lawrence A. Lavery, Kevin R. Higgins, Dan R. Lanctot, George P. Constantinides, Ruben G. Zamorano, Kyriacos A. Athanasiou, David G. Armstrong, C. Mauli Agrawal. Preventing Diabetic Foot Ulcer Recurrence in High-Risk Patients Use of temperature monitoring as a self-assessment tool *Diabetes Care* 2007 Jan; 30(1): 14–20.
21. Alfred Gatt, Cynthia Formosa, Kevin Cassar, Kenneth P. Camilleri, Clifford De Raffaele, Anabelle Mizzi, Carl Azzopardi, Stephen Mizzi, Owen Falzon, Stefania Cristina, Nachiappan

Chockalingam, "Thermographic Patterns of the Upper and Lower Limbs: Baseline Data",
International Journal of Vascular Medicine, vol. 2015, Article ID 831369, 9 pages, 2015.
<https://doi.org/10.1155/2015/831369>