

**RAVITSEMUKSEN, LIIKUNNAN JA NIIDEN YHDYSVAIKUTUKSEN ROOLI  
NUORTEN VALTIMOTERVEYDESSÄ**

Mika Jormanainen

Pro gradu- tutkielma

Liikuntalääketiede

Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2024

## TIIVISTELMÄ

Mika Jormanainen. Ravitsemuksen, liikunnan ja niiden yhdysvaikutuksen rooli nuorten valtimoterveydessä. Poikkileikkaustutkimus Lasten liikunta ja ravitsemustutkimuksen aineistosta. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, Liikuntalääketieteen Pro gradu-tutkielma, 39 ss., 1 liite.

Runsas energinen länsimainen ruokavalio ja fyysinen passiivisuus lisäävät sydän- ja verisuonitautien riskiä, mutta tyydyttymätön rasva sekä liikunta voivat vähentää sydän- ja verisuonitauti riskiä. Aikaisemmat tutkimukset ovat painottuneet pääosin aikuis- ja vanhusväestöön. Rasvan laadun ja liikunnan yhdysvaikutuksen roolia lasten ja nuorten valtimoterveydessä on tutkittu vähän. Tässä poikkileikkaustutkimuksessa selvitettiin ruokavaliosta saadun rasvan laadun ja liikunnan sekä niiden yhteisvaikutuksen yhteyttä valtimoterveyteen 14–16-vuotiailla nuorilla.

Lasten liikunta ja ravitsemus eli Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) -tutkimus on kahdeksanvuotinen kontrolloitu liikunta ja ravitsemus-interventiotutkimus. 277 kuopiolaista nuorta osallistui tutkimukseen ja heistä 117 sisällytettiin lopullisiin analyyseihin. Ruoan kulutusta ja ravintoaineiden saantia arvioitiin nuorten täyttämien ruokapäiväkirjojen perusteella. Nuoret täyttivät ruokapäiväkirjoja neljänä peräkkäisenä päivänä. Liikuntaa mitattiin yhdistetyn kiihtyvyyden- ja sykemittarin avulla neljän peräkkäisen päivän ajan. Lisäksi nuorilla arvioitiin voimaharjoittelun kokonaisaikaa (min/vrk) vuorokauden ajan urheiluseuran harjoituksissa, muussa ohjatussa harjoittelussa sekä omatoimisessa harjoittelussa. Voimaharjoittelun keston arviointi perustui osallistujien omaan arvioon. Analyysit tehtiin IBM SPSS 28 tilasto-ohjelmalla; perusmallissa huomioitiin ikä, sukupuoli ja kypsyysaste. Nuorten ravinnon ja liikunnan välistä yhteyttä valtimoterveyteen tutkittiin lineaarisella regressioanalyysillä. Lisäksi lisäanalyysi toteutettiin yleistetyllä lineaarisella mallilla, jossa selvitettiin tyydyttyneen rasvan (SFA) ja fyysisen aktiivisuuden aikaisen energian kulutuksen (PAEE) sekä yksittäis- ja monityydyttymättömän rasvahapon (MUFA/PUFA) ja PAEE:n yhteyttä pulssiaallon nopeuteen (PWV), sydän–nilkka verisuoni indeksiin (CAVI), kaulavaltimon intima-median paksuuteen (cIMT) sekä kaulavaltimon joustavuuteen (CAD).

Runsaampi määrä reipasta tai rasittavaa liikuntaa (MVPA) oli yhteydessä matalampaan PWV:iin ja CAVI:iin ja suurempaan CAD:iin sekä suurempaan cIMT:hen. PAEE oli käänteisessä yhteydessä CAVI:iin nuorilla, jotka saivat ruokavaliostaan enemmän SFA:ta ( $B = -0,020$ , 95% CI =  $-0,036$ – $(-0,004)$ ), mutta ei niillä nuorilla, joilla SFA:n saanti oli matalampaa ( $B = -0,007$ , 95% CI =  $-0,029$ – $0,015$ ,  $\beta = -0,095$ ,  $p = 0,526$ ; interaktio). PAEE oli suorassa yhteydessä cIMT:hen nuorilla, jotka saivat ruokavaliostaan enemmän PUFA:a ( $B = 0,001$ , 95% CI =  $0,000$ – $0,001$ ,  $\beta = 0,243$ ,  $p = 0,063$ ; interaktio), mutta myös matalamman PUFA:n saannilla ( $B = 0,001$ , 95% CI =  $0,000$ – $0,002$ ,  $\beta = 0,327$ ,  $p = 0,019$ ; interaktio) oli myös yhteys suurempaan cIMT:hen. Voimaharjoittelu ei ollut yhteydessä PWV:hen, CAVI:iin, cIMT:hen ja CAD:iin.

Tutkimuksemme antoi viitteitä siitä, että MVPA:lla, PAEE:lla sekä rasvan laadun parantamisella on yhteys suotuisampaan valtimoiden joustavuuteen nuorilla. Lisäksi liikunnan määrällä ja liikuntamuodolla voi olla yhteys parempaan valtimoterveyteen.

Asiasanat: Valtimojärkevyys, fyysinen aktiivisuus, ravitsemus, lapset, nuoret

## ABSTRACT

Mika Jormanainen. The role of nutrition, exercise, and their interaction in adolescent arterial health. A cross-sectional study of data from the Children's Physical Activity and Nutrition Survey. Faculty of Sport and Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis in Sports Medicine, 39 pp., 1 appendix.

A high-energy Western diet and physical inactivity increase the risk of cardiovascular disease. Previous studies have mainly focused on the adult and old-age population. The role of fat quality and the interaction between exercise in arterial health in adolescents has been little studied. This cross-sectional study investigated the relationship between dietary fat quality and physical activity and their combined effect on arterial health in adolescents aged 14–16 years.

The Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) study is an eight-year controlled exercise and nutrition intervention study. 277 young people participated in the eight-year follow-up study, and 117 of them were included in this analysis. Food consumption and nutrient intake were assessed based on the dietary diaries. The participants filled out the dietary diaries on four consecutive days and exercise was measured using a combined accelerometer and heart rate monitor at four consecutive days. In addition, the total time of resistance training (min/day) in sports clubs, in other supervised clinical training, and self- training was evaluated. The evaluation of the duration of resistance training was based on the participants' own assessment. The analyses were performed using IBM SPSS 28 statistical software; The basic model was adjusted for age, sex and maturity.

The association between nutrition and PA in adolescents with arterial health was investigated using linear regression analysis. In addition, further analysis was carried out using a generalized linear model investigating the interaction between saturated fat (SFA) and energy consumption during physical activity (PAEE), as well as mono- and polyunsaturated fatty acids (MUFA/PUFA) and PAEE with pulse wave velocity (PWV), cardio-ankle vascular index (CAVI), carotid intima media thickness (cIMT) and carotid artery distensibility (CAD).

A higher amount of MVPA was associated with lower PWV and CAVI and higher CAD and higher cIMT. PAEE was inversely related to CAVI in adolescents who received more SFA from their diet ( $B=-0.020$ , 95% CI=  $-0.036$  to  $-0.004$ ), but not in adolescents with lower SFA intake ( $B= -0.007$ , 95% CI=  $-0.029$ - $0.015$ ,  $\beta= -0.095$ ,  $p= 0.526$ ; interaction). PAEE was directly related to cIMT in adolescents who received more PUFA from their diet ( $B=0.001$ , 95% CI=  $0.000$ - $0.001$ ,  $\beta=0.243$ ,  $p=0.063$ ; interaction), but also lower PUFA intake ( $B=0.001$ , 95% CI=  $0.000$ - $0.002$ ,  $\beta= 0.327$ ,  $p=0.019$ ; interaction) was also associated with higher cIMT. Resistance training was not associated with PWV, CAVI, cIMT and CAD.

Our study found that MVPA, PAEE, and improved fat quality are associated with more favorable arterial elasticity in adolescents. In addition, the amount of exercise and the form of exercise may be associated with better arterial health.

Keywords: Arterial stiffness, physical activity, nutrition, children, adolescents

## LYHENTEET

aIMT	Aortan intima-median paksuus
ALA	$\alpha$ -linoleenirasvahapon
AIx	Augmentaatio indeksi
AIx@75	Augmentaatio indeksi; syke 75 lyöntiä/min
CRP	C-reaktiivinen proteiini
cIMT	Kaulavaltimon intima-median paksuus
DHA	Dokosaheksaenihappo
ELN	Elastiinigeeni
eNOS	Endoteeli välitteinen typpioksidi
EPA	Eikosapentaenihappo
FMD	Virtausvälitteinen verisuonen laajentuminen
Glyc-A	Glykoproteiini-A
HUFA	Erittäin tyydyttymätön rasvahappo
IMT	Intima-median paksuus
LDL-C	Low density lipoprotein cholesterol
LVH	Vasemman kammion hypertrofia
MCT	Kohtalainen jatkuva harjoittelu
MUFA	Yksittäistyydyttymätön rasvahappo
NO	Typpioksidi
PAI-1	Plasminogeeniaktivaattorin estäjä 1
PUFA	Monitydyttymätön rasvahappo
PWV	Pulssiaallon nopeus
ROS	Reaktiivinen happiradikaali

SFA

Tyydyttynyt rasvahappo

TAG

Triasyyliglyseroli

# SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ  
ABSTRACT  
LYHENTEET

1	JOHDANTO .....	1
2	VALTIMOIDEN ANATOMIA JA VALTIMOTAUTIEN PATOFYSIOLOGIA .....	3
2.1	Valtimoiden rakenne.....	3
2.2	Valtimoiden toiminta.....	4
2.3	Valtimoiden rakenteelliset muutokset .....	7
2.3.1	Intima-median paksuus.....	8
2.3.2	Valtimojäykkyys.....	10
3	RAVITSEMUKSEN MERKITYS VALTIMOTERVEYDESSÄ .....	13
3.1	Rasvan laadun merkitys valtimoterveydessä.....	15
3.2	Tyydyttyneet, yksittäistyydyttymättömät ja monitydyttymättömät rasvahapot ....	17
4	LIIKUNNAN MERKITYS VALTIMOTERVEYDESSÄ .....	19
4.1	Reipas ja rasittava liikunta.....	23
4.2	Liikuntamuodon merkitys valtimoterveydessä.....	24
5	LASTEN LIIKUNTA JA RAVITSEMUS-TUTKIMUS .....	27
6	TUTKIMUKSEN TAVOITTEET, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT	29
7	LÄHTEET .....	30

## LIITTEET

Liite 1. Ravitsemuksen, liikunnan ja niiden yhdysvaikutuksen rooli nuorten valtimoterveydessä

## 1 JOHDANTO

Kaulavaltimon intima-media-kerrosten (cIMT) paksuuntumista pidetään ensimmäisenä valtimotautien merkinä, joka indikoi valtimoiden ahtautumista yhdessä valtimoiden jäykistymisen kanssa. Näitä varhaisia muutoksia havaitaan myös oireettomilla henkilöillä (Dawson ym. 2009). Valtimoiden ahtautumiseen ja jäykistymiseen liittyvät patofysiologiset prosessit alkavat jo lapsuudessa (Huang ym. 2015; Saeedi ym. 2020; Buckland ym. 2022). Dawsonin ym. (2009) mukaan ateroskleroosi alkaa lipidien kertymisellä valtimoiden sisäkalvoon eli intimaan muodostaen haitallisia rasvajuosteita. Lapsuuden lihavuus, kohonnut verenpaine, hyperinsulinemia, dyslipidemia ja endoteelimuutokset altistavat valtimoiden ahtautumiselle ja valtimoiden jäykistymiselle (Buckland ym. 2022). Lapsuudessa ilmaantuneet riskitekijät säilyvät todennäköisesti myöhäisempään aikuisuuteen ja korreloivat elintapojen kanssa koko elinkaaren ajan (Buckland ym. 2022). Laajat tutkimukset ovat osoittaneet, että liikunta ja ruokavalio ovat tärkeimpiä tekijöitä, joihin voidaan vaikuttaa sydän- ja verisuonitautien riskin pienentämiseksi (Ros ym. 2014; Shen ym. 2015; Buckland ym. 2022). Lisäksi lasten ylipainon, lihavuuden ja metabolisen oireyhtymän ennaltaehkäiseminen hidastaa valtimotautien patofysiologisen prosessin etenemistä sekä vähentää kliinisten sydäntapahtumien kohonnutta riskiä aikuisuudessa (Saeedi ym. 2020; Mihuta ym. 2023; Horta ym. 2015).

Lasten ja nuorten ravitsemuksessa erityisesti suuri tyydyttyneen rasvan ja suolan kokonaissaanti sekä muut epäterveelliset ruokavaliomallit, kuten pikaruuat ja paljon sokeria sisältävät tuotteet (Saraf ym. 2021) saattavat lisätä valtimoiden jäykkyyttä (Leed ym. 2023). Liikunnalla on myönteinen vaikutus valtimoterveyteen ja se on yhdistetty alhaisempaa sydän- ja verisuonitautikuolleisuuteen aikuisilla (Ashor ym. 2014). Ashorin ym. (2014) mukaan liikunta vähentää sydän- ja verisuonitaudeista johtuvaa kuolemanriskiä 35 % verrattuna runsaaseen yhtäjaksoiseen paikallaanoloon. Lisäksi eri liikuntamuodoilla (aerobinen, vastusharjoittelu ja näiden yhdistelmä) on havaittu positiivisia vaikutuksia valtimon endoteelin toimintaan, mutta vaikutukset valtimojäykkyyteen ovat epäselviä (Leed ym. 2014).

Vaikka säännöllisellä ja riittävällä liikkumisella, ravitsemussuosituksen mukaisella ruokavalion noudattamisella, tupakoinnin vähentämisellä, sekä lihavuuden ja ylipainon ehkäisyllä on todettu olevan merkittäviä vaikutuksia, niin erityisesti nuorilla niiden yhteisvaikutuksista tiedetään vähän (Joyner & Green 2009).

Tässä tutkimuksessa selvitettiin, onko ruokavaliosta saadun rasvan laaduilla ja fyysisen aktiivisuuden intensiteetin yhdysvaikutuksella yhteyttä nuorten valtimoterveyteen. Lisäksi tarkoituksena oli selvittää, että eroavatko nämä yhdysvaikutukset valtimoterveyteen kestävyystyyppisen ja voimaharjoittelutyyppisen liikunnan välillä.



## 2 VALTIMOIDEN ANATOMIA JA VALTIMOTAUTIEN PATOFYSIOLOGIA

### 2.1 Valtimoiden rakenne

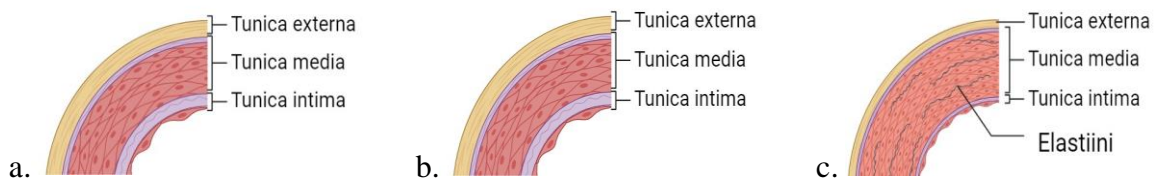
Valtimoiden seinämät muodostuvat kolmesta eri kerroksesta: *tunica intima*, *tunica media* ja *tunica adventitia* (Enis & Sadikoglu 2016) (kuva 1). Jokaisella kerroksella on oma solutyypinsä ja proteiinipitoisuutensa, ja niillä on omat tehtävänsä (Enis & Sadikoglu 2016). Endoteeli, joka koostuu yksinkertaisesta levyepiteelistä, peittää sisäkalvon eli tunica intiman. Keskikalvo (*tunica media*) koostuu sileistä lihassoluista ja sidekudoksesta. Verisuonen uloin kerros (*tunica adventitia*) koostuu sidekudoksisesta ulkokalvosta (Taylor & Johnson 2007.)

*Tunica intima* koostuu normaalisti yhdestä pitkittäissuuntaisesta kerroksesta endoteelisoluja, jotka on kiinnitetty subendoteelikerrokseen sisäisellä elastisella kalvolla, *internal elastic lamina* (Milutinovic ym. 2020). Tunica intimaan muodostunut subendoteelikerros koostuu sileistä lihassoluista ja solunulkoisesta matriisista, joka sisältää runsaasti pitkittäissuuntaisia elastisia kuituja ja proteoglykaaneja (Milutinovic ym. 2020). Lisäksi subendoteelikerros sisältää dendriittisoluja. Verisuonten sileät lihassolut ovat järjestäytyneitä ja pitkittäissuuntautuneita useisiin kerroksiin (Milutinovic ym. 2020). Tunica intima erittää bioaktiivisia aineita, mahdollistaen verisuonen paikallisen laajenemisen ja supistumisen muutoksia (Milutinovic ym. 2020).

*Tunica media* on verisuonten keskimmäinen kerros, joka koostuu pääosin poikittaisesta sileästä lihaskudoksesta (Kato ym. 2018). Lähimpänä sydäntä olevissa valtimoissa on myös suuria määriä elastisia kuituja, kuten elastiinia (Kato ym. 2018). Elastiini on pitkäikäinen solunulkoisen matriisiproteiini, joka on muotoutunut elastisiksi kuiduiksi, joiden tehtävänä on toimia valtimoiden seinämien joustavuutta lisäävänä osatekijänä. Elastiset valtimot laajenevat hemodynaamisella kuormituksella ja palautuvat alkuperäiseen muotoonsa varastoidun venymäenergian siirron avulla (Lin ym. 2022.) Vähentynyt valtimoiden elastisuus nostaa verenpainetta ja vähentää pulssiaallon vaimenemista, mikä kuormittaa sydäntä ja muita kohde-elimia, kuten munuaisia, keuhkoja ja aivoja (Lin ym. 2022; Chaudhry ym. 2022). Ihmisellä elastiini-geeni (ELN-geeni) tuottaa elastiinia (Lin ym. 2022). Erityisesti ELN:n geneettiset mutaatiot, jotka vähentävät elastiiniproteiinitasoa, liittyvät paikalliseen eli fokaaliseen valtimoahtautumaan tai valtimon luumenin kaventumiseen (Lin ym. 2022). Tunica media ulottuu

ulompaan elastiinia sisältävään kerrokseen, external elastic laminaan. Tämä kerros erottaa sen valtimon uloimmasta kerroksesta, tunica adventitiasta (Taylor & Johnson 2007).

*Tunica adventitia (externa)* on sidekudosta, ja se sijaitsee verisuonen uloimpana kerroksena. Fibroblastit ovat adventitaalisen sidekudoksen pääsoluja. Tunica adventitia sisältää myös esisoluja ja immuunisoluja, kuten makrofageja, T-soluja, B-soluja ja dendriittisoluja (Milutinovic ym. 2020). Tunica adventitia koostuu pitkittäisistä kollageeni- ja elastiinisäikeistä. Tämä kerros liittyy verisuonet niitä ympäröivään löyhään sidekudokseen. Suurten valtimoiden tunica adventitia sisältää lisäksi verta kuljettavan verisuoniverkoston, *vasa vasorumin* (Taylor & Johnson 2007.)



KUVA 1. Valtimon rakenne. a) valtimo, b) lihasvaltimo ja c) elastinen valtimo (Mukaiillen Biorender.com).

## 2.2 Valtimoiden toiminta

Verisuonisto jakautuu kolmeen eri osaan: Systemiverenkierron verisuoniston 1) valtimoihin, jossa hapekas veri kuljetetaan elimistön kudosten käyttöön sekä 2) laskimoihin, missä veri palautetaan takaisin keuhkojen kautta sydämeen uudelleen pumpattavaksi, ja 3) kapillaareihin, jossa kaasujen vaihto tapahtuu (Thompson 2019, 126). Verenkiertojärjestelmän päätehtävänä on kuljettaa happea, ravinteita ja hormoneita kudoksille ja poistaa kudoksista hiilidioksidia ja laktaattia sekä muita aineenvaihduntatuotteita (Thompson 2019, 126). Valtimoiden toiminnan heikentyminen vaikuttaa esimerkiksi edellä mainittuihin toimintoihin heikentyneen verenvirtauksen kautta (Thompson 2019, 131).

Sydän pumpkaa verta elimistön eri elimiin verisuonia pitkin (Enis & Sadikoglu 2016). Valtimot ovat paksuseinäisiä, joustavia, ja putkimaisia verisuonia. Päävaltimo on aortta, josta se haarautuu yhä pienempiin valtimoihin (Kenney ym. 2012). Valtimopuuston lopussa pienempiä

valtimoita kutsutaan arterioleiksi. Pienimmissä valtimoissa on vain kaksi kerrosta, endoteeli ja tunica media. Arteriolit ovat valtimopuuston viimeisimmät valtimot ennen kuin veri siirtyy laskimoihin (Kenney ym. 2012.)

Suuria valtimoita on kahdenlaisia – elastisia valtimoita ja muskulaarisia eli lihasvaltimoita (kuva 1) (Kenney ym. 2012). Elastisia suuria valtimoita ovat aortta ja sen päähaarat, kaulavaltimo sekä keuhkovaltimot (Thompson 2019, 126). Elastiset valtimot sisältävät paljon enemmän elastista kudosta tunica-media kerroksessa kuin lihasvaltimot (Tucker ym. 2023). Tämä elastisten valtimoiden ominaisuus antaa niille mahdollisuuden ylläpitää suhteellisen vakiotasoista painegradienttia sydämen jatkuvasta pumppaustoiminnasta huolimatta (Tucker ym. 2023).

Kaulavaltimot kuljettavat verta päähän ja kaulan alueille. Vasen yhteinen kaulavaltimo lähtee ylemmän välikarsinan aortan kaaresta, kun taas oikea yhteinen kaulavaltimo lähtee pään ja käden valtimorungosta (brachiocephalic-runko) oikean sternoclavicular-nivelen takaa (Charlick & Das 2023). Yhteinen kaulavaltimo haarautuu ulkoisiin ja sisäisiin kaulavaltimoihin, kaulavaltimon ja neljännen kaulanikaman (C4) tasolla (Charlick & Das 2023).

Valtimot sisältävät ainoastaan sileitä lihassoluja. Sileät lihassolut sijaitsevat yhdessä elastisten kuitujen ja sidekudoksen kanssa tunica media -kerroksessa (Tucker ym. 2023). Vaikka suonet sisältävät vain sileitä lihaksia, luustolihasen supistumisella on tärkeä rooli veren liikkumisessa periferiasta kohti sydäntä laskimojärjestelmää pitkin (Tucker ym. 2023).

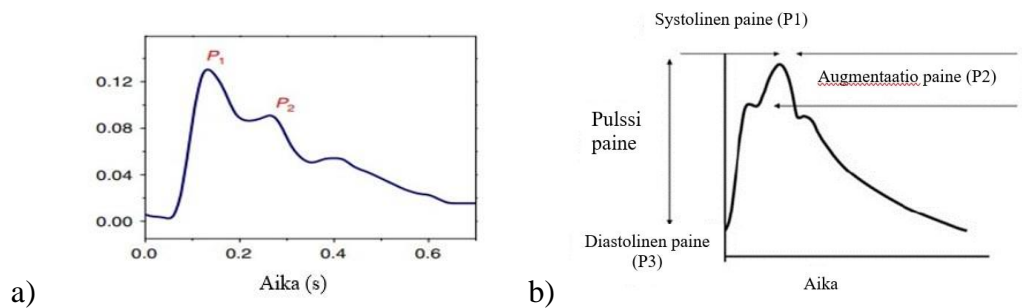
Lihasset valtimoissa on enemmän sileitä lihassoluja tunica media -kerroksessa kuin elastisissa valtimoissa (Tucker ym. 2023). Lihasset valtimoihin kuuluvat esimerkiksi olkavarren valtimo, rannevaltimo ja reisivaltimo (Tucker ym. 2023). Lihasset valtimoiden tehtävänä on kuljettaa verta kohdekudoksiin hetkittäisten tarpeiden mukaan, ja ne kykenevät myös supistumaan tehokkaammin kuin elastiset valtimot (Leloup ym. 2015). Borlottin ym. (2012) mukaan ikä lisää valtimojäykkyyttä enemmän elastisissa valtimoissa kuin lihasvaltimoissa. Ikään liittyvät geometriset muutokset eivät ole homogeenisia valtimopuussa, joten elastiinin hajoaminen tapahtuu pääasiassa vain elastisissa valtimoissa (Leloup ym. 2015).

Valtimoiden toiminnassa alkaa tapahtua muutoksia matala-asteisen tulehduksen seurauksena. Matala-asteinen tulehdus aiheuttaa esimerkiksi normaalin verenpaineen nousua, stressihormonien lisääntymistä, korkeita verensokeripitoisuuksia ja nämä aiheuttavat muutoksia, kuten endoteelin toiminnan heikkenemistä (Thompson 2019, 131). Ikääntymisprosessissa tunnusomaista on matala-asteinen tulehdus, jolloin ikääntyneessä

verisuonen seinämässä tapahtuu vuorovaikutusta lisääntyneen oksidatiivisen stressin ja tulehdusprosessien aktivoitumisen välillä (Kozakova & Palombo 2021). Connellyn ym. (2017) mukaan tämä viittaa siihen, että akuutin tulehduksen kohoamisen lisäksi glykoproteiini-A (Glyc-A) tasot nousevat myös rasvakudokseen liittyvän matala-asteisen kroonisen tulehduksen kanssa. GlycA on biomarkkeri, joka ilmaisee kehon yleistä tulehduksellista tilaa sekä verisuonten inflammaation suuruutta (Connelly ym. 2017) ja mittaa eri plasmaproteiinien N-glykosylaation laajuutta (Ballout & Remaley 2020). Liikunta vaikuttaa viskeraalisen rasvan määrään vähentävästi, jolla saattaa olla pienentävä vaikutus Glyc-A pitoisuuteen (Bartlett ym. 2017). Lisäksi Bartlettin ym. (2017) mukaan jo pienetkin veren Glyc-A pitoisuuksien laskut voivat pienentää tulehdusvälitteisten vaurioiden riskiä, joita ilmenee esimerkiksi kroonisissa sairauksissa. Fyysisen aktiivisuuden ja terveellisen ruokavalion laadun yhteisvaikutus liittyy kardiometabolisten tulehdustekijöiden, C-reaktiivinen proteiinin (CRP) ja apolipoproteiini B:n, vähenemiseen postmenopausaalisilla naisilla (Bartlett ym. 2017). Lisäksi rasittavan liikunnan ja ruokavalion yhteisvaikutuksella on vaikutusta Glyc-A:n pitoisuuksien alenemiseen ylipainoisilla aikuisilla henkilöillä, joilla on esidiabetes (Bartlett ym. 2017). Glyc-A korreloi positiivisesti painoindeksin (BMI), insuliiniresistenssin, metabolisen oireyhtymän merkkiaineiden sekä leptiinin ja adiponektiinin kanssa (Connelly ym. 2017).

Elastiinin hajoaminen, kollageenin kerrostuminen ja sileän lihaksen lisääntyminen valtimon seinämässä (Boutouyrie & Vermeersch 2010) ovat seurausta jatkuvasta altistumisesta vapaille radikaaleille ja tulehduksellisille sytokiineille (Ashor ym. 2014). Kozakovan & Palombon (2021) mukaan endoteelin toimintahäiriö ilmenee protromboottisten ja proinflammatoristen olosuhteiden vallitessa. Endoteelin homeostaattista tasapainoa pidetään yllä pääosin vapauttamalla typpioksidia (NO), joka on vasoprotektiivinen molekyyli, joka syntetisoidaan endoteelin typpioksidisyntaasilla (eNOS) käyttämällä L-arginiinia, molekyylihapen sekä pelkistyneen nikotiiniamidi-adeniini-dinukleotidifosfaatin (NADPH) että kofaktori tetrahydrobiopterinin läsnä ollessa. Endoteelin toimintahäiriön voi aiheuttaa mikä tahansa tila, missä NO-syntaasi on heikentynyt tai siinä tapahtuu liiallista NO:n hajoamista. Ensisijainen mekanismi, mikä liittyy ikääntyneiden endoteelin toimintahäiriöihin on oksidatiivinen stressi. Tälle on ominaista reaktiivisten happiradikaalien (ROS) liiallinen tuotanto ja endogeenisen antioksidanttipuolustusjärjestelmän kyvyn heikentyminen (Kozakova & Palombo 2021.) Liiallinen ROS tuotanto endoteelisoluissa reagoi NO kanssa, mikä johtaa NO:n deaktivointiin ja peroksinitriitin muodostumiseen (Kozakova & Palombo 2021). Lisäksi ROS hapettaa myös tetrahydrobiopterinin, mikä estää NO-synteesiä.

Lisääntynyt valtimojäykkyys lisää systolisen pulssiaallon nopeampaa heijastumista perifeerisistä pienistä valtimoista eli augmentaatioindeksiä (AIx) (etenevän pulssiaallon huipun ja palaavan heijastusaallon summautuneen osan suhde) (kuva 2), joka aiheuttaa keskeisen aortan paineen nousua (Ashor ym. 2014; Kozakova & Palombo 2021). Takaisinheijastuma-aika voidaan myös suhteuttaa syketasoon 75/min (AIx@75-indeksi). Lisäksi ison verenkierron paineen nousu lisää kammioiden jälkikuormitusta (Kozakova & Palombo 2021; Fernberg ym. 2021) ja alentaa sepelvaltimoiden perfuusiopainetta, mikä voi lopulta aiheuttaa sydänlihaksen hypertrofiaa, iskemiaa tai sydäninfarktin (Ashor ym. 2014). Näin ollen valtimoiden jäykkyys näyttäisi olevan tärkeä tekijä sydän- ja verisuonitautien syntyyn (Leed ym. 2014).

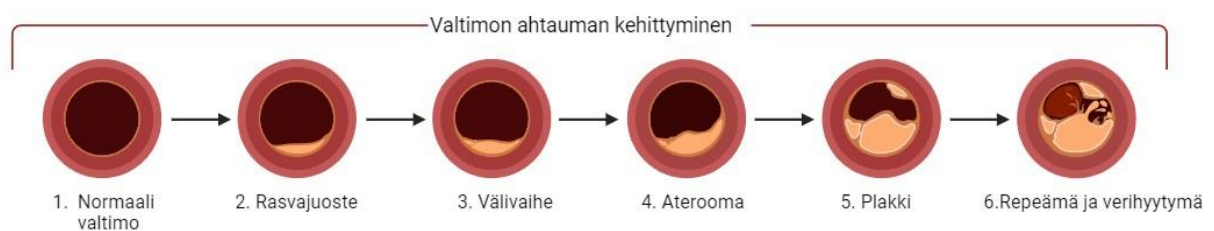


KUVA 2. a) Pulssiaallon normaali heijastuminen (mukaiillen Zang ym. 2015) ja b) epänormaali heijastuminen. Lisääntynyt valtimoiden jäykkyys.  $P_1$  = systolinen paine,  $P_2$  = augmentaatio paine ja  $P_3$  = diastolinen paine (mukaiillen Dinic ym. 2014).

### 2.3 Valtimoiden rakenteelliset muutokset

Intiman rakenne muuttuu iän myötä monikerroksiseksi, johtuen sileiden lihasten solujen siirtymisestä väliaineesta tunica intimaan. Intiman monikerroksisuutta pidetään tärkeänä vaiheena ateroskleroosin kehitymisessä, vaikka ateroskleroottiset plakit kehittyvät vain paikallisesti johtuen eri tulehdusprosessien vuorovaikutuksesta (Milutinovic ym. 2020). Dawsonin ym. (2009) mukaan ateroskleroosi alkaa jo varhaislapsuudessa lipidien kertymisellä valtimoiden intimaan muodostaen haitallisia rasvajuosteita. Ateroskleroosi on tulehduksellinen sairaus, joka etenee pitkään oireettomana (Horta ym. 2015). Ateroskleroosi vaikuttaa sepelvaltimon seinämän kaikkien kolmen kerroksen rakenteeseen ja niiden toimintaan (Milutinovic ym. 2020).

Rasvaa ja kolesterolia kuljetetaan verenkierrossa lipoproteiinipartikkeleissa, joiden rakenne eroaa tiheyden ja rakenteen osalta (Ilander 2018). LDL-partikkelit kuljettavat kolesterolia kudoksiin, jolloin LDL-partikkelit saattavat tarttua verisuonten seinämiin (Ilander 2018). Suonten seinämiin juuttuvat LDL-partikkelit voivat hapettua, mikä houkuttelee makrofageja eli tulehdussoluja paikalle (Ilander 2018). Tällöin makrofagit ottavat sisäänsä hapettuneita LDL-partikkeleita, jolloin syntyy rasvajuoste eli aterooma valtimon seinämään (Ilander 2018). Tällöin verisuonen seinämä pullistuu ja ahtauttaa verisuonta (ateroskleroosi). Tämä aiheuttaa negatiivisia muutoksia verenvirtauksessa, mikä ilmenee ympäröivien kudosten hapenpuutteena (Ilander 2018) (kuva 3).



KUVA 3. Ateroskleroosin kehittyminen. 1. Normaali valtimo. Seinämä on ohut, sileä ja kimmoisa. 2. LDL kolesterolin kertyminen ja rasvajuosteen muodostuminen alkaa. 3. Välivaihe, jossa tulehdussoluja eli makrofageja alkaa kertyä verenkierrosta valtimon seinämään. 4. Makrofagit eivät pysty poistamaan liiallista LDL kolesterolia ja aterooma alkaa kehittyä. 5. Plakin muodostuminen. 6. Plakin repeytyminen ja verihyytymän muodostuminen. Jos repeytymistä ei tapahdu, plakki kasvaa, kunnes se ahtauttaa suonta siinä määrin, että angina pectoriksen oireita esiintyy (ahtauma yli 50 % luumenin läpimitasta) (Mukaiillen Biorender.com).

### 2.3.1 Intima-median paksuus

CIMT:tä, jota mitataan luumen-intima rajapinnan etureunan ja media-adventitia rajapinnan etureunan välisenä etäisyytenä. CIMT:tä käytetään usein ateroskleroosin asteen määrittämiseen (Tanaka ym. 2002). Ateroskleroosi eli valtimoahtaumatauti kehittyy hitaasti vuosien kuluessa ja muodostaa verisuonen seinämään kovettuman eli plakin (Terveyskirjasto 2023). Valtimotauti heikentää kohde-elinten verenkiertoa aiheuttaen hapenpuutetta kyseisissä elimissä, kuten sydänlihaksessa. Neljä yleistä makrovaskulaarista sairautta ovat sepelvaltimotauti, aivoverisuonisairaus, aivohalvaus ja perifeerinen verisuonisairaus (Fowler 2008;

Terveyskirjasto 2023). Makrovaskulaarisen sairauden keskeinen patologinen mekanismi on ateroskleroosi, joka johtaa valtimoiden seinämien ahtautumaan (Fowler 2008).

Tanakan ym. (2002) tutkimuksessa havaittiin, että cIMT ja cIMT/luumenin suhde kasvavat iän lisääntyessä. Metabolinen oireyhtymä ennustaa suurempaa cIMT: tä 11–17-vuotiailla nuorilla sekä 18–34-vuotiailla nuorilla aikuisilla (Dawson ym. 2009). Donley ym. (2014) havaitsivatkin, että 0,1 mm paksuuntuma cIMT:ssä lisäsi 18 % aivohalvauksen ja 15 % sydäninfarktin riskiä aikuisilla, jotka sairastivat metabolista oireyhtymää. Dawsonin ym. (2009) tutkimuksessa cIMT:n paksuuden muutokset olivat yhteydessä triglyseridiarvoihin, verenpaineeseen, BMI:hin ja lantio-vyötärö suhteeseen, hemoglobiini A1c:hen sekä pulssipaineeseen ja leposykkeeseen, kun analyyseissä huomioitiin ikä, sukupuoli ja pituus. Lisäksi korkeammat LDL ja kokonaiskolesterolipitoisuudet olivat yhteydessä suurentuneeseen cIMT:hen nuorilla aikuisilla (Dawson ym. 2009). Lapsilla, joilla on korkea verenpaine, lihavuus, familiaalinen hyperlipidemia, tyypin 1 diabetes tai vanhemmilla on ollut varhainen sepelvaltimotauti on merkittävästi korkeampi riski kohonneeseen cIMT:hen verrattuna verrokkeihin (Dawson ym. 2009). Lisäksi tulee huomioida, että ateroskleroottiset muutokset tapahtuvat aikaisemmin vatsa-aortassa kuin kaulavaltimoissa, joten aortan intima-median paksuuden (aIMT) mittaus saattaa olla herkempi indikaattori lapsilla ja nuorilla (Dawson ym. 2009). Intiman paksuuntumista pidetään aterogeneesin ensimmäisenä vaiheena, joka johtaa myöhemmin lipidien kertymiseen verisuonen seinämään, muodostaen ateroskleroottisen plakin (Mainieri ym. 2023).

Vaikka cIMT paksuutta pidetään yhtenä ateroskleroottisen prosessin etenemisen tärkeimpänä indikaattorina (Mainieri ym. 2023), nuoruudessa cIMT muuttuu myös normaalin kasvun ja kypsymisen seurauksena. Alle 11-vuotiaana alkanut murrosikä on havaittu olevan yhteydessä paksumpaan cIMT:hen oireettomilla naisilla (Bhuiyan ym. 2015). Tämä saattaa liittyä puberteetistä johtuvaan cIMT:n luonnolliseen kehitykseen, jossa cIMT paksuuntuu sileän lihaksen määrän lisääntymisen seurauksena, eikä cIMT paksuuntuminen suoraan heijasta valtimon ateroskleroottisia muutoksia (Bhuiyan ym. 2015). Sukupuolista kypsyystasoa kuvataan usein Tannerin kuvaamaa viisiluokkaista luokitusta hyödyntäen. Kaulavaltimon intima-median paksuus on todettu kasvavan murrosiän edetessä taulukon 1 esittämällä tavalla. (Mihuta ym. 2023) (taulukko 1).

TAULUKKO 1. Keskimääräiset arvot cIMT, PWV ja AIX eri kypsyystasoilla olevilla lapsilla ja nuorilla. Tilastollisesti merkitsevät tulokset ovat lihavoitu ( $p < 0,05$ ). (Mukaiillen Mihutan ym. 2023). Kaulavaltimon intima-media paksuus (cIMT), pulssiaallon nopeus (PWV) ja augmentaatio indeksi (AIX). Kypsyystaso luokiteltu Tannerin kuvaamaa luokitusta hyödyntäen.

Kypsyystaso				
	Anova p-arvo	1	2-4	5
cIMT (mm)	<b>0,0009</b>	0,42	0,44	0,46
PWV (m/s)	<b>0,002</b>	4,5	4,6	5,0
AIX (%)	<b>0,008</b>	23,3	26,4	31,6

### 2.3.2 Valtimojäykkyys

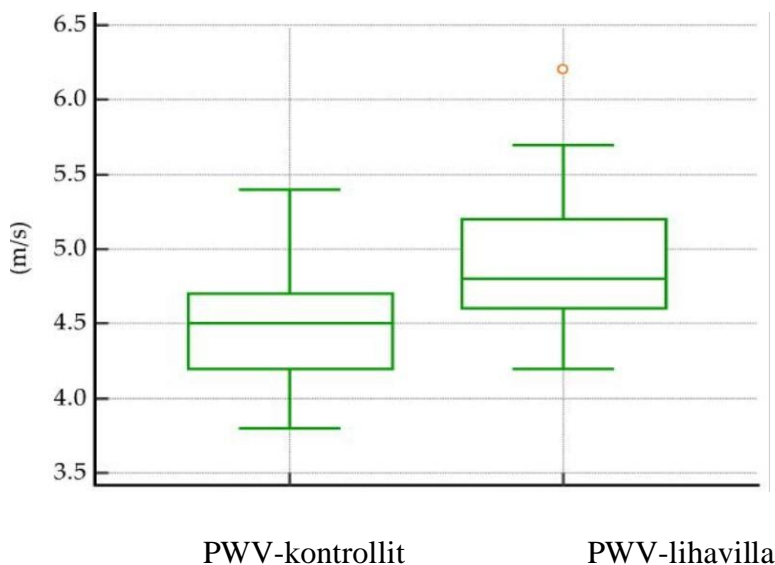
Valtimoiden jäykkyys on itsenäinen sydän- ja verisuonitautien kehittymistä, etenemistä sekä ennen aikaista kuolleisuutta edistävä riskitekijä (Stanek ym. 2023; Otsuki ym. 2007; Vlachopoulos ym. 2009). Valtimoiden jäykkyys lisääntyy usein ylipainoisilla tai lihavilla henkilöillä ennen verenpainetaudin kehittymistä. Se on myös yksi varhaisimmista lisääntyneen sydän- ja verisuonitautien riskin indikaattoreista. Valtimo jäykkyyttä voidaan pitää hyvänä ennustajana subkliinisen kardiovaskulaarisen toimintahäiriön kehittymiselle (Stanek ym. 2023). Valtimoiden jäykkyydellä ja sentraalisen (aortan) verenpaineella on merkittävä rooli kehon elinten vaurioissa (*engl. end-organ damage*), kuten verenpainetaudin aiheuttamassa vasemman kammion hypertrofiassa (LVH) (Kiris ym. 2012). LVH aiheutuu korkeasta verenpaineesta, joka lisää sydämen työmäärää (Kiris ym. 2012). Verenpaineesta johtuvaan sydämen vajaatoimintaan liittyy myös sydämen vasemman kammion diastolinen toimintahäiriö (Kiris ym. 2012).

Lisääntynyt valtimoiden jäykkyys on varhainen merkki verisuonivaurioista (Leed ym. 2023; Saeedi ym. 2020; Dawson ym. 2009), jota havaitaan jo lihavilla tai tyypin 2 diabetestä sairastavilla 10–24-vuotiailla lapsilla ja nuorilla (Stanek ym. 2023). PWV:n nousun (1 m/s) on todettu lisäävän sydän- ja verisuonitaudin riskiä aikuisilla noin 15 % (Donley ym. 2014).

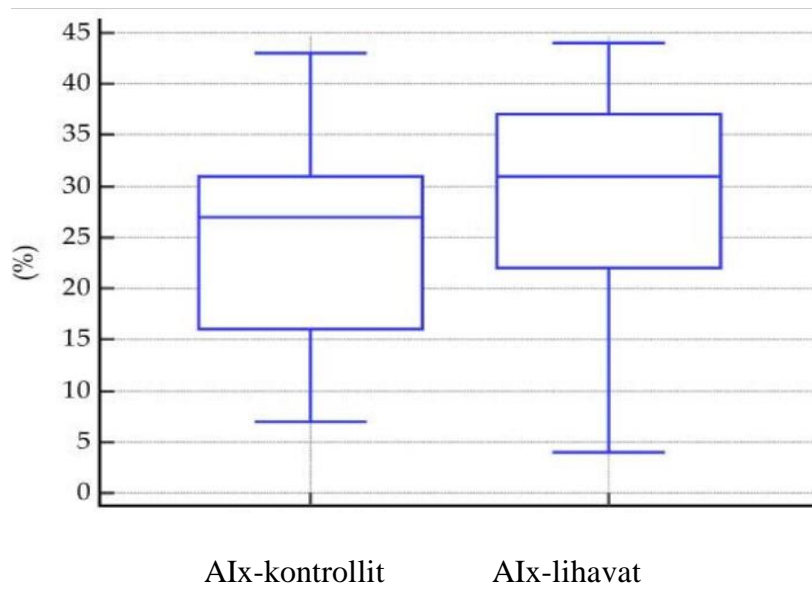


Lapsilla ja nuorilla jo pienetkin PWV:n muutokset ennustavat aikuisuuden kohonnutta sydän- ja verisuonitautiriskiä (Donley ym. 2014; Fernström ym. 2023; Leed ym. 2023). Keski-ikäisillä hypertensiivisillä potilailla epätavallisen korkeana PWV-arvona pidetään >10 m/s olevia arvoja (Kantola & Pörsti 2020).

Mihutan ym. (2023) tutkimuksessa havaittiin, että lapsilla, joilla on lihavuutta, oli korkeampi PWV kuin normaalipainoisilla verrokeilla. PWV:n mediaaniarvot olivat 4,8 m/s lihavilla tutkittavilla ja 4,5 m/s normaalipainoisilla lapsilla (kuva 4). Myös AIX oli suurempi lapsilla, joilla oli ylipainoa ja lihavuutta verrattuna normaalipainoisiin lapsiin (Mihuta ym. 2023) (kuva 5). Lisäksi Mihutan ym. (2023) tutkimuksessa havaittiin, että lihavilla lapsilla oli korkeampia kaulavaltimon systolisia verenpaineen mediaaniarvoja (116,5 mmHg), kuin kontrolleilla (103 mmHg). Samanlaisia havaintoja tehtiin lihavilla lapsilla kaulavaltimon diastolisen verenpaineen keskiarvoissa (77,08 mmHg), kun kontrolleilla samat arvot olivat 69,52 (Mihuta ym. 2023).



KUVA 4. PWV verrokeilla ja lihavilla lapsilla (Mihuta ym. 2023).



KUVA 5. AIx lihavilla lapsilla ja verrokeilla (Mihuta ym. 2023).

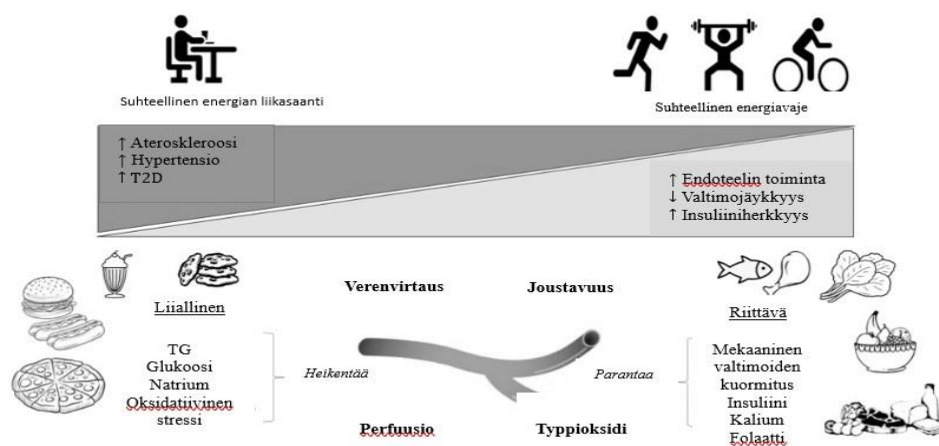
### 3 RAVITSEMUKSEN MERKITYS VALTIMOTERVEYDESSÄ

Yksi tärkeä sydän- ja verisuonitautiriskiä lisäävistä tekijöistä on länsimainen ruokavalio, joka sisältää runsaasti tyydyttyneitä rasvoja ja sakkaroosia (Stanek ym. 2023). Ruokavalion rasva voi edistää valtimosairauksia tulehdustekijöiden ja oksidatiivisten stressimekanismien kautta (Kozakova & Palombo 2021). Näin ollen lasten ja nuorten ruokailutottumukset ja erityisesti ruokavalion rasvan laadun parantaminen ovat keskeisessä roolissa sydän- ja verisuonitautien ennaltaehkäisyssä lapsuudesta alkaen (taulukko 2). Tutkimusnäytön perusteella valtimoiden terveyteen voidaan vaikuttaa korvaamalla tyydyttynyt rasva joko yksittäistyydyttymättömillä tai monityydyttymättömillä rasvahapoilla (Stanek ym. 2023).

<b>Muutos rasvan laadussa</b>	<b>Vaikutus</b>
SFA:n saanti ↓ ja MUFA:n ja PUFA:n saanti ↑	Sydäninfarkti ↓ Hypertensio ↓ Sepelvaltimotaudin esiintyvyys ja kuolleisuus ↓ ei-kuolemaan johtavien sepelvaltimotautien riski ↓ Sydän – ja verisuonitautien riski (CVD) ↓
Transrasvan saanti ↓ ja MUFA:n saanti ↑	CVD- riski ↓

TAULUKKO 2. Rasvan laadun merkitys sydän- ja verisuonitautiriskissä. Riski suurenee ↑; riski pienenee ↓; CVD= sydän- ja verisuonitauti; SFA= tyydyttynyt rasvahappo; MUFA= yksittäistyydyttymätön rasvahappo; PUFA= monityydyttymätön rasvahappo. (Mukaiillen Stanek ym. 2023).

Rasvahapot jaotellaan hiiliketjun pituuden mukaan tyydyttyneisiin (SFA), yksittäistyydyttymättömiin (MUFA) ja monityydyttymättömiin rasvahappoihin (PUFA) (Ilander 2018). Stanek ym. ovat vetäneet yhteen SFA:n terveysvaikutuksia ja todenneet, että tyydyttyneet rasvahapot eli ns. kova rasva, on haitallisin eri rasvojen laaduista CIMT:lle ja valtimoiden jäykistymiselle ja ateroskleroosille (Stanek ym. 2023). Vähäisempi SFA:n käyttö on yhdistetty matalampaan riskiin sairastua sepelvaltimosairauksiin ja sen on todettu olevan yhteydessä matalampaan ennenaikaisen ateroskleroottisen verisuonitauosta johtuvan kuoleman riskiin 72–78-vuotiailla australialaisnaisilla (Bleckenhorst ym. 2015). Lisäksi Stanek ym. (2023) havaitsivat, että runsaasti SFA:ta sisältävien elintarvikkeiden nauttiminen heikentää endoteelin toimintaa, joka johtuu epäoptimaalisesta NO-tuotannosta (Clarkson ym. 1999; Fewkes ym. 2022). Triglyseridien ja lipoproteiinitähteiden kohonneet pitoisuudet ruokailun jälkeen edistävät endoteelin toimintahäiriöitä ja lisäävät sydän- ja verisuonitaudin riskiä (Fewkes ym. 2023; Lobene ym. 2023). Lobene ym. (2023) ehdottavat, että endoteelin toiminnan parantuminen on pääosin suhteellisen energiavajeen seurausta (kuva 6).



KUVA 6. Suhteellinen energiavajeen vaikutus endoteelin toimintaan ja insuliiniherkkyyteen (Mukaiillen Lobene ym. 2023).

Lobenen ym. (2023) mukaan virtausvälitteinen verisuonen laajentuminen (FMD) vähenee 1 % ja endoteelin toiminta heikkenee enintään neljäksi tunniksi runsaasti rasvaa sisältävän aterian jälkeen, koska NO saatavuus heikkenee näiden ensimmäisten tuntien aikana. Tämä on tärkeä tekijä valtimosairauksien synnyssä, koska ihmiset ovat yleensä hereillä ollessa postprandiaalisessa tilassa (Lobene ym. 2023).

Liikunnan ympärillä olevan energian saannilla on merkitystä liikunnan vasteeseen paaston ja ruuan nauttimisen jälkeen sekä verenvirtaukseen, valtimoiden toimintaan, että työskentelevien kudosten perfuusioon (Lobene ym. 2023). Lisäksi Lobene ym. (2023) ovat todenneet, että ylijäämä energia altistaa sairauksille, koska liikunnan hyödyt pienentyvät. Rasvahappojen hapettuminen on todettu lisäävän oksidatiivista stressiä, joka omalta osaltaan vaikuttaa NO:n hyötysuhteen vähentymiseen (Fewkes ym. 2022). Laughin ym. (2008) ovat ehdottaneet, että vähentynyt endoteeliriippuvainen laajentuminen (endoteelin toimintahäiriö) ja NO:n biologinen hyötyosuus ovat proaterogeenisen endoteelisolufenotyypin avainkomponentteja. Sitä vastoin vähärasvainen tai rasvaton ruokavalio ei vaikuta negatiivisesti endoteelin toimintaan ja eikä nosta triasyyliglyseroli arvoja (TAG) seuraavan neljän tunnin aikana (Lobene ym. 2023).

Arvioidessa ravinnon rasvahappojen vaikutusta veren lipideihin, tulisi ottaa myös huomioon mahdolliset yhteisvaikutukset eri fyysisen aktiivisuuden tasojen kanssa (DeSouza ym. 2000). Suuremman liikunnan määrän on havaittu olevan itsenäinen matalamman valtimojäykkyyden ennustaja nuorilla, vaikka osa liikunnan aiheuttamista valtimoterveyden vaikutuksista tulee energiatasapainon kautta (Edwards ym. 2012). Stanekin ym. (2023) mukaan valtimoiden jäykkyyden estämiseksi tulisi suosia Välimeren ruokavaliomallia, joka sisältää runsaasti rasvattomia maitotuotteita, kasviöljyjä ja kalaa.

### **3.1 Rasvan laadun merkitys valtimoterveydessä**

Paljon tyydyttyneitä rasvoja sisältävällä ruokavaliolla on epäsuotuisia vaikutuksia verisuoniterveyteen. Tällainen ruokavalio esimerkiksi nostaa olkavarren ja nilkan pulssiaallon nopeutta japanilaisilla tyypin 2 diabeetikoilla (Stanek ym. 2023). Eräässä tutkimuksessa pelkkä SFA:n vähentäminen johti sydän- ja verisuonitautien riskin vähenemiseen 17 %, mutta ei juurikaan vaikuttanut kuoleman riskiin (Hooper ym. 2020). SFA:n korvaaminen monitydyttämättömillä kasvisöljypohjaisilla rasvoilla näyttäisi vähentävän sydän- ja verisuonitautien riskiä noin 30 % (Stanek ym. 2023). Tämä vastaa statiinilääkityksellä saatavia vaikutuksia (Stanek ym. 2023).

Asmaa ym. (2020) mukaan PUFA:n täydentämisellä ruokavalioon on osoitettu olevan antitromboottisia vaikutuksia ja ne edistävät sydän- ja verisuoniterveyttä. N-3 PUFA:n on

havaittu parantavan NO:n hyötysuhdetta ja pienentävän oksidatiivisen stressin tasoa sekä terveissä että sydän- ja verisuonitautia sairastavissa väestöissä (Stupin ym. 2019). Lisäksi n-3 PUFA:lla on todettu olevan positiivinen vaikutus veren viskositeettiin, hyytymistekijöihin ja plasminogeeniaktivaattorin estäjä 1-tasoihin (PAI-1) sekä verihiutaleiden aggregaatioihin tai niiden reaktiivisuuteen (Stupin ym. 2019). Plasman hyytymistekijä VIIc, fibrinogeeni ja PAI-1 ovat sydän- ja verisuonitautien riskitekijöitä, ja näiden riskitekijätasot muokkautuvat osittain rasvalaadun ja sen määrän mukaan (Kris-Etherton ym. 2020).

Vaikka viime vuosikymmeninä n-3-PUFA:n, kuten ( $\alpha$ -linoleenirasvahapon (ALA), eikosapentaeenihapon (EPA) ja dokosaheksaenihapon (DHA), mahdollisia vaikutuksia sydän- ja verisuoniterveyteen on tutkittu laajasti (Stupin ym. 2019). EPA:n ja DHA:n saannin vaikutus sydän- ja verisuonitaudeista johtuvaan kokonaiskuolleisuuteen on kuitenkin pieni (Stupin ym. 2022). Toisaalta korkeampi ALA:n saanti ruokavaliosta tai ravintolisästä saattaa vähentää sydän- ja verisuonisairauksien riskiä (Stupin ym. 2019). Stupinin ym. (2019) katsauksessa havaittiin, että eniten tutkimusnäyttöä n-3 PUFA:n hyödyistä oli aterian jälkeisessä tilassa terveiden yksilöiden verisuonten toiminnassa FMD:nä mitattuna. Nuorilla 18–30-vuotiailla terveillä henkilöillä, jotka käyttivät n-3 PUFA:lla rikastettuja kananmunia 3 viikon ajan (777 mg n-3 PUFA / vrk), oli parantunut ihon mikrovaskulaarinen reaktiivisuus vähentäen verisuonten tukkeutumisen riskiä (Stupin ym. 2018). Yksittäinen Välimeren ruokavaliomallin mukaisesti koostettu ateria, joka sisälsi runsaasti n-3 PUFA:a ei kuitenkaan muuttanut merkittävästi FMD:llä mitattua endoteelin toimintaa terveillä miehillä, kun taas runsaasti SFA:ta sisältävä ateria aiheutti aterian jälkeisen endoteelin toimintahäiriön terveillä aikuisilla (Stupin ym. 2019). Hooper ym. (2020) totesivat, että runsaampi tyydyttyneiden rasvahappojen määrä lisäsi sydän- ja verisuonitautiriskiä. Wierengan ym. (2020) mukaan n-3 erittäin tyydyttymättömien rasvahappojen (*engl. Highly Unsaturated Fatty Acid, HUFA*), DHA:n ja EPA:n kulutus saattaa lievittää kroonisen tulehdus- ja autoimmuunisairauden vaikeusastetta.

Rasvan laadun valinta saattaa muuttaa lipidiprofiilia ja lisäksi se voi vaikuttaa myös kehonpainoon, oksidatiiviseen tilaan, kolesteroliin, insuliiniresistenssiin, aterian jälkeiseen TAG-vasteeseen, veren hyytymistekijöihin sekä verihiutaleiden aggregaatioon (Hooper ym. 2020). Fewkesin ym. (2022) meta-analyysi osoitti, että rasvaisen aterian nauttimisen jälkeen FMD:llä mitattu endoteelin toiminta heikentyi ohimenevästi seuraavaksi kahdeksi tunniksi. Lisäksi ikä ja BMI sekä ravinnon rasvapitoisuus vaikuttavat haitallisesti endoteelin toimintaan. Nuoremmilla normaalipainoisilla henkilöillä FMD:llä mitatussa endoteelin toiminnassa muutos oli pienempi verrattuna iäkkäämpiin lihavimpiin henkilöihin verrattuna. Lobene ym. (2023)

ovat osoittaneet, että liikunnan jälkeinen energiavaje saattaa vaikuttaa myös insuliiniresistenssiin ja tulehdukseen, jolloin energian sääntely liikunnan jälkeen saattaa vaikuttaa endoteelin toimintaan positiivisesti.

### **3.2 Tyydyttyneet, yksittäistyydyttymättömät ja monityydyttymättömät rasvahapot**

*Tyydyttyneet rasvahapot* sisältävät ainoastaan yksinkertaisia sidoksia ja niiden hiiliketjut ovat tästä syystä suoria (Ilander 2018). Tyydyttyneitä rasvahappoja sisältävät triglyseridit asettuvat tiiviisti rinnakkain, jolloin ne ovat huoneenlämmössä olomuodoltaan kiinteitä (Ilander 2018). Tämänlaisen tiiviisti pakkaantuminen mahdollistaa rasvahappojen rakenteen suoruden (Ilander 2018). Ruokavalion tyydyttyneet rasvat lisäävät seerumin kolesterolia ja lisäävät siten sydän- ja verisuonitautien riskiä (Hooper ym. 2020). Mitä enemmän tyydyttyneiden rasvojen määrä ja seerumin kokonaiskolesteroli vähenevät, sitä suurempi suojaava vaikutus on sydän- ja verisuonisairauksilta (Hooper ym. 2020; Tindall ym. 2019).

*Yksittäistyydyttymättömien rasvahappojen* rakenteesta löytyy yksi kaksoissidos, joka aiheuttaa hiiliketjun taipumisen, mikä estää triglyseridien tiivistä rinnakkaispakkaantumista (Ilander 2018). Cis-muotoisten rasvahappojen koostumus on huoneenlämmössä nestemäinen (Ilander 2018). Lisäksi kovetetuissa tai kuumennetuissa kasvirasvoissa esiintyy transrasvahappoja. Sitä vastoin transrasvahapot ovat cis-rakennetta suurempia trans-muotoisen kaksoissidoksen vuoksi. Valtaosa tyydyttymättömistä rasvahapoista on cis-muotoisia ja ainoastaan maitorasvoissa sekä naudan- ja lampaanrasvassa on trans-muotoisia rakenteita (Ilander 2018.) Kris-Ethertonin ym. (2020) mukaan SFA:n korvaaminen MUFA:lla voi vähentää hyytymistekijä VIIc:tä ja lisätä fibrinogeeniä, mutta vähemmän kuin hiilihydraatti. Kris-Ethertonin ym. (2020) tutkimuksessa SFA:n korvaamisella hiilihydraatilla tai MUFA:lla oli epävarma vaikutus kardiometaboliseen riskiin. He myös havaitsivat, että hemostaattisissa eli verenhiyytymiseen liittyvissä muutoksissa on vain pieniä eroja ja vasteet olivat erisuuntaisia, vaikka tyydyttyneen rasvan saantia vähennettiin (Kris-Etherton ym. 2020). Kontrolloidut kliiniset tutkimukset ovat osoittaneet, että hyytymistekijä VIIc:n aktiivisuuteen vaikuttaa myös muutokset ravintorasvassa, tyydyttyneissä rasvoissa ja kuiduissa (Kris-Etherton ym. 2020). Kahden ja kolmen viikon ravitsemustutkimuksen tulokset osoittivat, että hyytymistekijä VIIc:n alentui noin 5–10 % ruokavalion kokonaismäärän ja SFA:n vähenemisen myötä normaalin rasva-aineenvaihdunnan omaavilla potilailla (Kris-Etherton ym. 2020). Kaksikymmentä

viikkoa kestäneessä tutkimuksessa myös hyytymistekijä VIIc:n keskimääräiset pitoisuudet pienenevät 11 % (Kris-Etherton ym. 2020). Tieteellisten todisteiden perusteella on selvää, että tietyillä rasvahapoilla on suotuisia vaikutuksia hemostaasiin, kun taas toisilla on haitallisia seurauksia. (Lefevre ym. 2004). Lisäksi rasvan kokonaismäärän vähentäminen on todettu pienentävän fibronogeenipitoisuuksia (Kris-Etherton ym. 2020).

Tavanomaisin syy valtimotukoksen synnylle on valtimonseinämän ahtautuminen. Uudet todisteet viittaavat siihen, että jotkut hemostaattiset tekijät, mukaan lukien tekijä VIIc, fibrinogeeni ja plasminogeeniaktivaattorin estäjä-1, liittyvät lisääntyneeseen sydän- ja verisuonitautien riskiin (Lefevre ym. 2004). Nämä tekijät heikentävät veren virtausta ja lisäävät samalla seinämään kohdistuvaa virtaushankausta, jolloin verihiutaleiden tarttuvuus tehostuu. Tulehtunut suonenseinäämä erittää kudostekijää, joka edistää veren hyytymistä ahtauttaen valtimoa (Räike ym. 2003.)

*Monityydyttymättömien rasvahappojen* (PUFA) on todettu vähentävän sydän- ja verisuonitautien riskiä (Hooper ym. 2020). PUFA:n luokitellaan ne rasvahapot, joiden hiiliketjussa on vähintään kaksi kaksoissidosta (Ilander 2018). Jokaista kaksoissidosta kohden on molekyylissä kaksi vetyatomia vähemmän kuin SFA:ssa. Välttämättömät rasvahapot (n-3 ja n-6 rasvahapot) kuuluvat monityydyttömättömiin rasvahappoihin. Alfalinolihapo (ALA) ja linolihapo (LA) muuntuvat kudoksissa 20- ja 22-hiiliseksi eli pitkiksi (Ilander 2018), HUFA rasvahapoiksi (Wierenga ym. 2020). Lisääntynyt EPA- ja DHA-solupitoisuus johtaa syklo-oksigenaasin (COX-2-isoentsyymi) vähenemiseen (Stupin ym. 2019). Lisäksi Asmaa ym. (2020) meta-analyysin mukaan pitkäketjuisen omega-3 (LCn3) kapseleiden sekä ALA-rikastettujen elintarvikkeiden lisääntyneellä käytöllä oli vähäinen tai olematon vaikutus kokonaiskuolleisuuteen. EPA ja DHA vähentävät TAG:a noin 15 %, mutta eivät vaikuta muihin lipidipitoisuuksiin (Asmaa ym. 2020). Toisaalta Tindallin ym. (2019) mukaan saksanpähkinöiden lisäämisellä ruokavalioon voi olla sydän- ja verisuonitautien riskiä pienentävä vaikutus runsaan n-3 (ALA) ja n-6 (LA) rasvahappopitoisuutensa ansiosta. ALA on todettu vähentävän olkavarren verenpainetta sekä LDL kolesterolia lihavilla miehillä tai naisilla.



#### 4 LIIKUNNAN MERKITYS VALTIMOTERVEYDESSÄ

Liikunnan on todettu vaikuttavan positiivisesti ihmisen verisuonistoon (Green & Smith 2018; Joyner & Green 2009; Marshall ym. 2022) vähentäen ateroskleroosin ja sydän- ja verisuonisairauksien riskiä (DeSouza ym.2000; Horta ym. 2015). Paikallaanolo puolestaan on yhdistetty verisuonten rakenteen ja toiminnan negatiivisiin muutoksiin lapsilla ja nuorilla (Fernström ym. 2023). DeSouza ym. (2000) mukaan liiallisen istumisen on havaittu vaikuttavan haitallisesti kardiometaboliseen terveyteen reippaan ja rasittavan liikunnan määrästä riippumatta. Lisäksi liikunnalla on todettu olevan lähes yhtä suuri ennen aikaista sydän- ja verisuonitautikuolleisuutta vähentävä vaikutus kuin sydän- ja verisuonitautien hoitoon tarkoitettujen lääkkeiden käytöllä (Green & Smith 2018). Säännöllisesti toistetut harjoitukset aiheuttavat kroonista funktionaalista adaptaatiota ja valtimoiden rakenteellista uudelleenmuodostumista (Horta ym. 2015; Green & Smith 2018). Liikunta vaikuttaa ateroskleroosin kehittymiseen sekä primaaristen ja sekundaaristen sydän- ja verisuonitapahtumien, kuten sydäninfarktin ja aivohalvauksen esiintyvyyteen (Green & Smith 2018). Liikunta vaikuttaa myös muiden kroonisten sairauksien hoidossa, joilla on verisuonten etiologia, mukaan lukien diabetes ja dementia (Green & Smith 2018). Vaikka liikunta lisää akuutissa vaiheessa tulehdusta ja oksidatiivista stressiä (Green & Smith 2018; Ashor ym. 2014), liikunnasta palautumisen aikana tapahtuu suotuisia muutoksia muun muassa endoteelin toiminnassa. Useat tutkimukset ovat osoittaneet, että terveystuottojen osoittama määrä liikuntaa edistää terveyttä, kun taas äärimmäinen liikunnan harrastaminen lisää ROS-tuotantoa (Matsuo ym. 2023). Tämän on todettu nostavan oksidatiivisten stressin biomarkkereiden tasoja sekä luurankolihasissa että veressä (Matsuo ym. 2023).

Liikunnan suotuisat vaikutukset valtimoiden jäykkyyteen (Horta ym. 2015; Marshall ym. 2022; Edwards ym. 2012; Clarkson ym. 1999; Sacre ym. 2014), joustavuuteen (Donley ym. 2014) ja uudelleenmuotoutumiseen ovat kuitenkin ilmeisiä (Ashor ym. 2014; Kozakova & Palombo 2021). Myös Ramirez-Velezin ym. (2019) interventiotutkimuksen mukaan liikuntaharjoittelu parantaa verisuonten rakennetta vähentämällä plasman LDL kolesterolipitoisuuksia (Joyner & Green 2009), parantaen endoteelin toimintaa ja NO:n biologista hyötyosuutta sekä pienentää sydän ja verisuonitautien riskitekijöiden tasoja. Endoteelin toiminnan paraneminen saattaa selittää ison osan kardiovaskulaarisairauksien riskin pienentymisestä. Liikunnan tuottama antiaterogeenisen toiminnan paraneminen näyttää olevan osittain seurausta eNOS -reitin säätelyn tehokkuudesta. Lisäksi monet muut tekijät näyttävät vaikuttavan endoteelin

toimintaan, kuten sukupuoli ja harjoituksen jälkeisten verisuonten toiminnan mittausten ajoitus (Laughin ym. 2008). Aerobinen fyysinen aktiivisuus parantaa myös solunsisäistä hapetuspelkistys-reaktion (redox) tasapainoa ja mitokondrioiden terveyttä sekä vähentää matala-asteisten tulehdusmarkkereiden pitoisuuksia (Kozakova & Palombo 2021). Matsuo ym. (2023) mukaan säännöllinen fyysinen aktiivisuus pienentää endoteelin oksidatiivisen stressin ja matala-asteisen tulehduksen määrää. Säännöllistä liikuntaa harrastavilta henkilöiltä on mitattu matalampia CRP pitoisuuksia, inflammatorisia sytokiini tasoja sekä korkeampia anti-inflammatorisia sytokiini tasoja (Matsuo ym. 2023).

DeSouza ym. (2000) ovat havainneet fyysisen aktiivisuuden muovaavan ruokavalion rasvahappojen ja veren lipidien välistä yhteyttä nuorilla. Vähiten aktiiviset nuoret, erityisesti naiset, ovat alttiimpia ruokavalion vaikutuksen muutoksille, missä hiilihydraatit on korvattu rasvahapoilla. Nämä nuoret hyötyisivät merkittävästi hiilihydraattien korvaamisesta MUFA:lla tai n-3 PUFA:lla. Samanlaiset ruokavaliomuutokset eivät välttämättä ole yhtä merkityksellisiä aktiivisemmilla henkilöillä (DeSouza ym. 2000.)

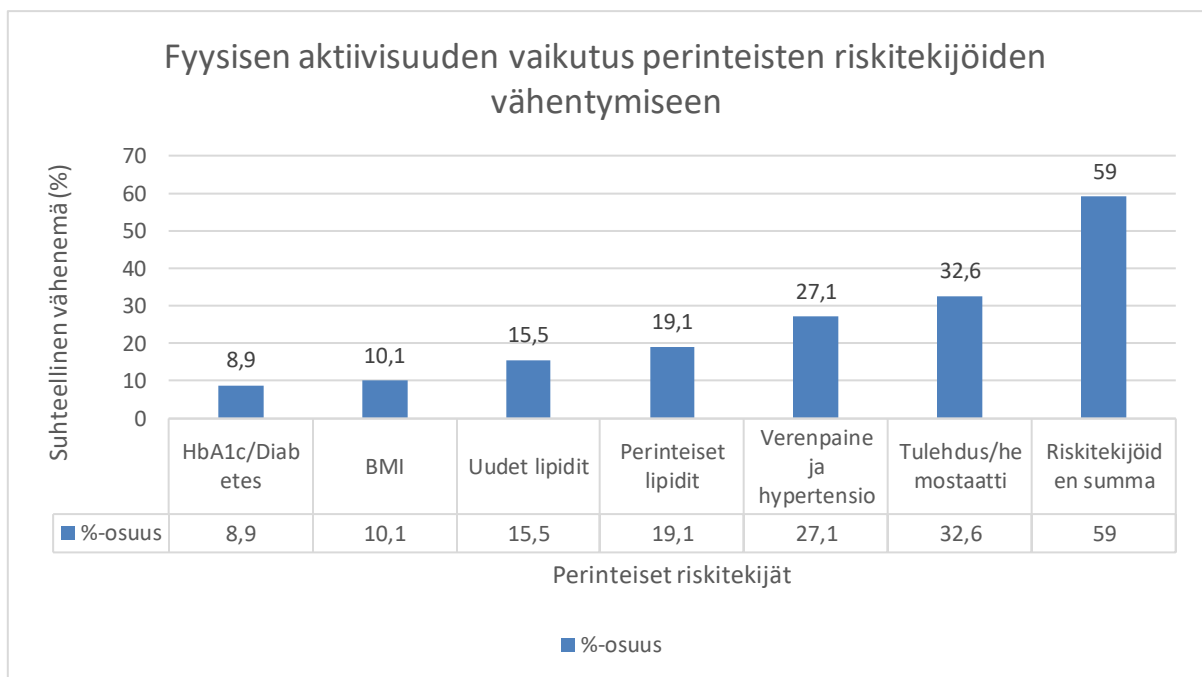
Liikunnan tuomat verisuonivaikutusten mekanismit ovat sekä ensisijaisia että toissijaisia (Green & Smith 2018). Primaarisina valtimoihin kohdistuvina vaikutuksina on todettu esimerkiksi verenpaineen, verenvirtauksen ja valtimoiden mekaanisen kuormituksen (*engl. shear stress*) nousu akuutin liikunnan aikana (Green & Smith 2018). Lisäksi säännöllinen liikunta aiheuttaa verisuonen seinämässä antiaterogeenisiä adaptaatioita parantaen endoteelin toimintaa lisäten NO-pitoisuutta (Joyner & Green 2009; DeSouza ym. 2000; Matsuo ym. 2023). Lisäksi korkean sympaattisen hermoston aktivaatio saattaa vähentää noradrenaliinin verisuonia supistavaa vaikutusta nuorilla terveillä miehillä (Joyner & Green 2009). Heillä on todettu verisuonten olevan vähemmän herkkiä noradrenaliinin  $\alpha$ -adrenergisille verenpainetta alentaville ja verisuonia supistaville vaikutuksille (Joyner & Green 2009). Greenin ja Smithin (2018) mukaan liikunnan aiheuttamat hemodynaamiset ärsykkeet ovat tärkeä mekanismi, joka saa aikaan verisuoniseinämän uudelleenmuodostumista – esimerkiksi verisuonen luumenin suurentumista (Leloup ym. 2012). Lisäksi endoteelin mekaaninen kuormitus lisääntyy toistuvien harjoitusjaksojen vuoksi sekä verisuonten sileiden lihassolujen ja endoteelin toiminta paranee (Sakellariou ym. 2021). Näin ollen valtimoiden toiminnan alkuvaiheen säätely liikuntarasituksen seurauksena voi lopulta johtaa NO-syntaasin ja biologisen hyötysuhteen parantumiseen (Green & Smith 2018). Tällä tavoin toiminnan ja rakenteen välinen synergistinen vuorovaikutus normalisoi verisuonen sisäpintaan kohdistuvaa paikallista valtimoiden mekaanista kuormitusta (Green & Smith 2018). Tällöin sydän- ja verisuonitautien

riskitekijöiden muutosten tuomat hyödyt esiintyvät yhdessä valtimoiden mekaanisen kuormituksen ja mekanotransduktion (mekaanisen ärsykkeen muuntamista solujen sisäiseksi ja niiden väliseksi biokemialliseksi toiminnaksi) suorien vaikutusten kanssa (Green & Smith 2018.) Endoteelin toiminta paranee, kun perinteisten sydän- ja verisuonisairauksien riskitekijöiden kokonaismäärä vähenee (Joyner & Green 2009). DeSouza ym. (2000) osoittivat, että nuorilla paljon istuvilla henkilöillä oli paljon parempi endoteelin toiminta asetyylikoliinivälitteisellä kyynärvarren vasodilataatiolla mitattuna kuin vanhemmilla paljon istuvilla henkilöillä. Sitä vastoin nuorten kestävyysharjoittelijoiden ja vanhempien kestävyysharjoittelijoiden henkilöiden välillä ei ollut eroa (DeSouza ym. 2000). Lisäksi liikunnan vaikutukset asetyylikoliinivälitteiseen verisuonilaajentumiseen kyynärvarressa näyttävät olevan vähintään yhtä hyvät tai paremmat kuin statiinien tuomat vaikutukset (DeSouza ym. 2000). Eräässä tutkimuksessa liikunta lisäsi 25 % asetyylikoliinin eritystä ja paransi endoteelin toimintaa riippumatta henkilön kehonpainosta (Lobene ym. 2023). Lisäksi erittäin korkea hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto on todettu vähentävän sydän- ja verisuonitauteja 60–70 % (Joyner & Green 2009).

Urheilijoilla on havaittu olevan parempi FMD:n avulla arvioitu olkavaltimon endoteelin toiminta kuin terveillä fyysisesti passiivisilla henkilöillä (Stupin ym. 2023). Näihin pitkäaikaisen säännöllisen liikunnan positiivisiin vaikutuksiin saattaa liittyä monia mekanismeja, kuten lisääntynyt NO:n hyötyosuus, parantunut antioksidatiivinen puolustus verisuonijärjestelmässä sekä paikallisesti tai systeemisesti johdettujen tulehduksen välittäjien pienentynyt taso (Padilla ym. 2011; Horta ym. 2015). On osoitettu, että verenkierron lisääntyminen fyysisen aktiivisuuden aikana on mahdollisesti keskeinen mekanismi, joka aiheuttaa verisuonten toiminnan positiivisen adaptaation, stimuloimalla NO-riippuvaisia verisuonia (Laughlin ym. 2008). Siitä huolimatta COX-peräisten verisuonten aineenvaihduntatuotteiden tuotanto, mukaan lukien prostasykliinin lisääntynyt synteesi, osallistuu endoteelin mekaanisen kuormituksen sopeutumiseen (Stupin ym. 2019). Lisäksi on näyttöä, että lisääntynyt mekaaninen kuormitus on signaali siitä, että endoteliini 1:n, liukoisten solujen adheesiomolekyylien ja erilaisten endoteelin aktivaatiomarkkereiden taso on vähentynyt (Stupin ym. 2019). Näiden kaikkien positiivinen yhteisvaikutus vaikuttaa makrovaskulaariseen toimintaan suotuisasti (Stupin ym. 2019).

Säännöllisellä liikunnalla on suotuisa vaikutus verisuonten toimintaan myös terveillä ihmisillä. HDL-kolesterolitasojen on havaittu nousevan merkittävästi fyysisen aktiivisuuden myötä, kun taas TAG-tasot laskevat. On havaittu, että jo kevyenkin fyysisen aktiivisuuden on havaittu

tuottavan suotuisia metabolisia vasteita, kun taas istuva elämäntapa yhdistetään useisiin haitallisiin terveysvaikutuksiin (DeSouza ym. 2000). Joynerin ja Greenin (2009) mukaan liikunnalla ei ole kuitenkaan suurta vaikutusta kohonneisiin LDL-C partikkelitasoihin. Aikuisilla liikunnan aiheuttaman energiankulutuksen tason ollessa yli 1500 kcal viikossa aikuisten sydän- ja verisuonitautiriski väheni noin 40 % verrattuna niihin, joilla liikunnan aiheuttama energiankulutus oli alle 200 kcal viikossa (Joyner & Green 2009). Lisäksi noin 59 % kaikkien sydän- ja verisuonitautien riskitekijöiden vähenemisestä johtui liikunnan vaikutuksista, kun taas liikunnan vaikutukset perinteisiin riskitekijöihin, kuten esimerkiksi veren lipidit, verenpaine ja diabetes selittivät alle puolet sepelvaltimotaudin riskistä (Joyner & Green 2009.) (kaavio 1).



**KAAVIO 1.** Kuvan pylväät osoittavat riskin vähenemisen, joka johtuu korkeasta fyysisestä aktiivisuudesta (yli 1500 kcal/vko) kaikkien perinteisten riskitekijöiden ja tiettyjen yksittäisten riskitekijöiden osalta verrattuna niihin, joiden fyysinen aktiivisuus oli matala (200 kcal/vko). Fyysisen aktiivisuuden vaikutukset perinteisiin riskitekijöihin selittivät alle puolet sepelvaltimotaudin ja noin 60 % sydän- ja verisuonitautien riskistä (mukaiillen Joyner & Green 2009).

Liikunnalla on myös vaikutusta autonomiseen hermostoon (Joyner & Green 2009). Barorefleksiherkkyys, joka säätelee valtimoverenpainetasoa, laskee iän myötä päivittäin liiallisesti istuvilla henkilöillä (Pierce ym. 2016). Lisäksi Pierce ym. (2016) ovat todenneet, että

säännöllisen liikunnan on todettu suojaavan ikääntymiseen liittyvää barorefleksitoiminnan heikkenemistä. Barorefleksitoiminnan paraneminen, joka ilmenee todennäköisesti parantuneena sykevälivaihteluna, saattaa olla seurausta sekä suuremmasta verisuonten venyvyydestä, että paremmasta signaalinvälityksestä kaulavaltimon ja aortan kaaren baroherkillä alueilla (Joyner & Green 2009). Lisäksi se voi myös edustaa parantunutta keskushermoston integraatiota aivorungon sydän- ja verisuonikeskuksissa (Joyner & Green 2009). Näin ollen kestävyystyyppinen fyysinen aktiivisuus suojaa hyvin ikään liittyviltä barorefleksihäiriöiltä (Joyner & Green 2009), vaikuttaen suotuisasti vaikutus valtimoiden jäykkyyteen (Pierce ym. 2016). Sitä vastoin Joynerin ja Greenin (2009) mukaan samanaikaisesti tapahtuva barorefleksiherkkyyden heikkeneminen ja endoteelin toimintahäiriö voivat vahvistaa autonomisen toimintahäiriön kielteisiä vaikutuksia. Tällä on suoria vaikutuksia kohonneen sympaattisen hermoston aktiivisuuden ja NO-toiminnan välillä (Joyner & Green 2009). Fernströmin ym. (2023) mukaan akuutti liikunta stimuloi sympaattista hermostoa ja lisää aaltoheijastusta. On myös osoitettu, että sympaattisen hermoston ja lihasten sympaattisen hermotoiminnan adrenerginen stimulaatio voi lisätä verisuonten sileiden lihasten supistumista ja siten lisätä akuutisti valtimoiden jäykkyyttä ilman verenpaineen muutoksia (Fernström ym. 2023). Näiden kahden välistä negatiivista vuorovaikutusta voidaan estää tai hidastaa liikunnan avulla (Joyner & Green 2009).

#### **4.1 Reipas ja rasittava liikunta**

Kun liikunnan positiiviset vaikutukset on tunnistettu, on myös tärkeä huomioida, vaikuttaako liikunnan intensiteettitaso valtimoterveyteen. MET:iä eli lepoaineenvaihdunnan kerrannaista käytetään usein liikunnan intensiteetin määrittämisessä. MET kuvaa fyysisen aktiivisuuden aiheuttamaa lisääntynyttä energiankulutusta verrattuna lepotasoon (Terveyskirjasto 2018). Matsuo ym. (2023) määrittelivät kevyen liikunnan MET arvoksi alle 3, reippaan liikunnan arvoksi 3,5–5,9 MET ja rasittavan liikunnan arvoksi 6 tai sen yli. Kevyellä ja reippaalla liikunnalla ei havaittu olevan yhteyttä valtimojäykkyyteen 36-vuotiailla henkilöillä (Matsuo ym. 2023). Eräässä prospektiivisessä kohorttitutkimuksessa havaittiin, fyysisen aktiivisuuden olevan käänteisesti yhteydessä valtimoiden jäykkyyteen intensiteetistä riippumatta (Matsuo ym. 2023). Runsas istuminen puolestaan liittyi suurempaan valtimojäykkyyteen (Fernberg ym. 2021). Pitkällä aikavälillä on eroa, millä intensiteetin tasolla liikutaan. Matsuo ym. (2023)

mukaan reippaalla ja rasittavalla liikunnalla on voimakkaampi yhteys matalampaan sydän-nilkka-vaskulaarisella indeksillä (CAVI) arvioituun valtimojäykkyyteen verrattuna kevyellä intensiteetillä tehtyyn liikuntaan japanilaisilla 30–80-vuotiailla naisilla ja miehillä 5 vuoden seurannan aikana. Brasilialaisilla 30-vuotiailla henkilöillä, jotka harrastivat reipasta tai rasittavaa liikuntaa enemmän kuin 30 minuuttia päivässä oli matalammat PWV arvot kuin saman ikäisillä paljon istuvilla henkilöillä (Horta ym. 2015). On myös mahdollista, että runsas istumiseen käytetty aika lisää valtimoiden jäykkyyttä, reippaasta tai rasittavasta liikunnasta riippumatta (Horta ym. 2015). Eräässä lapsille tehdyssä tutkimuksessa ei kuitenkaan havaittu yhteyttä fyysisen aktiivisuuden intensiteetin ja kaulavaltimoiden jäykkyyden välillä (Horta ym. 2015). Marshallin ym. (2022) mukaan reipas ja rasittava liikunta on yhteydessä suotuisampaan aortan PWV:hen lapsilla. Lisäksi reippaan ja rasittavan liikunnan kestolla on merkitystä valtimoiden jäykkyyteen lapsilla (Marshall ym. 2022).

#### **4.2 Liikuntamuodon merkitys valtimoterveydessä**

Aerobinen liikunta lisää valtimonseinämän mekaanista kuormitusta sekä parantaa NO:n bioaktiivisuutta vähentäen verisuonten supistumista (Sacre ym. 2014). Kozakovan & Palombon (2021) tutkimuksen mukaan suurempi aerobinen kapasiteetti (suurempi maksimaalinen hapenkulutus) lisäsi valtimoiden joustavuutta ja keski-ikässä kerrytetty fyysinen aktiivisuus oli yhteydessä matalampaan aortan PWV:hen ja matalampaan keskuspulssipaineeseen myöhemmällä iällä (Kozakova & Palombo 2021). Harjoitusohjelmat, jotka sisältävät tavanomaista kohtalaisen kuormittavaa jatkuvaa harjoittelua (MCT) tai korkean intensiteetin harjoittelua (HIIT) voivat parantaa endoteelin toimintaa (Ramirez-Velez ym. 2019; Sacre ym. 2014). Tästä aiheutuva vaste johtuu suurilta osin akuutin verenvirtauksen noususta sekä laminaarisesta verisuonivirtauksesta yksittäisen harjoitusten aikana (Clarkson ym. 1999; Ramirez-Velez ym. 2019). Näin ollen pienen volyymin HIIT harjoittelulla on suotuisampia vaikutuksia sydän- ja verisuonitoimintaan verrattuna tavanomaiseen kohtalaiseen jatkuvaan harjoitteluun (Ramirez-Velez ym. 2019).

Säännöllisen kestävyysharjoittelun on todettu vähentävän  $A_{Ix@75}$ -indeksiä nuorilla henkilöillä (Fernström ym. 2023). Aikuisilla on myös osoitettu, että säännöllinen kestävyysliikunta vähentää  $A_{Ix@75}$ :n ja PWV:n arvoja neljän viikon kestävyysharjoittelun jälkeen (Fernström ym. 2023). Terveillä aikuisilla miehillä akuutin kestävyys- ja

vastusharjoittelun on kuitenkin aiemmin kuvattu AIx@75 nostavia vasteita (Fernström ym. 2023). Vastusharjoittelun jälkeen Fernströmin ym. (2023) mukaan muutokset olivat vieläkin suurempia AIx@75:ssä. Vastusharjoittelu koostui 30 minuutin reippaan tai rasittavan intensiteetin harjoituksesta. Otsukin ym. (2007) mukaan säännöllinen kestävyysliikunta vähentää valtimoiden jäykkyyttä, mutta säännöllisesti tehty voimaharjoittelu saattaa lisätä valtimoiden jäykkyyttä noin 20-vuotiailla nuorilla miehillä. Lisäksi Otsuki ym. (2007) osoittivat, että valtimoiden jäykkyyden muutokset liittyvät nuoruudessa aloitettuun kestävyys- tai voimaharjoitteluun, ja siitä seuranneet adaptaatiot kestävät koko aikuisuuden ajan. Näin ollen nuoruusiässä alkanut ja jatkunut kilpaurheilun-ura voidaan yhdistää valtimoiden jäykkyyden muutoksiin (Otsuki ym. 2007). Korkean intensiteetin vastusharjoittelu (70% 1 RM) lisää valtimoiden jäykkyyttä nuorilla 14,3 % ja keski-ikäisillä 11,6 % verrattuna samanikäisiin, jotka tekivät kevyttä voimaharjoittelua (Miyachi 2012). Rossowin ym. (2014) mukaan koko kehon korkean intensiteetin voimaharjoittelu 18–25-vuotiailla ja 50–64-vuotiailla lisää valtimojäykkyyttä. Toisaalta saattaa olla myös jokin muu tekijä, mikä nostaa valtimojäykkyyttä harjoittelun jälkeen, kuten nuorilla naisilla havaittiin olkapäiden ja nilkan PWV:n nousu vain konsentrisen harjoituksen jälkeen (Rossow ym. 2014). Matalammilla intensiteetin tasoilla ei havaittu voimaharjoittelun lisäävän valtimojäykkyyttä nuorilla ja keski-ikäisillä naisilla (Miyachi 2012; Rossow ym. 2014)

Vaikka endoteelin toimintahäiriö, ateroskleroosi ja suurten valtimoiden jäykistyminen ovat erillisiä patofysiologisia kokonaisuuksia, niin nämä tekijät saattavat edistää verisuonten toimintahäiriötä iän myötä (Kozakova & Palombo 2021). Useat oksidatiivista stressiä tai kroonista verisuonitulehdusta aktivoivia molekyylimekanismeja voidaan ehkäistä aerobisella liikunnalla (Kozakova & Palombo 2021). Aerobinen kestävyys- ja voimaharjoittelu ei aiheuttanut eroja cIMT:n paksuuteen verrattuna fyysisesti passiivisiin henkilöihin iästä riippumatta, vaikka lieviä edullisia vaikutuksia olikin havaittavissa (Tanaka ym. 2002).

Reippaalla intensiteetillä tehty vastusharjoittelu keski-ikäisillä fyysisesti passiivisilla miehillä lisäsi nitriittien ja nitraattien pitoisuutta plasmassa ja paransi FMD:llä mitattua endoteelin toimintaa, kun sitä vastoin rasittavan intensiteetin vastusharjoitus lisäsi endoteliini-1:n (ET-1) plasmatasoja, eikä näin ollen parantanut FMD:tä (Kozakova & Palombo 2021). Sitä vastoin kahdeksan viikon vastusharjoittelu alensi ET-1:n tasoja. Toisaalta vastusharjoittelu saattaa akuutisti lisätä aaltoheijastuksen ja aortta- ja valtimon jäykkyyttä akuutisti 10–30 minuutin ajaksi vastusharjoittelun jälkeen (Erb ym. 2022; Kozakova & Palombo 2021). Erbin ym. (2022) tutkimus osoitti, että vastusharjoittelun jälkeen augmentaatiopaine oli huomattavasti laskenut

harjoittelun jälkeisen levon aikana. AIX:iin tai aortan valtimon jäykkyyteen ei ollut merkitystä tehtiinkö harjoittelua painolaitteilla vai vapailla painoilla (Ashor ym. 2014; Erb ym. 2022). Toisaalta Ashor ym. 2014 havaitsivat, että jotkut vastusharjoituksen muodot liittyivät valtimoiden jäykkyyden vähenemiseen, kuten esimerkiksi matalan intensiteetin harjoittelu korkean intensiteetin sijaan. Lisäksi lihasmassan määrä saattaa vaikuttaa valtimojäykkyyteen. Haapala ym. (2022) ehdottavat, että pienemmällä lihasmassalla saattaa olla yhteys suurempaan aortan jäykkyyteen naisilla.

Voimaharjoittelun vaikutuksista valtimoterveyteen on hyvä myös huomioida mahdollinen lihastyötavan vaikutus valtimoiden jäykkyyteen (Otsuki ym. 2007). Otsukin ym. (2007) mukaan eksentrisen lihastyötapa saattaa olla edullisempi valtimoiden joustavuudelle kuin konsentrisen voimaharjoittelu. Sen sijaan Otsuki ym. (2007) ovat todenneet, että jalkojen lihasvoimaharjoittelu saattaa parantaa endoteelin toimintaa vähentämättä valtimoiden joustavuutta aikuisilla.

Lisäksi on mahdollista, että pitkäaikainen vastusharjoittelu saattaa estää valtimoiden jäykistymistä ja valtimon seinämän rakenteellisia muutoksia ikääntymisen aikana (Alberga 2010). On myös mahdollista, että lisääntynyt valtimoiden jäykkyys vastusharjoittelun seurauksena on normaali fysiologinen vaste verenpaineen nousuun, eikä tällöin aiheuttaisi kroonisia muutoksia valtimoiden rakenteeseen (Otsuki ym. 2007).



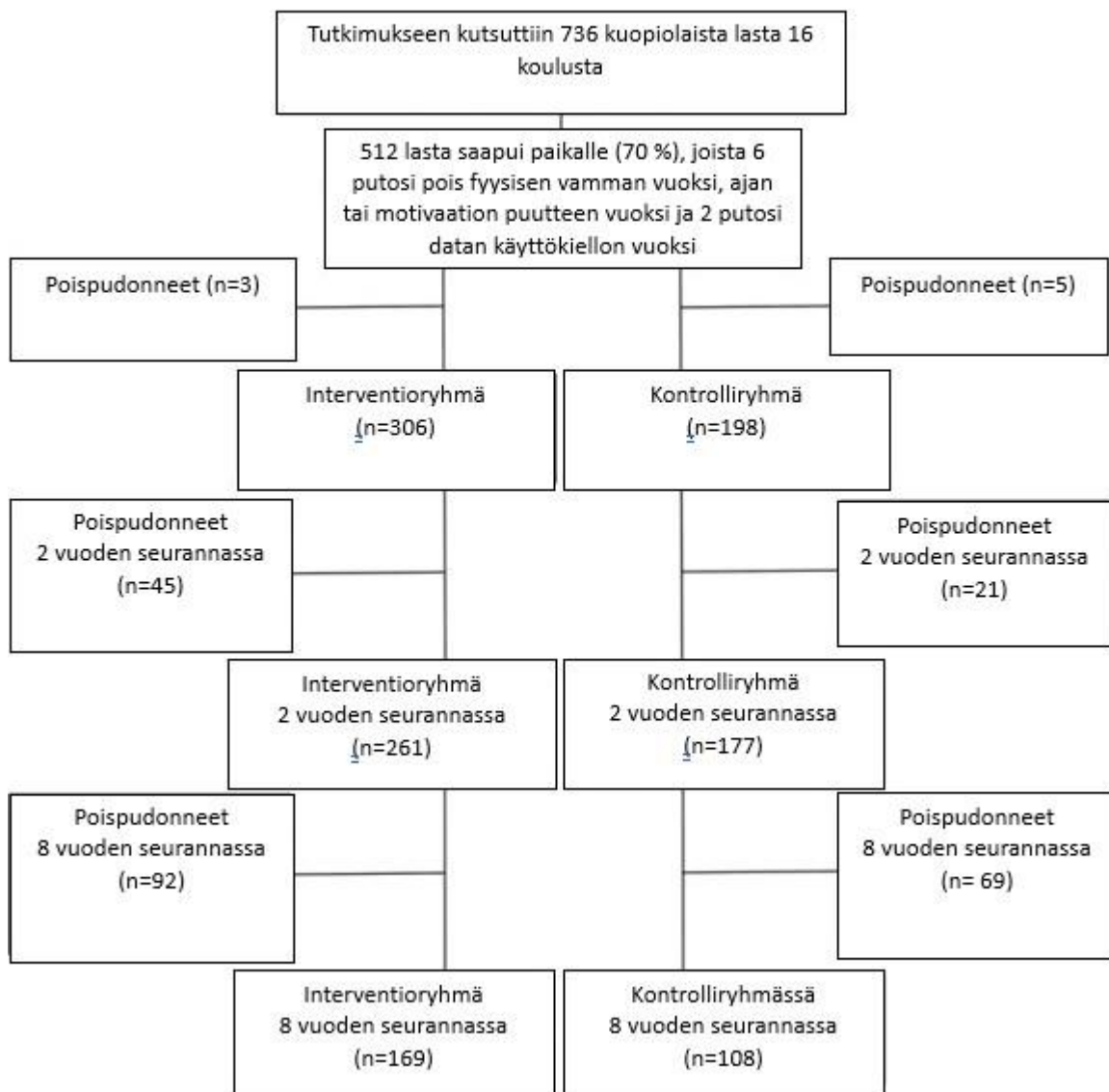
## 5 LASTEN LIIKUNTA JA RAVITSEMUS -TUTKIMUS

Lasten liikunta ja ravitsemus eli Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) -tutkimus on 8-vuotinen kontrolloitu liikunta ja ravitsemus -interventiotutkimus. Tutkimus toteutettiin suurella väestöotoksella lapsia, joita on seurattu takautuvasti raskaudesta lähtien. Seurantajakso jatkuu nuoruudesta varhaisaikuisuuteen asti.

Tutkimus aloitettiin kutsumalla 736 Kuopion kaupungin 6–8 -vuotiaita lapsia alkumittauksiin vuosina 2007–2009, joista 512 lasta saapui paikalle. Kuusi lasta jouduttiin poistamaan tutkimuksesta fyysisten vammojen, ajan tai motivaation puutteen takia. Lisäksi kahden lapsen huoltajat kielsivät aineiston käytön tutkimuksessa. Loput 504 lasta jaettiin liikunta- ja ravitsemusinterventioryhmään (n=306) ja kontrolliryhmään (n=198). Interventio sisälsi kahden vuoden seurannan aikana kuusi liikunta- ja ruokavalioneuvontaa (0,5, 1,5, 3, 6, 12 ja 18 kuukautta lähtötilanteen jälkeen).

2-vuoden seurantatutkimukseen kutsuttiin 504 lasta vuosina 2009–2011. Kutsutuista lapsista 438 osallistui seurantamittauksiin. Interventio sisälsi seitsemän liikunta- ja ruokavalioneuvontaa 2 vuoden ja 8 vuoden seurannassa (24, 36, 48, 60, 72, 84 ja 96 kuukautta lähtötilanteen jälkeen). Lopuksi 8-vuoden seurantatutkimukseen kutsuttiin 438 lasta helmikuun 2016 ja 2017 välisenä aikana. 8 vuoden seurantamittauksiin osallistui 277 14–16 -vuotiasta nuorta. Tutkimuksen kulku on kuvattu kaaviossa 2.

Tutkimuksen yhtenä tavoitteena on tutkia elintapojen yhteyksiä valtimojäykkyyteen ja sydän- ja verisuonitautien riskitekijöihin sekä niiden patofysiologisia mekanismeja. Tutkimustuloksia voidaan hyödyntää liikunta- ja ruokavaliointerventioiden suunnitteluun erityisesti niille lapsille ja nuorille, jotka todennäköisimmin hyötyisivät tällaisista toimenpiteistä eniten. On tärkeää tunnistaa ne lapset ja nuoret, joilla on kohonnut riski sairastua kroonisiin sydän- ja verenkiertosairauksiin. Tällöin voidaan pyrkiä ennaltaehkäisemään sairauksien puhkeamista jo nuoruudesta alkaen. Sydän- ja verenkiertotautien lisääntyessä terveydenhoitopalvelujen tarve kasvaa ja tämä lisää merkittävästi taloudellisia kustannuksia yhteiskunnassamme.



KAAVIO 2. PANIC- tutkimuksen vuokaavio (mukaillen Sallinen ym. 2022).

## 6 TUTKIMUKSEN TAVOITTEET, TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Tutkielman tarkoituksena on selvittää, onko ruokavaliosta saadun rasvan laadulla ja reippaalla ja rasittavalla liikunnalla sekä niiden yhteisvaikutuksella yhteyttä nuorten valtimoterveyteen. Lisäksi tarkoituksena on tutkia, onko aerobisella harjoittelulla ja vastusharjoittelulla eroa nuorten valtimoterveyteen.

### Tutkimuskysymykset:

- 1. Onko rasvan laadulla ja reippaalla tai rasittavalla liikunnalla tai niiden yhteisvaikutuksella merkitystä nuorten valtimoterveyteen?**

#### Hypoteesit:

*H<sub>0</sub> = Rasvan laadun ja liikunnan yhteisvaikutuksella ei ole suurempaa positiivista yhteyttä kuin itsenäisellä liikunnalla tai ravitsemuksella lasten ja nuorten valtimoterveydessä?*

*H<sub>1</sub> = Rasvan laadun ja liikunnan yhteisvaikutuksella on suurempi positiivinen yhteys verrattuna itsenäisesti liikunnan tai ravitsemuksen vaikutuksiin lasten ja nuorten valtimoterveydessä?*

- 2. Onko eri liikuntamuodolla vaikutusta liikunnan ja valtimoterveyden välisiin yhteyksiin nuorilla?**

#### Hypoteesit:

*H<sub>0</sub> = Aerobisella liikunnalla ei ole myönteisempää vaikutusta valtimojäykkyyteen kuin vastusharjoittelulla lapsilla ja nuorilla*

*H<sub>1</sub> = Aerobisella liikunnalla on myönteisempi vaikutus valtimojäykkyyteen kuin vastusharjoittelulla lapsilla ja nuorilla*

## LÄHTEET

- Alberga, A., Sigal, L. & Kenny, G. 2010. Role of resistance exercise in reduced risk of cardiometabolic disease. *Curr Cardio Risk.* 2010;4:383–389. <https://doi.org/10.1007/s12170-010-0115-7>
- Ashor, A., Lara, J., Siervo, M., Celis-Morales, M. & Mathers, J. 2014. Effects of exercise modalities on arterial stiffness and wave reflection: Systematic review and Meta-analysis of randomized controlled trials. *PLoSOne.* 2014;9(10):e110034. doi: [10.1371/journal.pone.0110034](https://doi.org/10.1371/journal.pone.0110034)
- Asmaa, A., Brown, T., Brainard, J., Biswas, P., Thorpe, G., Moore, H., Deane, K., Summerbell, C., Worthington, H., Lallu, F. & Hooper, L. 2020. Omega-3 fatty acids for the primary and secondary prevention of cardiovascular disease. *Cochrane Database Syst Rev.* 2020; 2020(3): CD003177. doi: [10.1002/14651858.CD003177.pub5](https://doi.org/10.1002/14651858.CD003177.pub5)
- Ballout, R. & Remaley, A. 2020. GlycA: A new biomarker for systematic inflammation and cardiovascular disease (CVD) risk assesment. *J Lab Precis Med.* 2020; 5: 17. doi: [10.21037/jlpm.2020.03.03](https://doi.org/10.21037/jlpm.2020.03.03)
- Bartlett, D., Slentz, C., Connelly, M., Piner, L., Willis, L., Bateman, L., Granville, E., Bales, C., Huffman, K. & Krauss, W. 2017. Associated of the composite inflammatory biomarkers Glyc-A, with exercise-induces changes in body habitus in men and women. *Oxidative Medicine and Cellular Longevity,* vol. 2017; 12. <https://doi.org/10.1155/2017/5608287>
- Bhuiyan, A., Srinivasan, s., Chen, W., Fernandez, C., Xu, J-H. & Berenson, G. 2015. Timing of menarche related to carotid artery intima media thickness in black and white young adult women: The Bogalusa heart study. *Ann Epidemiol.* 2015; 25(6): 414–419. doi: [10.1016/j.annepidem.2015.02.001](https://doi.org/10.1016/j.annepidem.2015.02.001)
- Blekkenhorst, L., Prince, R., Hodgson, J., Lim, W., Zhu, K., Devine, A., Thompson, P. & Lewis, J. 2015. Dietary saturated fat intake and atherosclerotic vascular disease mortality in elderly woman: A prospective cohort study. *American journal of clinical nutrition.* 2015;101(6):1263-8. doi: [10.3945/ajcn.114.102392](https://doi.org/10.3945/ajcn.114.102392).

- Borlotti, A., Khir, A., Rietzschel, E., De Buyzere, M. & Segers, P. 2012. Noninvasive determination of local pulse wave velocity and wave intensity: changes with age and gender in the carotid and femoral arteries of healthy human. *Journal of applied of physiolog* 2012;113 (5): 727-735 <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.00164.2012>
- Boutouyrie, P. & Vermeersch, S. 2010. Determinants of pulse wave velocity in healthy people and in the presence of cardiovascular risk factors: 'Establishing normal and reference values'. *Eur Heart J*. 2010; 31(19): 2338–2350. doi: [10.1093/eurheartj/ehq165](https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehq165)
- Buckland, G., Taylor, C., Emmett, P., Johnson, L. & Northstone K. 2022. Prospective associating between mediterranean-style dietary score in childhood and cardiometabolic risk in young adults from ALSPAC birth cohort. *Eur J Nutr*. 2022; 61(2): 737–752. doi: [10.1007/s00394-021-02652-7](https://doi.org/10.1007/s00394-021-02652-7)
- Charlick, M. & Das, J. 2023. Anatomy, Head and neck: Internal carotid artery. Viitattu 27.11.2023. [Anatomy, Head and Neck: Internal Carotid Arteries - StatPearls - NCBI Bookshelf \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41811111/)
- Chaudhry, R., Miao, J. & Rehman, A. 2022. Physiology, cardiovascular. Viitattu 12.12.2023 [Physiology, Cardiovascular - StatPearls - NCBI Bookshelf \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/41811111/)
- Clarkson, P., Montgomery, H., Mullen, M., Donald, A., Powe, A., Bull, T., Jubb, M., World, M. & Deanfield, J. 1999. Exercise training enhances endothelial function on young men. *J Am Coll Cardiol*. 1999; 33 (5): 1379–1385. [Exercise training enhances endothelial function in young men | Journal of the American College of Cardiology \(jacc.org\)](https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.03.026)
- Connelly, M., Otvos, J., Shalaurova, I., Playford, M. & Mehta, N. 2017. Glyc-A, a novel biomarker of systemic inflammation and cardiovascular disease risk. *J Transl Med*. 2017 (15): 219. <https://doi.org/10.1186/s12967-017-1321-6>
- Dawson, J., Sonka, M., Blecha, M., Lin, W. & Davis, P. 2009. Risk factors associated with aortic and carotid intima-media thickness adolescence and ypung adults: The muscatine offspring study. *Journal of the American college of cardiology*. 2009; (53)24: 2273-2279. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.03.026>
- DeSouza, C., Shapiro, L., Clevenger, C., Dinunno, F., Monahan K., Tanaka, H. & Seals, D. 2000. Regular aerobic exercise prevents and restores Age related declines in endothelium dependent vasodilation in healthy men. *Circulation*. 2000; (102) 12:1351–1357. <https://doi.org/10.1161/01.CIR.102.12.1351>

- Dinic, M., Maillard, N., Thibaudin, D., Jannot, M., Masson, I., Alamartine, E. & Mariat, C. 2014. Serum cystatin C is a determinant of central pressure augmentation index measured by oscillometric method in renal transplant recipients. *BMC Nephrology* 2014; (15): 196. <https://doi.org/10.1186/1471-2369-15-196>
- Donley, D., Fournier, S., Reger, B., DeVallance, E., Bonner, D., Olfert, M., Frisbee, J. & Chandler, P. 2014. Aerobic training reduces arterial stiffness in metabolic syndrome. *Journal Applied of Physiology*. 1985.; 116 (11): 1396–1404. doi: [10.1152/jappphysiol.00151.2014](https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00151.2014)
- Edwards, N., Daniels, S., Claytor, R., Khoury, P., Dolan, L., Kimball, T. & Urbine, E. 2012. Physical activity is independently associated with multiple measures of arterial stiffness in adolescents and young adults. *Metabolism*. 2012; 61(6): 869–872. doi: [10.1016/j.metabol.2011.10.016](https://doi.org/10.1016/j.metabol.2011.10.016)
- Enis, I. & Sadikoglu, T. 2016. Design parameters for electrospun biodegradable vascular grafts. *Journal of Industrial Textiles*. 2018;47(8): 2205-2227. doi: [10.1177/1528083716654470](https://doi.org/10.1177/1528083716654470)
- Erb, E., Humm, S., Kearney, S., Pinzone, A., Kern, M. & Kingsley, D. 2022. Sex difference in measures in wave reflection and aortic arterial stiffness in response to weight machine resistance exercise. *International Journal of Exercise Science*. 2022; 15(2): 1190–1201. [Sex Differences in Measures of Wave Reflection and Aortic Arterial Stiffness in Response to Weight Machine Resistance Exercise - PMC \(nih.gov\)](https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/36111111/)
- Fernberg, U., Fenström, M., & Hurtig-Wennlöf, A. 2021. Higher total physical activity is associated lower arterial stiffness in swedish young adults. The long sectional lifestyle, biomarkers and atherosclerosis study. *Vascular Health Risk Management*. 2021; 17: 175-185. doi: [10.2147/VHRM.S283211](https://doi.org/10.2147/VHRM.S283211)
- Fernström, M., Heiland, S., Kjellenberg, K., Ponten, M., Tarassova, O., Nyberg, G., Helgadottir, B., Ekblom, M. & Ekblom, Ö. 2023. Effects prolonged sitting and physical activity breaks on measures of arterial stiffness and cortisol in adolescence. *Acta Paediatrica* 2023; (112) 5: 1011-1018. <https://doi.org/10.1111/apa.16702>

- Fewkes, J., Kellow, N., Cowan, S., Williamsson, G. & Dordevic, A. 2022. A single, high-fat meal adversely affects postprandial endothelial function: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Clinical Nutrition*. 2022; 116(3): 699–729. doi: [10.1093/ajcn/nqac153](https://doi.org/10.1093/ajcn/nqac153)
- Fowler, M. 2018. Microvascular and macrovascular complications of diabetes. *Clin Diabetes* 2008;26(2):77–82. <https://doi.org/10.2337/diaclin.26.2.77>
- Green, D. & Smith, K. 2018. Effects of exercise on vascular function, structure and health in humans. *Cold Spring Harb Perspect Med*. 2018; 8(4): a029819. doi: [10.1101/cshperspect.a029819](https://doi.org/10.1101/cshperspect.a029819)
- Haapala, E., Lee, E., Karppinen, J., Skog, H., Valtonen, M., Kujala, U., Laukkanen, J., Ihalainen, J. & Laakkonen E. 2022. Association of cardiorespiratory fitness, body composition, and blood pressure with arterial stiffness, in adolescent, young adult. *Sci Rep*. 2022; 12: 21378. doi: [10.1038/s41598-022-25795-x](https://doi.org/10.1038/s41598-022-25795-x)
- Harris, C., Von Berg, A., Berdel, D., Bauer, C-P., Schikowsky, T., Koletzko, S., Heinrich, J., Shultz, H. & Standl, M. 2018. Association of Dietary Fatty Acids with Blood Lipids is Modified by Physical Activity in Adolescents: Results of GINIplus and LISA birth cohort studies. *Nutrients*. 2018; 10(10): 1372. doi: [10.3390/nu10101372](https://doi.org/10.3390/nu10101372)
- Hooper, L., Martin, N., Jimoh, O., Kirk, C., Foster, E. & Abdelhamid, A. 2020. Reduction in saturated fat intake for cardiovascular disease. *Cochrane Database of Systematic Reviews*. 2020; Issue 8. Art. No.: CD011737. <https://doi.org/10.1002/14651858.CD011737.pub3>
- Horta, B., Schaan, B., Bielemann, R., Vianna, C., Gigante, D., Barros, F., Ekelund, U. & Hallal, P. 2015. Objective measured physical activity and sedentary-time associated with arterial stiffness in brazilian young adults. *Atherosclerosis*. 2015; 243(1): 148–154. doi: [10.1016/j.atherosclerosis.2015.09.005](https://doi.org/10.1016/j.atherosclerosis.2015.09.005)
- Huang, R.-C., Prescott, S., Godfrey, K. & Davis, E. 2015. Assessment of cardiometabolic risk in children in population studies: underpinning developmental origins of health and disease mother-offspring cohort studies. *J Nutr Sci*. 2015; 4:12–19. doi: [10.1017/jns.2014.69](https://doi.org/10.1017/jns.2014.69)

- Ilander, O. 2018. Rasva. Terveyttä ja energiaa. Teoksessa O. Ilander, M. Laaksonen, P. Lindblad & J. Mursu (toim.) Liikuntaravitsemus- Tehoa, tuloksia ja terveyttä ruuasta. Jyväskylä: VK-Kustannus, 230-231, 242.
- Joyner, M. & Green, D. 2009. Exercise protects the cardiovascular system: Effects beyond traditional risk factor. *Journal of Physiology*. 2009; 587(23): 5551–5558. doi: [10.1113/jphysiol.2009.179432](https://doi.org/10.1113/jphysiol.2009.179432)
- Kantola & Pörsti. 2020. Suurten verisuonten jäykistyminen ja keskeisen verenkierronpaine. Käypähoitosuosituksset. Viitattu 31.10.2023. [Suurten suonten jäykistyminen ja keskeisen verenkierron paine \(kaypahoito.fi\)](https://www.kaypahoito.fi)
- Kato, Y., Mizutani, T., Otsuka, N., Ezeru, H. & Inoue, Y. 2018. Quantative analysis of the elastic fiber in the tunica media at the carotid bifurcation. *Okajimas Folia Anat. Jpn* (95) 2: 23-27. [jstage.jst.go.jp/article/ofaj/95/2/95\\_23/\\_pdf/-char/en](https://www.jstage.jst.go.jp/article/ofaj/95/2/95_23/_pdf/-char/en)
- Kenney, L., Wimore, J. & Costill, D. 2012. *Physiology of Sports and Exercise. The cardiovascular system and its cotrol*. 5. painos. USA: Human Kinetics, 152
- Kiris, A., Kiris G., Karaman, K., Sahin, M., Gedikli, Ö., Kaplan S., Örem, A., Kutlu, M. & Kazaz, Z. 2012. Factors affected left ventricular synchronicity in hypertension patient: are arterial stiffness and central blood pressure influntial. *Türk Kardiyol Dern Arş - Arch Turk Soc Cardiol* 2012;40 (7):581-588. doi: [10.5543/tkda.2012.27474](https://doi.org/10.5543/tkda.2012.27474)
- Kris-Etherton, P., Stewart, P., Ginsberg, H., Tracy, R., Lefevre, M., Elmer, P., Berglund, L., Ershow, A., Pearson, T., Ramakhrisnan, R., Holleran, S., Dennis, B., Champagne, C. & Karmally, W. 2020. A type and amount of dietary fat affect plasma factor VIIc, Fibrinogen, and PAI-1 in healthy individuals and individuals at high cardiovascular disease risk: 2 Randomized controlled trials. *J Nutr*. 2020; 150(8): 2089–2100. doi: [10.1093/jn/nvxaa137](https://doi.org/10.1093/jn/nvxaa137)
- Kozakova, M. & Palombo, C. 2021. Vascular aging and aerobic exercise. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2021, 18(20), 10666; <https://doi.org/10.3390/ijerph182010666>
- Laughlin, H., Newcomer, S. & Bender S., 2008. Importance hemodynamic forces as signals for exercise signals changes in endothelia cell phenotype. *Journal of applied of physiology* 2008; (104) 3: 588-600. <https://doi.org/10.1152/japplphysiol.01096.2007>



- Leed, A., Sheridan, E., Baker, B., Bamford, S., Emmanouilidis, E., Stewart, F., Ostafe, K., Sarwari, M., Lim, K., Zheng, M., Islam, M., Bolton, K. & Grimes, C. 2023. Dietary intake and arterial stiffness in children and adolescence: A systematic review. *Nutrients*. 2023; 15(9): 2092. doi: [10.3390/nu15092092](https://doi.org/10.3390/nu15092092)
- Lefevre, M., Kris-Etherton, P., Zhao, G. & Tracy, R. 2004. Dietary fatty acids, hemostasis, and cardiovascular disease risk. *Journal of the American dietetic association*. 2004. 104 (3): 410-419. <https://doi.org/10.1016/j.jada.2003.12.022>
- Leloup, A., Van Hove, C., Heykers, A., Schrijvers, D., De Meyer, G. & Franssen, P. 2015. Elastic and muscular arteries differ in structure, basal NO production and voltage gated Ca<sup>2+</sup> - channels. *Front Physiol*. 2015; 6: 375. doi: [10.3389/fphys.2015.00375](https://doi.org/10.3389/fphys.2015.00375)
- Lin, C-J., Cocciolone, A. & Wagenseil, J. 2022. Elastin, arterial mechanics and stenosis. *Am J Physiol Cell Physiol*. 2022; 322(5): C875–C886. doi: [10.1152/ajpcell.00448.2021](https://doi.org/10.1152/ajpcell.00448.2021)
- Lobene, A., Ragland, T., Lennon, S. & Malin, S. 2023. Nutrition interaction with exercise training on endothelial function. *Exercise and Sport Sciences Reviews*. 2023. 51(2):57-64. doi: [10.1249/JES.0000000000000312](https://doi.org/10.1249/JES.0000000000000312)
- Mainieri, F., La Bella, S. & Chiarelli, F. 2023. Hyperlipidemia and cardiovascular risk in children and adolescence. *Biomedicines*. 2023; 11(3): 809. doi: [10.3390/biomedicines11030809](https://doi.org/10.3390/biomedicines11030809)
- Marshall, Z., Mackintosh, K. & McNarry, M. 2022. Investigating the influence of physical activity composition on arterial stiffness in youth. *European journal and sport science* (23) 4: 617-624. <https://doi.org/10.1080/17461391.2022.2039304>
- Matsuo, R., Ikeda, A., Tomooka, K., Naito, Y., Uesugi, Y., Maruyama, K., Kawamura, R., Takata, Y., Osawa, H., Saito, I. & Tanikawa, T. 2023. *J Atheroscler Thromb*, 2023; 30: 000-000. <http://doi.org/10.5551/jat.64173>
- Mihuta, M., Paul, C., Borlea, A., Roi, C., Velea-Barta, O., Mozos, I. & Stoian, D. 2023. Unveiling the silent danger of childhood obesity: Non-invasive biomarkers such as carotid intima-media thickness, arterial stiffness surrogate markers, and blood pres. *Biomedicines*. 2023; 11(7): 1841. doi: [10.3390/biomedicines11071841](https://doi.org/10.3390/biomedicines11071841)

- Milutinovic, A., Suput, D. & Zorc-Pleskovic, R. 2020. Pathogenesis of atherosclerosis in the tunica intima, media, and adventitia of coronary arteries: An updated review. *Bosn J Basic Med Sci.* 2020; 2 (1): 21–30. doi: [10.17305/bjbms.2019.4320](https://doi.org/10.17305/bjbms.2019.4320)
- Miyachi, M. 2012. Effects of resistance training on arterial stiffness: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2013;47:393-396. <https://doi.org/10.1136/bjsports-2012-090488>
- Otsuki, T., Maeda, S., Lemitsu, M., Saito, Y., Tanimura, Y., Ajisaka, R. & Miyauchi, T. 2007. Relationship between arterial stiffness and athletic training programs in young adult men. *American Journal of Hypertension* (20) 9: 967-973. <https://doi.org/10.1016/j.amjhyper.2007.05.001>
- Padilla, J., Simmons, G., Bender, S., Arce-Escuivel, A., Whyte, Jeffrey. & Laughin, M. 2011. *Physiology* (Bethesda); 26(3): 132–145. doi: [10.1152/physiol.00052.2010](https://doi.org/10.1152/physiol.00052.2010)
- Pierce, G., Harris, S., Sinetit, D., Casey, D., Barlow, P. & Stauss, H. 2016. Estimate aortic stiffness is independently associated with cardiac baroreflex sensitivity in humans: Role of aging and habitual endurance exercise. *J Hum Hypertens.* 2016; 30(9): 513–520. doi: [10.1038/jhh.2016.3](https://doi.org/10.1038/jhh.2016.3)
- Ramirez-Velez, R., Hernandez-Quinones, P., Tordecilla-Sanders, A., Alvarez, C., Ramirez-Campillo, R., Izquierdo, M., Correa- Bautista, J., Garcia-Hermoso, A. & Garcia, R. 2019. Effectiveness of HIIT compared moderate continuous training in improving vascular parameters in inactive adults. *Lipids Health Dis.* 2019; 18: 42. doi: [10.1186/s12944-019-0981-z](https://doi.org/10.1186/s12944-019-0981-z)
- Ros, E., Martinez-Gonzales, M., Estruch, R., Salas-Salvado, J., Fito, M., Martinez J. & Corella D. 2014. Mediterranean diet and cardiovascular health: Teachings of the PREDIMED Study. *Adv Nutr.* 2014; 5(3): 330S–336S. doi: [10.3945/an.113.005389](https://doi.org/10.3945/an.113.005389)
- Rossow, L., Fahs, C., Thiebaud, R., Loenneke, J., Kim, D., Mouser, J., Shore, E., Beck, T., Bembien, D. & Bembien, M. 2014. Arterial stiffness and blood flow adaptations following eight weeks of resistance training in young and older women. *Experimental gerontology.* 2014; 53: 48-56. <https://doi.org/10.1016/j.exger.2014.02.010>

- Räike, P., Anttila, P., Railo, M., Lepäntalo, M. & Lassila, R. 2003. Trombofiliaan liittyvät vaikeat valtimotukokset. *Duodecim*. 2003; 119(9):881–885. [Trombofiliaan liittyvät vaikeat valtimotukokset \(duodecimlehti.fi\)](https://doi.org/10.1111/duodecim.12111)
- Sacre, J., Jennings, G. & Kingwell, B. 2014. Exercise and Dietary Influences on Arterial Stiffness in Cardiometabolic Disease. *Hypertension*. 2014;63:888–893. <https://doi.org/10.1161/HYPERTENSIONAHA.113.02277>
- Saeedi, P., Haszard, J., Stoner, L., Skeaff, S., Black, K., Davison, B., Harrex, H., Meredith-Jones, K., Quigg, K., Wong, J. & Skidmore, P. 2020. Relationship dietary patterns indice of arterial stiffness and central arterial wave reflections in 9-11-year-old children. *Children (Basel)*. 2020; 7(6): 66. doi: [10.3390/children7060066](https://doi.org/10.3390/children7060066)
- Sakellariou, X., Papafaklis, M., Domouzoglou, E., Katsouras, C., Michalis, L. & Naka, K. 2021. Exercise-meditated adaptations in vascular functio and structure: Beneficial effects in coronary artery disease. *World J Cardiol*. 2021; 13(9): 399–415. doi: [10.4330/wjc.v13.i9.399](https://doi.org/10.4330/wjc.v13.i9.399)
- Sallinen, T., Viitasalo, A., Lintu, N., Väistö, J., Soininen, S., Jalkanen, H., Haapala, E., Mikkonen, S., Swchwab, U., Lakka, T. & Eloranta, A-M. 2022. Effects on an 8-year individual lifestyle intervention on food consumption and nutrient intake from childhood to adolescents: The Panic Study. *Journal of Nutritional Science*. 2022;11 (40): 1-9. doi:[10.1017/jns.2022.13](https://doi.org/10.1017/jns.2022.13)
- Saraf, S., Grobler, A., Liu, R., Liu, M., Wake, M., Olds, T., Lycett, K., Juonala, M., Ranganathan, S., Burgner, D. & Kerr, J., 2021. Takeway food, sugar sweetened bevarages and preclinical cardiometabolic phenotypes in children and adults. *European Journal of Preventive Cardiology*. 2021; (28)16: 1784–1794. <https://doi.org/10.1093/eurjpc/zwaa070>
- Shen, J., Wilmot, K., Ghasemzadeh, N., Molley D., Burkman, G., Mekonnen, G., Congora, M., Quyyumi A.A. & sperling, L. 2015. Mediterranean dietary patterns and cardiovascular health. *Annual rewiev of nutrition*. 2015; (35): 425-449. doi:[10.1146/annurev-nutr-011215-025104](https://doi.org/10.1146/annurev-nutr-011215-025104)

- Stanek, A., Grygiel-Gorniak, B., Brozyna-Tkaczyk, K., Myslinski, W., Cholewka, A. & Zolghadri, S. 2023. The influence of dietary intervention on arterial stiffness in overweight and obese subject. *Nutrients*. 2023; 15(6): 1440. doi: [10.3390/nu15061440](https://doi.org/10.3390/nu15061440)
- Stupin A., Rasic L., Matic A., Stupin M., Kralik Z., Kralik G., et al. (2018). Omega-3 polyunsaturated fatty acids-enriched hen eggs consumption enhances microvascular reactivity in young healthy individuals. *Appl. Physiol. Nutr. Metab.* 2018;43: 988–995. <https://doi.org/10.1139/apnm-2017-0735>
- Stupin, M., Kibel, A., Stupin, A., Selthofer-Relatic, K., Matic, A., Mihajl, M., Mihajilevic, Z., Jukic, I. & Drenjacevic, I. 2019. The physical effort n-3 polyunsaturated fatty acid (n-3 PUFAs) intake and exercise on hemorheology, microvascular function, Physical performance in health and cardio diseases: Is there an interaction of exercise and dietary n-3 PUFA intake? *Front Physiol.* 2019; 10: 1129. doi: [10.3389/fphys.2019.01129](https://doi.org/10.3389/fphys.2019.01129)
- Tanaka, H., Seals, D., Monahan, K., Clevenger, C., DeSouza, C. & Dinunno, F. 2002. Regular aerobic exercise and the age-related increase in carotid artery intima-media thickness in healthy men. *Journal of applied physiology.* 2002; (92) 4: 1458-1464. <https://doi.org/10.1152/jappphysiol.00824.2001>
- Taylor, A. & Johnson, M. 2007. *Physiology of exercise and healthy aging*. USA: Human Kinetics, 10-11.
- Terveyskirjasto.2018. MET– Energian kulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari. Viitattu 12.12.2023. [MET - energiankulutuksen ja fyysisen aktiivisuuden mittari - Terveyskirjasto](#)
- Thompson, W.2019. *Clinical exercise physiology. Cardiovascular disease*. 1. edition. ACSM. Atlanta: Wolters Kluwer.
- Tindall, A., Petersson, K., Skulas-Ray, A., Richter, C., Proctor, D. & Kris-Etherton, P. 2019. Replacing saturated fat with walnuts and vegetable oils improves central blood pressure serum lipids in adults at risk for cardiovascular disease: Randomized controlled-feeding trial. *J Am Heart Assoc.* 2019; 8(9): e011512. doi: [10.1161/JAHA.118.011512](https://doi.org/10.1161/JAHA.118.011512)
- Tucker, W., Arora, Y. & Mahajal, K. 2023. Anatomic, blood vessels. Viitattu 25.11.2023. [Anatomy, Blood Vessels - StatPearls - NCBI Bookshelf \(nih.gov\)](#)

- Vlachopoulos, C., Aznaouridis, A. & Stefanadis, C. 2009. Prediction of cardiovascular events and aal-cause mortality arterial stiffness: Systematic rewiev and meta-analysis. Journal of American college of cardiology. 2009; (55) 13: 1318-1327. <https://doi.org/10.1016/j.jacc.2009.10.061>
- Wierenga, K., Strakovsky, R., Bennighoff, A., Rajasinghe, L., Lukko, A., Harkema J. & Pestka, J. 2020. Requisite Omega-3 HUFA biomarker thresholds preventing murine lupus flaring. Front Immunol. 2020; 11: 1796. doi: [10.3389/fimmu.2020.01796](https://doi.org/10.3389/fimmu.2020.01796)
- Zang, Y., Zhang, F., Huang, D., Gao, X., Di, C-a. & Zhu, D. 2015. Flexible suspended gate organic thin-film transistors for ultra sensitive pressure detectives. Nature communication 6:6269. doi: [10.1038/ncomms7269](https://doi.org/10.1038/ncomms7269)

Liite 1. Ravitsemuksen, liikunnan ja niiden yhdysvaikutuksen rooli nuorten valtimoterveydessä

## **Independent and Joint Association of Physical Activity and Dietary Fat Quality with Arterial Health in Adolescents**

Mika Jormanainen

### **Abstract**

**Purpose** To investigate the independent and joint association of physical activity (PA) and dietary fat quality with arterial health in adolescents.

**Methods** A total of 277 adolescents aged 14-16 years participated in the study. Dietary fat quality was assessed using 4-day dietary records. Sedentary time (ST), light PA, moderate-to-vigorous PA (MVPA), vigorous PA (VPA), and PA energy expenditure (PAEE) were assessed using a combined heart rate and movement sensor. Pulse wave velocity (PWV) and cardio-ankle vascular index (CAVI) were assessed using the impedance cardiography and carotid artery intima media thickness (cIMT) and carotid artery distensibility (CAD) were assessed using carotid ultrasonography. The data were analyzed using linear regression analyses adjusted for age, sex and maturity offset.

**Results** MVPA (unstandardized regression coefficient (B)=-0.003, 95% confidence interval (CI)= -0.008 to -0.001) and PAEE (B)=-0.006, 95% CI= -0.010 to -0.001) were inversely associated with PWV and MVPA (B=-0.008, 95% CI=-0.017 to 0.000) and PAEE (B=-0.014, 95% CI=-0.026 to -0.001) were inversely associated with CAVI. ST (B=0.000, 95% CI=0.000 to 0.000), MVPA (B=0.000, 95% CI= 0.000 to 0.001) and PAEE (B=0.001, 95% CI=0.000 to 0.001) were directly associated with cIMT. An intake of monounsaturated fatty acids (B=0.015, 95% CI=0.001 to 0.030) and MVPA (B=0.004, 95% CI=0.000 to 0.007) were directly associated with CAD. PAEE was inversely associated with CAVI in adolescents with higher saturated fat intake (B=-0.020, 95% CI= -0.036 to -0.004), but not in adolescents with lower SFA intake (B=-0.007, 95% CI= -0.029 to 0.015). PAEE was directly associated with cIMT in adolescents with both higher PUFA intake (B=0.001, 95% CI=0.000 to 0.001), and lower PUFA intake (B=0.001, 95% CI= 0.000 to 0.002, Beta= 0.327, p= 0.019 for interaction).

### **Conclusion**

We found that especially MVPA and PAEE were associated with more elastic arteries. Moreover, our results suggest that higher levels of PAEE are beneficial in adolescents with higher SFA intake.

## **Introduction**

Cardiovascular diseases (CVDs) are the most common non-communicable diseases worldwide (1). Pathophysiological processes leading to atherosclerosis and early arterial stiffening begin already in childhood (1). Increased physical activity (PA), improved diet quality and particularly dietary fat quality have been considered important modifiable factors decreasing the risk of CVDs (2). Alarming, only 19% of adolescents aged 11–17 years meet the recommended levels of PA (3) and 34% of them have exceeded the recommended levels of daily saturated fat intake (4). However, the evidence on the independent and joint associations of dietary fat quality and PA with arterial health in adolescence is limited.

Physical activity has been associated with lower arterial stiffness. Moreover, while resistance training has been associated with lower levels of adiposity and resistance training may increase arterial stiffness (5), there are no previous studies on the associations between resistance training and arterial health in adolescents.

While increased saturated fat intake has been associated with increased arterial stiffness and atherosclerotic progression in adults, the evidence on the associations between diet quality and arterial health in adolescents is scarce and mixed (6). Moreover, little is known about the combined associations of PA and dietary fat quality with arterial health (7).

The independent and combined associations of PA and dietary fat quality with arterial health remain poorly understood. Therefore, we investigated the independent and combined associations of PA and dietary fat quality with arterial health in adolescents.

## **Materials and methods**

The present cross-sectional data are from the 8-year follow-up of the Physical Activity and Nutrition in Children (PANIC) Study, which is a physical activity and dietary intervention and follow-up study in a population sample of children from the city of Kuopio, Finland. Altogether 736 children 6–8 years of age from primary schools of Kuopio were invited to participate in the baseline examination in 2007–2009. A total of 512 children, representing 70% of those invited, participated in the baseline examinations. Six children were excluded from the study at baseline because of physical disabilities that could hamper participation in the intervention or no time or motivation to attend the study. The participants did not differ in sex distribution, age, or BMI standard deviation score (BMI-SDS) from all children who started the first grade in 2007–2009 based on data from the standard school health examinations performed for all Finnish children before the first grade (data not shown). Subsequently, 504 children were invited to a 2-year follow-up study between 2009 and 2011, of whom 438 (87%) participated. Finally, 277 children participated in the 8-year follow-up in 2016 and 2017. (8)

## **Assessment of pulse wave velocity and cardio-ankle vascular index**

Pulse wave velocity (PWV) and cardio-ankle vascular index (CAVI) were measured with the Circmon® B202 impedance cardiography device (JR Medical Ltd, Saku Vald, 419 Estonia). The participants were asked to rest for 15 minutes in a supine position before the measurement. Next, current electrodes were placed on the distal parts of the extremities, slightly proximal to the wrists and the ankles. Voltage electrodes were placed proximal to the current electrodes, with distance of 5 cm between the centres of the electrodes. The distal impedance

plethysmography was recorded from a popliteal artery at the knee joint level. The active electrode was placed on the lateral side of the knee joint, and the reference electrode on the calf. The distance between the electrodes was about 20 cm. Alternating electrical current was applied to current electrodes and change in whole-body impedance was measured from voltage electrodes. The CircMon software estimates the foot of the impedance cardiography signal that coincides with pulse transmission in the aortic arch and the foot of the impedance plethysmography signal that coincides with pulse transmission in the popliteal artery (9).

### **Assessment of carotid intima-media thickness and carotid arterial distensibility**

For the assessment of cIMT and elasticity of the left common carotid artery, carotid ultrasound imaging was performed utilizing the Acuson Sequoia 512 Ultrasound Mainframe® (Acuson, Mountain View, CA, USA) with a 14.0 MHz linear array transducer using a standardized protocol. The sonographers analyzed the ultrasound scans offline from the digitally stored images. Three measurements of the far wall at end-diastole were taken to derive maximal cIMT. For the assessments of carotid artery elasticity, the diameter of the common carotid artery at end-diastole and end-systole was measured at least twice. In addition, the sonographer measured systolic blood pressure (SBP) and diastolic blood pressure (DBP) from the brachial artery just before and directly after the ultrasound scans. The means of the end-diastolic and end-systolic diameters, as well as SBP and DBP values, were used to calculate arterial elasticity indices. Carotid artery distensibility was calculated as:  $((\text{systolic} - \text{diastolic diameter}) \div \text{diastolic diameter}) \div (\text{SBP} - \text{DBP})$  (10).

### **Assessment of physical activity**

A uniaxial accelerometer with a built-in heart rate sensor (Actiheart®, CamNtech Ltd., Papworth, UK) was attached to the chest via ECG electrodes and used to assess sedentary time and PA. The device was set to record body movement and heart rate in 60-second epochs. The participants were instructed to carry on with their usual behavior and to wear the monitor during all daily activities, including sleep, shower, sauna, and swimming. (11) The participants were therefore requested to wear the device continuously for a minimum of four consecutive days; two on weekdays and two on the weekend (11). We accepted sedentary time and PA data for statistical analyses if there was at least 48h of activity recording in weekday and weekend day hours that included at least 12 hours from morning (3 am-9 am), noon (9 am-3 pm), afternoon (3 pm-9 pm), and night (9 pm-3 am) to avoid potential bias from over-representing specific times and activities of the days. (11)

Upon retrieving and downloading the data from the device, heart rate data were first corrected for noise. Subsequently, they were individually calibrated with sleeping heart rate and parameters obtained from maximal exercise tests performed by the Ergoselect 200 K® electromagnetic bicycle ergometer (Ergoline, Bitz, Germany) and the Cardiosoft® V6.5 Diagnostic System ECG device (GE Healthcare Medical Systems, Freiburg, Germany). (11) The heart rate data were finally combined with trunk acceleration data in a branched equation model to estimate activity intensity time-series (12). Monitor non-wear was acknowledged by prolonged zero acceleration lasting >90 min accompanied by non-physiological heart rate, and activity estimates were adjusted during summarization to minimize diurnal bias arising from non-wear. Physical activity energy expenditure (PAEE) was calculated by integrating the intensity time-series, where time distribution of



activity intensity was generated by using standard metabolic equivalents (METs) in 0.5 increments. Sleep duration was analyzed from the Actiheart recordings by a trained exercise specialist and confirmed by a physician, where necessary. (11) The time of falling asleep was defined as accelerometer counts decreasing to zero and heart rate to a plateau level. The time of waking up was defined as accelerometer counts increasing and remaining above zero and heart rate increasing and remaining above the plateau level.

We defined sedentary time as time spent in activity  $\leq 1.5$  METs excluding sleep and light PA, moderate PA, and vigorous PA as time spent in activity  $>1.5$  and  $\leq 4.0$  METs,  $>4.0$  and  $\leq 7.0$  METs, and  $>7.0$  METs, respectively, by defining 1 MET as 71.2 J/min/kg. MVPA included moderate PA and vigorous PA (11).

### **Assessment of resistance training**

Resistance training was assessed using the PANIC Physical Activity Questionnaire for Adolescents. The adolescents were asked to report how often they have participated in resistance training during the past year. The participants were asked to report the weekly frequency and duration of resistance training (min/d) in sports clubs, other supervised practices, or unsupervised training. These were summed-up to represent the general resistance training volume and were used in the analyses.

### **Assessment of dietary fatty acids**

We assessed the consumption of food and drinks and the intake of nutrients using food records (13). The food records covered four predefined and consecutive days, including two weekdays and two weekend days or three weekdays and one weekend day. The clinical nutritionists, which were trained based on the protocol of the study oversaw giving the instructions about the food records to the study participants at the research site during the study visits. At 8-year follow-up, the adolescents were instructed to record their food and drink consumption by themselves. A clinical nutritionist checked the returned food records together with the adolescents and filled in any missing information. We calculated food consumption and nutrient intake using the Micro Nutrica® dietary analysis software, Version 2.5. The software is based on detailed information about the nutrient content of foods in Finland and other countries (14). Moreover, a clinical nutritionist updated the software by adding new food items and products with their actual nutrient content based on new data in the Finnish food composition database (15) or received from the producers (14).

### **Assessment of somatic maturation**

Somatic maturity status in terms of time to peak height velocity was calculated using the equations by Moore et al. (16).

### **Assessment of body size and composition**

Whole body mass was measured twice, with the children having fasted for 12 hours, emptied the bladder, and standing in light underwear by a calibrated InBody 720 bioelectrical impedance device (Biospace, Seoul, South Korea) to an accuracy of 0.1 kg. The mean of these 2 values

was used in the analyses. Stature was measured 3 times with the children standing in the Frankfurt plane without shoes using a wall-mounted stadiometer to an accuracy of 0.1 cm. The mean of the nearest 2 values was used in the analyses. Body mass index was calculated by dividing body mass (kilograms) by body height (meters squared). BMI-SDS was calculated based on Finnish reference data (17). The prevalence of overweight and obesity was defined using the cutoff values provided by Cole et al. (22) Total fat mass and body fat percentage (BF%) were measured by the Lunar dual-energy x-ray absorptiometry device (GE Medical Systems, Madison, WI) using standardized protocols. (18)

### **Statistical Analysis**

All statistical analyses were performed with IBM SPSS 28 statistics (IBM Corp. NY, Armonk, USA) software. The characteristics of participants were presented as means (standard deviations) or medians (interquartile range) for continuous variables or percentages for categorical variables, respectively. The associations of measures of PA and dietary fat intake with arterial health were investigated using linear regression analyses adjusted for age, sex, BF% and somatic maturity. To study the modifying effect of dietary fat quality on the associations of PA with arterial health was investigated including the dietary fat x PA interaction term into the models.

### **Results**

#### **Participants**

Of the 277 participants who attended the 8-year follow-up, 95 adolescents (39 girls and 56 boys) had valid data for the analyses concerning PWV and CAVI. A total of 117 adolescents (48 girls and 69) had valid data for the analyses concerning cIMT and CAD. The basic characteristics of the participants are presented in Table 1.

Table 1. Characteristics of study participants

	All	Girls	Boys
Age (years)	15.8 (15.0–17.4)	15.8 (15.0–16.6)	15.8 (15.0–17.4)
Height (cm)	171.7 (147.9-194.7)	165.7 (147.9-182.2)	176.6 (156.3-194.7)
Weight (kg)	62.2 (39.2–150.9)	57.9 (39.2–86.9)	65.8 (39.9–150.9)
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	21.0 (14.9–40.1)	21.1 (15.1-33.0)	21.0 (14.9-40.1)
BMI-SDS	-0.05 (1.01)	0.05 (0.9)	-0.14 (1.1)
Somatic maturation (PHV)	2.64 (0.80-4.41)	3.75 (2.15-5.68)	1,80 (0.43-3.45)
Body fat percentage (%)	22.6 (5.0-50.1)	28.9 (14.6-50.1)	17 (5.0–48.3)
Energy intake (Kcal/d)	1842 (811-4065)	1633 (908-3448)	2050 (811-4065)
SFA intake (g/d)	25.8 (6.3-58.8)	22.7 (6.3-56.1)	29.0 (7.1-58.8)
MUFA intake (g/d)	24.4 (6.2-90.8)	21.4 (6.2-51.6)	27.5 (8.9-90.8)
PUFA intake (g/d)	13.0 (3.5-32.6)	11.6 (3.6-29.8)	14.4 (3.5-32.6)
ST (min/d)	606 (223-918)	609 (306-838)	605 (223-918)
LPA (min/d)	321 (105-691)	320 (105-580)	322 (113-691)
MVPA (min/d)	45 (0–165)	37 (1-143)	50 (0-165)
VPA (min/d)	11 (0–78)	7 (0–55)	13 (0-78)
PAEE (kJ/kg/d)	54.9 (9.1-141.7)	51.5 (17.5-105.1)	57.7 (9.1-141.7)
RT in a sports club (min/d)	0.12 (0-23.7)	0 (0)	0.2 (0-23.7)
RT other training (min/d)	0.14 (0-15.8)	0.1 (0-15.8)	0.1 (0-15.8)
RT unsupervised-training (min/d)	8.3 (0-78.9)	7.5 (0-53.3)	8.9 (0-78.9)
RT total (min/d)	8.6 (0-78.9)	7.7 (0-53.3)	9.3 (0-78.9)
PWV (m/s)	5.8 (5.05-8.1)	5.8 (5.1-8.1)	5.8 (5.05-7.9)
CAVI	6.4 (4.7-13.45)	6.5 (4.7-13.45)	6.2 (4.05-12.8)
cIMT (mm)	0.44 (0.29-0.64)	0.43 (0.29-0.50)	0.45 (0.31-0.64)
CAD (%/10mmHg)	2.75 (1.33-5.31)	2.91 (1.90-5.31)	2.59 (1.33-4.99)

BMI= Body mass index, BMI-SDS=Body mass index standard deviation, SFA=Saturated fat, MUFA=Monounsaturated fat, PUFA=Polyunsaturated fat, LPA=Light physical activity, ST= Sedentary time, MVPA=Moderate to vigorous physical activity, VPA=Vigorous physical activity, PAEE=Physical activity of energy expenditure, RT=Resistance training, PWV= Pulse wave velocity, CAVI=Cardio-ankle vascular index, cIMT=carotid intima-media thickness, CAD= Carotid arterial distensibility. Number of participants in PWV and CAVI were n=95; cIMT and CAD were n=117.

### Independent associations of physical activity and dietary fat with arterial health

MVPA and PAEE were inversely associated with PWV and CAVI. Sedentary time, MVPA, VPA and PAEE were directly associated with cIMT. MVPA and MUFA intake were directly associated with CAD. Resistance training was not associated with vascular health (Table 2). Moreover, resistance training less than three times a week was not associated with PWV (Mean difference (MD)=0.278, CI=-0.039 to 0.595), CAVI (MD=0.080, CI=-0.783 to 0.944), cIMT (MD=0.000, CI=-0.034 to 0.034) and CAD (MD=0.052, CI=-0.443 to 0.339) and three times or more times a week was not also associated with PWV (MD=-0.278, CI=-0.595 to 0.039), CAVI (MD=-0.080, CI=-0.944 to 0.783), cIMT (MD=0.000, CI=-0.034 to 0.034) and CAD (MD=-0.052, CI=-0.339 to 0.443).

### **Combined associations of physical activity and dietary fat with arterial health**

MVPA and PAEE were inversely associated with PWV. MVPA and PAEE were inversely associated with CAVI. Sedentary time, MVPA, VPA and PAEE were directly associated with cIMT. An intake of MUFA and MVPA were directly associated with CAD. PAEE was inversely associated with CAVI in adolescents with higher saturated fat intake ( $B=-0.020$ , 95% CI= $-0.036$ ;  $-0.004$ ,  $\beta=-0,367$   $p=0,017$  for interaction), but not in adolescents with lower SFA intake ( $B=-0.007$ , 95% CI= $-0.029$  to  $0.015$ ,  $p=0.526$  for interaction). PAEE was directly associated with cIMT in adolescents with both higher PUFA intake ( $B=0.001$ , 95% CI= $0.000$  to  $0.001$ ), and lower PUFA intake ( $B=0.001$ , 95% CI= $0.000$  to  $0.002$ ,  $Beta=0.327$ ,  $p=0.019$  for interaction). Further adjustment for BF% attenuated the association between PAEE and CAVI in adolescents with higher SFA intake ( $B -0.014$ , 95% CI= $-0.027$  to  $-0.001$ ,  $Beta=-0.237$ ).

Table 2.

	PWV (m/s)			CAVI			cIMT (mm)			CAD (10 <sup>-3</sup> x mmHg <sup>-1</sup> )		
	B	95% CI	β	B	95% CI	β	B	95% CI	β	B	95% CI	β
SFA (g/d)	-0.007	-0.020 to 0.006	-0.115	-0.019	-0.055 to 0.017	-0.122	0.000	-0.002 to 0.001	-0.036	0.010	-0.004 to 0.024	0.134
MUFA (g/d)	-0.009	-0.022 to 0.004	-0.142	-0.021	-0.057 to 0.015	-0.129	0.001	-0.001 to 0.002	0.102	0.015	<b>0.001 to 0.030*</b>	0.190
PUFA (g/d)	-0.018	-0.039 to 0.003	-0.173	-0.036	-0.094 to 0.023	-0.130	0.000	-0.002 to 0.002	0.017	0.020	-0.005 to 0.044	0.144
Sedentary time (min/d)	0.001	0.000 to 0.002	0.175	0.002	0.000 to 0.004	0.161	0.000	<b>0.000 to 0.000*</b>	-0.225	0.000	-0.001 to 0.001	-0.064
LPA min/d	-0.001	-0.002 to 0.000	-0.185	-0.002	-0.005 to 0.001	-0.162	7.987E-5	0.000 to 0.000	0.140	0.000	-0.001 to 0.001	0.021
MVPA min/d	-0.003	<b>-0.008 to -0.001*</b>	-0.228	-0.008	<b>-0.017 to 0.000*</b>	-0.212	0.000	<b>0.000 to 0.001*</b>	0.235	0.004	<b>0.000 to 0.007*</b>	0.180

VPA min/d	-0.007	-0.015 to 0.001	-0.184	-0.021	-0.042 to 0.001	-0.206	0.001	<b>0.000- 0.002*</b>	0.205	0.008	-0.001 to 0.017	0.158
PAEE (kj/kg/d)	-0.006	<b>-0.010 to - 0.001*</b>	-0.245	-0.014	<b>-0.026 to -0.001*</b>	-0.226	0.001	<b>0.000 to 0.001**</b>	0.269	0.004	-0.002 to 0.009	0.122
Resistance training total (min/d)	0.008	0.000 to 0.016	0.193	0.016	-0.016 to 0.037	0.151	-0.001	-0.002 to 0.000	-0.159	-0.162	-0.018 to 0.001	-0.162
<b>P-value under the limit of *p&lt;0.05 and **p&lt;0.01</b>												

## Discussion

We found that MVPA and PAEE were inversely associated with PWV and CAVI. Moreover, higher levels of VPA and a higher MUFA intake were associated with higher CAD. Conversely, higher levels of VPA and ST were associated with higher cIMT. We also observed that PAEE was inversely associated with CAVI in adolescents with a higher SFA intake. However, resistance training was not associated with arterial health. Our results suggest that PA at least moderate intensity is inversely associated with arterial stiffness and that physical activity may have a stronger association with arterial stiffness among adolescents with unhealthier dietary fat composition.

In line with previous studies, MVPA was the most effective stimulus for arterial health changes in children and adolescents (19). We found that higher levels of MVPA were associated with lower arterial stiffness. In addition, in line with previous studies (19,20,21), LPA was not associated with arterial stiffness, suggesting that habitual PA should be intense enough to improve arterial compliance (19). In addition, the duration of MVPA plays a role in arterial stiffness and is associated with more favorable aortic PWV in children (23). While we found that ST was not associated with arterial stiffness, a higher ST was associated with a higher cIMT, suggesting that increased levels of ST may advance atherosclerotic processes. Excessive sitting adversely affects cardiometabolic health regardless of MVPA (24). Moreover, excessive sitting also has been linked to negative changes in the structure and function of arteries in adolescents (25). To get positive effects on arterial health regular exercise should be performed (26).

Counterintuitively, VPA was also directly associated with cIMT. Nevertheless, while the direct association between ST and cIMT may reflect an atherosclerotic process, the corresponding association between VPA and cIMT may reflect adaptive remodelling in response to hemodynamic load through VPA. Moreover, PA augments blood flow and shear stress, resulting in increased nitric oxide (NO) production and upregulation of endothelial NO synthase activity (27). Exercise increases inflammation and oxidative stress in the acute phase (28), however, beneficial changes occur during recovery from exercise, for example, in endothelial function. Our study also showed that exercise has several positive associations with arterial health, although physical activity increases cIMT (not pathological). The increase in cIMT due to exercise is normal adaptive remodeling. However, more studies are needed to explore the mechanism explaining the associations of PA and ST with arterial health in adolescents. It should also be noted that atherosclerotic changes occur earlier in the abdominal aorta than in the carotid arteries, so measurement of aortic intima media thickness (aIMT) may be a more sensitive indicator in children and adolescents (29).

We found that a higher MUFA intake was associated with a higher CAD indicating more elastic carotid artery. Previous studies found that improving the ratio of saturated and unsaturated fat intake in the diet was favorably associated with aortic distensibility in 11–19 years adolescents (30). From childhood to adulthood, excessive cumulative saturated dietary fat was associated higher aIMT and lower aortic distensibility in adulthood (30). While a higher intake of SFA have been associated with impaired endothelial function and increased arterial stiffness, we found that SFA was not independently associated with arterial health. However, we observed that a higher PAEE was inversely associated with arterial stiffness assessed by CAVI among adolescents with higher SFA intake but not among those with a lower SFA intake. These results suggest that SFA may be harmful for arterial health particularly in adolescents with low PA levels. Moreover, SFA can expand white adipose tissues, increase oxidative stress and inflammation in 14-18-year-olds (31). Saturated fat intake associated with increased plasma LDL-cholesterol concentrations, which result in vascular remodeling and may initiate the

processes of atherosclerotic plaque formation (6). However, this same study found that between different types of fat, including saturated fat, and PWV there was no association (6).

In line with previous studies, resistance training promotes health benefits in obese children (32). Resistance training has been associated with favorable alterations in the lipoprotein profile in 14–17-year adolescent males (33). Moreover, increased arterial stiffness as result of resistance training is a normal physiological response to an increase in blood pressure, in which case resistance training may not cause chronic changes in the structure of the arteries (34). In our study, we found not association between resistance training and arterial health.

The strengths of the study include valid and reproducible methods to assess sedentary time, PA, and quality of fat. We also controlled for several possible confounding factors, allowing us to investigate their role in the associations of dietary fat quality and PA with PWV, CAVI, cIMT and CAD.

However, due to missing data at the 8-year follow-up stage, data from 23% of the participants were omitted from the analyses which decreased the statistical power to detect significant associations. There are also several limitations that need to be noted. Firstly, causality cannot be ascertained due to the nature of observation of study. Secondly, PA assessed by the Actiheart monitor may also underestimate the time spent in sedentary behaviors as it is placed on the chest as opposed to being on the thigh, which would provide a more accurate assessment. Moreover, we assessed resistance training using a questionnaire and did not capture estimates of training intensity, load or effectiveness. Therefore, the amount of exercise, exercise intensity and the way of carrying out resistance training can be under- or overestimated when the self-reporting was made by the participants. Finally, our sample included apparently healthy Caucasian youth, so our results may not be directly generalizable to other population groups.

## Conclusion

We found that especially MVPA and PAEE were associated with more elastic arteries. Moreover, our results suggest that a higher levels of PAEE are beneficial in adolescents with higher SFA intake. Moreover, resistance training was not associated with arterial health. The quality and quantity of dietary fat, as well as the amount of exercise and the type of exercise, may be associated with better arterial health. More studies for arterial health are warranted.

## References

1. Saeedi, P, Haszard, J., Stoner, L., et.al. 2020. Relationship dietary patterns indice of arterial stiffness and central arterial wave reflections in 9-11-year-old children. *Children*. 2020; 7(6):66.
2. Ros, E., Martinez-Gonzales, M., Estruch, R., Salas-Salvado, J., Fito, M., Martinez J. & Corella D. 2014. Mediterranean diet and cardiovascular health: Teachings of the PREDIMED Study. *Advance in Nutrition*. 2014; 5(3):330S–336S.
3. Guthold, R., Stevens, G., Riley, L. & Bull, F. 2020. Global trends in insufficient physical activity among adolescents: a pooled analyses of 298 population-based surveys with 1.6 million participants. *Lancet Child Adolesc Health*. 2020 Jan; 4(1): 23–35.



4. Blomhoff, R., Andersson, R., Christensen, E.K. et.al. 2023 Nordic council of ministers. Nordic nutrition recommendation 2023. Copenhagen 2023; 114.
5. Miyachi, M. 2012. Effects of resistance training on arterial stiffness: A meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 2013;47:393-396.
6. Leed, A., Sheridan, E., Baker, B. et.al. 2023. Dietary intake and arterial stiffness in children and adolescents: A systematic review. *Nutrients*.2023. 15 (9): 2092.
7. Harris, C., Von Berg, A., Berdel, D. et.al. 2018. Association of Dietary Fatty Acids with Blood Lipids is Modified by Physical Activity in Adolescents: Results of GINIplus and LISA birth cohort studies. *Nutrients*. 2018; 10(10):1372.
8. Haapala, E., Wiklund, P., Lintu, N., et.al. 2020. Cardiorespiratory fitness, physical activity, and insulin resistance in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. 2020;52(5): 1144–1152.
9. Kõöbi T, Kähönen M, Iivainen T, Turjanmaa V. Simultaneous non-invasive assessment of arterial stiffness and haemodynamics—a validation study. *Clin Physiol Funct Imaging*. 2003; 23:31–36.
10. Toivonen, E., Lee, E., Leppänen, M., Laitinen, T., Kähönen, M., Lakka, T. & Haapala, E. 2024. The association of depressive symptoms and perceived stress with arterial health in adolescents. *Physiological Reports*. 2024; 12(6): e15986
11. Väistö, J., Haapala, E., Viitasalo, A. et al. 2019. Longitudinal associations of physical activity and sedentary time with cardiometabolic risk factor in children. *Scandinavian journal of medicine and science in sports*. 2019;29(1):113-123.
12. Brage, S., Brage, N., Franks, PW., et al. 2013. Branched equation modeling of simultaneous accelerometry and heart rate monitoring improves estimate of directly measured physical activity energy expenditure. *Journal of Applied Physiology*. 2004;96(1):343–351.
14. Sallinen, T., Viitasalo, A., Lintu, N., Väistö, J., Soininen, S., Jalkanen, H., Haapala, E., Mikkonen, S., Schwab, U., Lakka, T. & Eloranta, A-M. 2022. Effects on an 8-year individual lifestyle intervention on food consumption and nutrient intake from childhood to adolescents: The Panic Study. *Journal of Nutritional Science*. 2022; 11 (40): 1–9.
13. Eloranta, A-M., Venäläinen, T., Soininen, S., et al. 2016. Food sources of energy and nutrients in Finnish girls and boys 6–8 years of age – the PANIC study. *Food Nutr Res*. 60, 32444.
14. Rastas, M., Seppänen, R., Knuts, LR., et al. (1997). *Nutrient Composition of Foods*. Helsinki: The Social Insurance Institution of Finland.
- Eloranta, M., Lindi, V., Schwab, U., Kiiskinen, S., Kalinkin, M., Lakka, HM., Lakka, TA. 2011. Dietary factors and their associations with socioeconomic background in Finnish girls and boys 6–8 years of age: the PANIC Study. *European Journal of Clinical Nutrition*. 2011;65(11):1211–8.
15. National Institute for Health and Welfare NU Fineli. Finnish food composition database.

16. Moore, S., McKey, H., MacDonald, H., Nettlefold, L., Baxter-Jones, A., Noel, C. and Brasher, P. 2014. Enhancing a somatic maturity prediction model. *Medicine & Science in Sports & Exercise* 47(8):1755-1764
17. Saari, A., Sankilampi, U., Hannila, M-L., Kiviniemi, V., Kesseli, K., Dunkel, L. 2011. New Finnish growth references for children and adolescents aged 0 to 20 years: length/height-for-age, weight-for-length/height, and body mass index-for-age. *Ann Med.* 2011; 43:235–248.
18. Tompuri, TT., Lakka, TA., Hakulinen, M., Lindi, V., Laaksonen, DE., Kilpeläinen, TO., Jääskeläinen, J., Lakka, H-M, Laitinen, T. 2015 Assessment of body composition by dual-energy X-ray absorptiometry, bioimpedance analyses and anthropometrics in children: the physical activity and nutrition in children study. *Clin Physiol Funct Imaging.* 2015; 35:21–33.
19. Marshall, Z., MacIntosh, K. & McNarry, M. 2022. Investigating of physical activity composition on arterial stiffness in youth. *European Journal of Sports science.* 2022;23(4):617-624.
20. Carson, V. & Janssen, I. 2011. Volume, patterns, and types of sedentary behavior and cardio-metabolic health in children and adolescents: A cross-sectional study. *BMC Public Health.* 2011;11(1): 274.
21. Haapala, E. A., Väistö, J., Veijalainen, A., Lintu, N., Wiklund, P., Westgate, K., Lakka, T. A. (2017). Associations of objectively measured physical activity and sedentary time with arterial stiffness in pre-pubertal children. *Pediatric Exercise Science*, 29 (3), 326–335
22. Cole, TJ., Lobstein, T. 2012. Extended international (IOTF) body mass index cut-offs for thinness, overweight and obesity. *Pediatr Obes.* 2012;7: 284–294.
23. Marshall, Z., Mackintosh, K. & McNarry, M. 2022. Investigating the influence of physical activity composition on arterial stiffness in youth. *Biomedicines.* 2023;11(3): 809.
24. DeSouza, C., Shapiro, L., Clevenger, C., Dinunno, F., Monahan K., Tanaka, H. & Seals, D. 2000. Regular aerobic exercise prevents and restores Age related declines in endothelium dependent vasodilation in healthy men. *Circulation.* 2000;102: 1351–1357.
25. Horta, B., Schaan, B., Bieleman, R., Vianna, C., Gigante, D., Barros, F., Ekelund, U. & Hallal, P. 2015. Objective measured physical activity and sedentary-time associated with arterial stiffness in brazilian young adults. *Atherosclerosis.* 2015;243(1): 148–154.
26. Fernström, M., Heiland, S., Kjellenberg, K. et.al. 2023. Effects prolonged sitting and physical activity breaks on measures of arterial stiffness and cortisol in adolescence. *Acta Paediatrica. Nurturing The Child.* 2023;112(5):1011-1018.
27. Clarkson, P., Montgomery, H., Mullen, M., et.al. 1999. Exercise training enhances endothelial function on young men. Exercise training enhances endothelial function in young. *Journal of the American college of Cardiology.* 1999;33(5): 1379–1385.
28. Green, D. & Smith, K. 2018. Effects of exercise on vascular function, structure and health in humans. *Cold Spring Harbor Perspective in Medicine.* 2018; 8(4): a029819.
29. Dawson, J., Sonka, M., Blecha, M., Lin, W. & Davis, P. 2009. Risk factors associated with aortic and carotid intima-media thickness adolescence and young adults: The muscatine offspring study. *Journal of the American college of Cardiology.* 2009;53(24):2273-2279

30. Laitinen T., Nuotio J., Rovio, S., et.al. 2020. Dietary fats and atherosclerosis from childhood to adulthood. *Pediatrics* 2020;145: e20192786.
31. Xu, L., Zou, X., Gao, Z., Mao, C., Su, H., Li, C. & Chen, N. 2021. Improved fatty acids profile reduced body fat and arterial stiffness in obese adolescent upon combinational intervention with exercise and dietary intervention. *Journal of Exercise Science & fitness*. 2021; 19(4): 234–240.
32. Dahab, K. & McCambridge, T. 2009. Strength training children and adolescents. *Sports health*. 2009 May; 1(3): 223–226.
33. Fripp RR & Hodgson JL. Effect of resistive training on plasma lipid and lipoprotein levels in male adolescents. *J Pediatr*. 1987;111:926-931
34. Otsuki, T., Maeda, S., Lemitsu, M., Saito, Y., Tanimura, Y., Ajisaka, R. & Miyauchi, T. 2007. Relationship between arterial stiffness and athletic training programs in young adult men. *American Journal of Hypertension*. 2007; (20) 9: 967-973.