

**FYYSISEN AKTIIVISUUDEN JA AIVOJEN TILAVUUDEN
YHTEYDET MONOZYGOOTTISILLA KAKSOSILLA**

Laura Toivanen

Liikuntalääketieteen Pro Gradu –tutkielma

Kevät 2016

Terveystieteiden laitos

Jyväskylän yliopisto

TIIVISTELMÄ

Toivanen, Laura (2016) Fyysisen aktiivisuuden ja aivojen tilavuuden yhteydet monozygoottisilla kaksosilla. Terveystieteiden laitos, Jyväskylän yliopisto, pro gradu-tutkielma, 38s.

Korkea fyysisen aktiivisuuden määrä on yhdistetty parempaan terveyteen, kuin myös aivojen harmaan ja valkean aineen, sekä aivo-selkäydinnesteen määrään, joiden volyymi on puolestaan yhteydessä hermostorappeumasairauksien syntyyn. Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kuinka fyysisen aktiivisuuden taso vaikuttaa aivovolyymeihin, kehonkoostumukseen ja fyysiseen kuntoon nuorilla monozygoottisilla (MZ) mieskaksosilla, jotka ovat diskortantteja liikunnan suhteen.

Tutkimusaineistoon poimittiin systemaattisesti väestöpohjaisesta FITFATTWIN-kaksostutkimuksesta yhdeksän tervettä monozygoottista mieskaksosparia (N= 18) iältään 32-35v, jotka olivat diskortantteja liikunnan suhteen viimeisen kolmen vuoden ajalta. Haastattelujen pohjalta laskettiin keskiarvoindeksi kuvaamaan fyysisen aktiivisuuden määrä MET-tunteina viimeiseltä kolmelta vuodelta (MET-tunnit/päivä, METH). Aivojen eri tilavuusmuuttujat laskettiin kokoaivojen magneettikuvista (MK). Kehonkoostumus mitattiin Dexa- ja InBody-mittareilla, ja lisäksi kestävyyskunto testattiin polkupyörä-ergometritestillä, josta hengityskaasu ja maksimaalista hapenottoa mitattiin spiroergometri-järjestelmällä. Aineisto analysoitiin IBM SPSS Statistics 20-ohjelmalla. Fyysisen aktiivisuuden (METH) määrän yhteyttä kehonkoostumukseen, kestävyyskuntoon ja aivovolyymeihin tarkasteltiin pienen aineiston Mann-Whitney-Wilcoxonin (MWW) -testillä, sekä Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla.

MWW-testin parittaisen analyysin mukaan aktiivisemmalla kaksosella (ka 4.5 METH) oli alhaisempi kehon rasvaprosentti (P=.04) ja korkeampi hapenotto (P=.001) verrattuna inaktiiviseen kaksoseseen (ka 1.4 METH). Fyysinen aktiivisuus oli suuntaa antavasti, mutta ei tilastollisesti merkittävästi, yhteydessä maksimaaliseen hapenottoon ($r=0.48$, $P=0.23$) ja aivo-selkäydinnesteen määrään ($r=0.50$, $P=0.21$) aktiivisilla kaksosilla. Yhdistetty aivojen harmaa ja valkea-ainevolyymi (GM+WM) oli suuntaa-antavasti yhteydessä vähäiseen fyysiseen aktiivisuuteen ($r=-0.57$, $P=0.11$) inaktiivisilla kaksosilla.

Tutkimusaineiston perusteella korkeampi fyysinen aktiivisuus on yhteydessä matalampaan rasvamäärään, korkeampaan hapenottoon ja sillä saattaa olla yhteyttä suurentuneeseen aivo-selkäydinnesteen määrään nuorilla ja terveillä mieskaksosilla. Tutkimus antaa viitteitä siitä, että fyysinen inaktiivisuus saattaa olla yhteydessä suurentuneeseen aivojen valkean ja harmaan aineen yhteiskokoon. Liikunnalla ei ollut muutoin yhteyttä aivovolyymien kokoon tai kehonkoostumukseen, kun tutkittavat kaksoset jakavat täysin saman geneettisen perimän.

AVAINSANAT Kaksostutkimus, monozygoottiset kaksoset, aikuiset, fyysinen aktiivisuus, aivovolyymit, kehonkoostumus

ABSTRACT

Toivanen Laura (2016). Physical activity and associations to brain volumes in monozygotic adult twins. Faculty of Sport and Health Sciences. Department of Health Sciences, University of Jyväskylä, Master's thesis, 38 p.

Physical activity has been associated to the better health and also to brain volumes, including gray and white matter plus cerebrospinal fluid. Gray and white matter volumes play a significant role in the development of neurodegenerative diseases. The purpose of this study was to investigate how physical activity affects brain volumes, body composition and cardiorespiratory fitness on young adult monozygotic twins discordant for physical activity.

From FITFATTWIN cohort we selected 9 young adult male monozygotic twin pairs (age range 32-35 yr) discordant for leisure time physical activity during the past 3 years. After interviews we calculated a mean index for leisure time during the past 3 yr (MET_h/day). Measurements of brain volumes were calculated from whole brain magnetic resonance imaging. Body composition was measured by dual-energy x-ray absorptiometry (DEXA) and InBody equipment. Aerobic capacity was also tested by spiroergometry. Study results were analyzed by IBM SPSS Statistics 20 – program. Association of the physical activity level with body composition, cardiorespiratory fitness and brain volumes were analyzed by Mann-Whitney-Wilcoxon –test and Spearman's correlation suitable for small data sample.

According to pairwise analysis the active twin (mean 4.5 MET_h) had lower body fat percentage (P=.04) and higher cardiorespiratory fitness (P=.001) compared to the inactive co- twin (mean 1.4 MET_h). Physical activity was slightly, but not statistical significantly, connected to higher cardiorespiratory fitness (r=0.48, P=0.23) and volume of cerebrospinal fluid on active twins. Gray matter volume plus white matter volume together were slightly connected to higher inactivity (r=-0.57, P=0.11).

According to this study higher physical activity was associated to lower fat percentage, higher cardiorespiratory fitness and it also might be linked to higher amount of cerebrospinal fluid on young male monozygotic twins. Physical inactivity might have connection to larger combined gray and white matter. Physical activity was not associated with specific brain volumes in this cohort of monozygotic twins.

Keywords: twin study, MZ twins, adults, physical activity, brain volumes, body composition

KÄYTETYT LYHENTEET

BMI – Body mass index, kehon painoindeksi

CRF – Cardio respiratory fitness, verenkierto- ja hengityselimistön kunto

CSF – Cerebrospinal fluid, aivo-selkäydinneste

DXA - Dual-energy X-ray absorptiometry, kaksiennergisen röntgensäteiden absorptiometria

DZ – Dizygoottinen kaksonen, erimunainen kaksonen

FA – Fyysinen aktiivisuus

GM – Gray matter, harmaa aine

MET- Metabolinen ekvivalentti, heijastaa kuinka moninkertaiseksi FA tai liikunta lisää energieettistä aineenvaihduntaa (=hapenkulutus)

MRI – Magnetic resonance image, magneettikuvaus

MZ – Monozygoottinen kaksonen, samanmunainen kaksonen

TIV – Total intracranial volume, intrakraniaalinen kokonaisvolyymi (myös ICV, intracranial volume)

WM – White matter, valkea aine

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 TEORIATAUSTA	2
2.1 Fyysinen aktiivisuus.....	2
2.1.1 METh.....	3
2.1.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistö.....	3
2.1.3 Kestävyyuskunto	5
2.2 Aivojen fysiologia ja anatomia	6
2.2.1 Aivokuori.....	8
2.2.2 Aivo-selkäydinneste eli likvori (Cerebrospinal fluid, CSF).....	12
2.2.3 Aivojen kehitysbiologia	14
2.3 Aivovolyymit (TIV, GM, WM, CSF)	15
2.3.1 Aivovolyymit ja fyysinen aktiivisuus.....	16
2.4. Antropometria	17
2.4.1 Kehonkoostumus & FA	18
3 TUTKIMUSONGELMAT	19
4 METODIT	20
4.1 Tutkimusaineisto	20
4.2 Tutkimusmenetelmät.....	22
5 TULOKSET	24
6 POHDINTA	27
7 JOHTOPÄÄTÖKSET	32
LÄHTEET	33

1 JOHDANTO

Liikunnalla ja fyysisellä aktiivisuudella on yhteyksiä ja terveydellisiä vaikutuksia useisiin terveysongelmiin ja kansansairauksiin (Reiner ym. 2013; Vuori ym. 2005). Myös vahvaan näyttöön perustuvan Käypä hoito –suosituksen (2010) mukaan liikunnan avulla voidaan ehkäistä, hoitaa ja kuntouttaa monia pitkäaikaissairauksia, kuten tyyppin 2 diabetesta, kohonnutta verenpainetta, lihavuutta ja sepelvaltimotautia. Ihmisille saadaan suurimmat terveyshyödyt, kun vähän liikkuva henkilö aloittaa kohtuukuormitteisen liikunnan (McArdle ym. 2007).

Useissa tutkimuksissa geneettisellä perimällä ja lapsuuden ympäristöllä on todettu olevan yhteyksiä fyysisen aktiivisuuden tasoon aikuisiällä (Stubbe ym. 2006; Rottensteiner 2015). Niinpä monozygoottisten kaksosten samanlainen geneettinen perimä ja yleensä myös yhteisen lapsuuden ympäristön jakaminen ohjaa ja kontrolloi tutkimukseen osallistuvien taustoja samankaltaisiksi, jolloin Rottensteinerin ym. (2015) tutkimusta mukaillen vain viimeisen kolmen vuoden aikana tapahtunut eroavaisuus fyysisessä aktiivisuudessa on merkitsevä tutkimuksen kannalta tutkittujen aikuisten MZ miespuolisten kaksosparien välillä.

Vanhemmilla kaksospareilla on saatu tutkimusnäyttöä, jossa hyvän fyysisen kunnon on todettu pitävän yllä vanhemmalla aikuisiällä tiettyjen aivovolyymien kokoa etenkin hippokampuksessa, verrattuna vähemmän liikkuviin saman ikäisiin verrokkeihin väestössä (Eriksson ym. 2009). Fyysinen aktiivisuus (FA) on myös yhdistetty harmaan ja valkean aineen volyymiin määrään aivoissa (Alosco ym. 2013), joka puolestaan on yhdistetty parempiin kognitiivisiin toimintoihin ja muistiin (Ruscheweyh ym. 2011, Boots ym. 2014).

Tramon ym. (1998) tutkimukseen pohjautuen oletetaan, että monozygoottisilla kaksosilla on yleensä samankokoiset aivovolyymit. Niinpä lähtökohtana tähän pro gradu-tutkielmaan onkin tutkia onko diskordantteja liikunnan suhteen olevien nuorten aikuisten MZ mieskaksosten aivoissa eroavaisuuksia. Lisäksi Rottensteinerin ym. (2014 & 2015) tutkimusten kaksosaineistoa käyttäen selvitetään onko fyysisellä aktiivisuudella vaikutusta intrakraniaalisen volyymiin määrään (TIV), sekä aivojen harmaan (GM) ja valkean aineen (WM) volyymiin, kuin myös aivo-selkäydinnesteen määrään (CSF). Lisäksi tutkimme onko kaksosten välillä eroavaisuuksia kehonkoostumuksessa ja fyysisessä kunnossa.

2 TEORIATAUSTA

Tutkimuksen kirjallisuuskatsauksessa lähdetään liikkeelle fyysisen aktiivisuuden käsitteestä ja siihen liittyvistä termeistä, joita tässä tutkimuksessa käytetään. Sen jälkeen kirjallisuuskatsauksessa perehdytään aivojen fysiologiaan ja anatomiaan etenkin tutkimuksessa pääasiassa olevien intrakraniaalisen volyymin ja sen sisältämien alueiden osalta. Lopuksi toiseen tutkimuskysymykseen liittyen kartoitamme kehonkoostumukseen liittyvää teoriaa. Lisäksi fyysisen aktiivisuuden vaikutusta aivovolyymeihin, kestävyyskuntoon ja kehonkoostumukseen tarkastellaan viimeaikaisten muiden kaksostutkimusten valossa.

2.1 Fyysinen aktiivisuus

Fyysinen aktiivisuus on osa päivittäistä elämäämme ja se on elinten ja elinjärjestelmien normaalien rakenteiden ja toimintojen säilyttämiseksi välttämätön ärsyke (Vuori ym. 2005). Vuoren ym. (2005) mukaan riittävän usein ja voimakkaana toistuva fyysinen aktiivisuus saa aikaan lukuisissa elimissä mukautumisvaikutuksia ja kohtuullisesti toteutettuna siitä seuraa terveyden kannalta myönteisiä kuormitusvasteita ja mukautumismuutoksia. Päivittäinen fyysinen aktiivisuus voidaan jakaa vapaa-aikaan, urheiluun ja työhön liittyvään fyysiseen aktiivisuuteen (Mustelin ym. 2012a). Esimerkiksi Käypä hoito –suosituksen mukaan liikunta-annokseksi ohjeistetaan kohtuukuormitteista kestävyysliikuntaa, kuten reipasta kävelyä, ainakin 150 minuuttia viikossa tai raskasta liikuntaa, kuten juoksua, 75 minuuttia viikossa sekä lihasvoimaa ja -kestävyyttä ylläpitävää tai lisäävää liikuntaa vähintään kahtena päivänä viikossa ja nivelten liikkuvuutta ja tasapainoa ylläpitävää liikuntaa.

Useiden poikkileikkaustutkimusten perusteella fyysinen aktiivisuus on yhdistetty parempaan terveyteen ja sen uskotaan estävän useiden kansansairauksien kehittymisen (Reiner ym. 2013). Fyysisellä aktiivisuudella oli suotuisia yhteyksiä Reinerin ym. (2013) systemaattisessa kirjallisuuskatsauksessa mm. painonnousuun, ylipainoon, sydän- ja verisuonitautien syntyyn, tyyppin 2 diabetekseen, Alzheimerin tautiin ja dementiaan. Fyysisellä aktiivisuudella on myös suurin vaikutus ihmisen päivittäiseen energiankulutukseen ja tätä myöten kehonkoostumukseen (McArdle ym. 2007).

Myös Boothin ym. (2012) mukaan fyysinen aktiivisuus tai liikunta on ensisijainen ehkäisykeino moniin kroonisiin taudinkuviin. Liikunta ehkäisee heikkoa sydän- ja hengityselimistöön kuntoa

vaikuttaen maksimaaliseen hapenottookykyyn, ja lisäksi voidaan ehkäistä mm. ylipainoa, tyyppin 2 diabetesta, parantaa kognitiivisia toimintoja ja ehkäistä syöpää (Booth ym. 2012).

Monozygoottisten kaksosten tutkimisen etuna on geneettisesti samanlainen perimä tutkittavilla pareilla, ja myös lapsuuden ympäristö ja liikuntatottumukset aikuisuuteen asti ovat yleensä samat. Useissa tutkimuksissa geneettisellä perimällä ja lapsuuden ympäristöllä on todettu olevan yhteyksiä korkeaan fyysisen aktiivisuuden tasoon aikuisiällä (Stubbe ym. 2006; Rottensteiner 2015). Lisäksi fyysinen aktiivisuuden hyödyt yhdistetään vähentyneeseen kuolleisuuteen, vaikka tutkittavilla olisi sama geneettinen perimä (Kujala ym. 1998). Mustelinin ym. (2012a) mukaan geneettiset tekijät vaikuttavat fyysisen aktiivisuuden määrän lisäksi etenkin urheilulliseen aktiivisuuteen.

2.1.1 METh

Tässä tutkimuksessa fyysisen aktiivisuuden määrä mitataan kertyneinä MET arvoina, jossa verrataan erilaisten fyysisten suoritusten vaatimaa energiankulutusta. Esimerkiksi Vuoren ym. (2005) määritelmän mukaan MET-luvuilla ilmastaan liikunnan kuormittavuus liikunnan aikaisen energiankulutuksen ja perusaineenvaihdunnan energiankulutuksen suhteena.

Kuormittavuuden (MET) ja ajan tulo (METh) kuvaa fyysistä aktiivisuutta, josta perusaineenvaihdunnan avulla ($\text{METh} * \text{PAV}$ tuntia kohti) saadaan arvio energiankulutuksesta (Vuori ym. 2005). 1 MET-yksikkö vastaa noin 3,5 ml/kg/min ja esimerkiksi 3 METs vastaa kolminkertaisen määrän energiankulutusta lepotilanteeseen verrattuna (McArdle ym. 2007). MET-yksikköä käytetään useissa tutkimuksissa kuvaamaan tutkittavien itsearvioitua vapaa-ajan fyysistä aktiivisuutta (mm. Stubbe ym. 2006).

2.1.2 Hengitys- ja verenkiertoelimistö

Hengitys on hapen kuluttamista ja hiilidioksidin luovuttamista (Nienstedt ym. 2004). Hengityselimiin kuuluvat hengitystiet, joiden kautta ilma kulkee ja keuhkot, joissa kaasut vaihtuvat ilman ja veren välillä (Nienstedt ym. 2004). Bjålien ym. (2009) määritelmän mukaan ilman kuljetusta keuhkoihin kutsutaan sisäänhengitykseksi (inspiraatio, inhalaatio) ja sen kuljetusta ulos keuhkoista uloshengitykseksi (ekspiraatio, ekshalaatio). Sisäänhengitys käynnistyy, kun motoneuroneissa muodostuva aktiopotentiaalisarja aktivoi itse aktivaatiota

ohjaavassa ydinjatkeessa (medulla oblongata) sijaitsevan hermosolurykelmän (Bjälje ym. 2009).

Fyysinen aktiivisuus vaatii keuhkotuuletusta (ventilaatiota), jolla tarkoitetaan ilman edestakaista kuljetusta ilmakehän ja keuhkorakkuloiden välillä hengityselimien vaikutuksesta (Bjälje ym. 2009, Hiltunen ym. 2007). Fyysisen rasituksen aikana keuhkojen tuuletus lisääntyy suhteessa aineenvaihdunnan kiivauteen riittävän kaasujenvaihdon saavuttamiseksi, ja tämän ihminen tuntee hengästymisenä (Vuori ym. 2005).

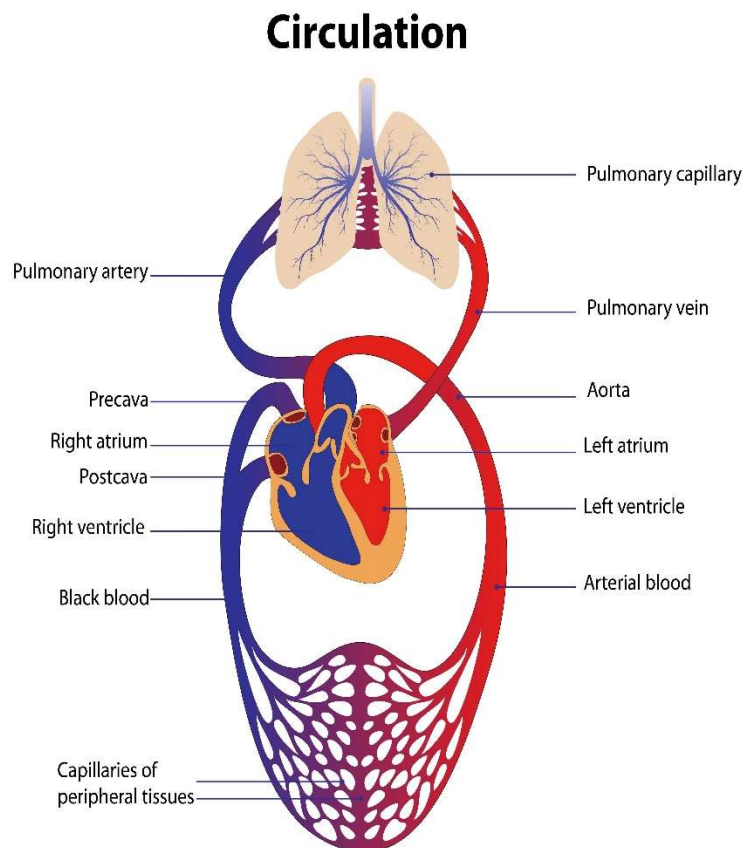
Fysiologialtaan keuhkot myötäilevät aina rintakehän liikkeitä sisäänhengityselimien laajentaessa rintaonteloa niin, että keuhkorakkuloihin (alveolit) muodostuu alipaine ja ilma virtaa hengitysteiden läpi keuhkorakkuloihin (Bjälje ym. 2009, 300). Keuhkotuuletuksen ansiosta keuhkohiussuonien veren happi- ja hiilidioksidi osapaine pysyy yllä ja keuhkojen läpi virtaava veri hapettuu jatkuvasti samalla kun siitä poistuu hiilidioksidia (Bjälje ym. 2009). Hengityskaasujen vaihto tapahtuu keuhkorakkuloiden ilman ja niitä ympäröivien hiussuonien sisällä virtaavan veren välillä diffuusion avulla (Bjälje ym. 2009, McArdle ym. 2007).

Keuhkoissa vereen tullut happi siirtyy verenkierron kuljetettavaksi. Verenkierto toimii elimistön kuljetusjärjestelmänä, huolehtii ravinnonsaannista hapen lisäksi myös muiden ravintoaineiden osalta. Lisäksi se huolehtii kuona-aineiden poiskuljetuksesta, sekä kuljettaa kemiallisia viestejä, lämpöenergiaa ja vetyioneja (Hiltunen ym. 2007). Hiusverisuonet kuljettavat happea veren mukana liuenneena tai kiinnittyneenä hemoglobiiniin punasoluissa (McArdle ym. 2007).

Veren pumppaamisesta huolehtii ihmisen kaksoispumppuna toimiva sydän (KUVA 1), jonka oikea puolisko pumppaa verta pieneen verenkiertoon (keuhkoverenkiertoon) ja vasen puolisko koko elimistöön eli isoon verenkiertoon (systemiseen verenkiertoon) (Hiltunen ym. 2007, Bjälje ym. 2009). Bjäljen ym. (2009) mukaan verisuonet jakautuvat kolmeen päätyyppiin, joita ovat valtimot, laskimot ja hiussuonet, jotka on yllämainittu jo keuhkojen ventilaatioon liittyen.

Keuhkoissa veri hapettuu ja palaa keuhkolaskimoa pitkin sydämen vasempaan eteiseen ja sieltä aorttaa pitkin muualle elimistöön ja lihasten ja elinten käytettäväksi (Bjälje ym. 2009). Hiltusen ym. (2007) mukaan sydämen suorituskyvyn rajan määrää se, kuinka nopeasti sydän saavuttaa

maksimisykkeensä, jota taajemmin se ei pysty supistumaan. Harjoitellut henkilö saavuttaa tuon maksimin hitaammin kuin harjoittelematon johtuen paremmasta sydämen iskutilavuudesta, eli sydämen kerralla pumppaaman veren määrästä (Hiltunen ym 2007).



KUVA 1. Ihmisen iso ja pieni verenkierto, jossa punainen väri kuvaa hapekasta verta ja sininen väri hiilidioksidipitoista verta.

2.1.3 Kestävyyskunto

Kestävyys fyysisenä perusominaisuutena voidaan määritellä elimistön kykynä vastustaa väsymystä fyysisen kuormituksen aikana (Keskinen ym. 2007). Kestävyysvaikutteet Keskinen ym. mukaan erityisesti hengitys- ja verenkiertoelimistön kunto, lihasten aineenvaihdunta ja hermoston toiminta. Kestävyysharjoittelun on todettu parantavan hengitys- ja verenkiertoelimistön kuntoa ja lihasten aerobista vaihduntaa, jolloin parantunut aerobinen kestävyys ja fyysinen aktiivisuus on useissa tutkimuksissa yhdistetty pienentyneeseen riskiin

sairastua sydämen ja verenkiertoelinten sairauksiin ja saattaa ennaltaehkäistä kuolemaa (Keskinen ym. 2007, Bouchard ym. 2007).

Yleisin tapa määrittää kestävyysominaisuuksia on Keskinen ym. (2007) mukaan maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_2 max) mittaaminen suoralla tai arvioiminen epäsuoralla menetelmällä. Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttaa lihasten kyky käyttää happea energiantuottoon ja hengitys- ja verenkiertoelimistön ja lihassolujen kyky kuljettaa happea lihassoluihin (Keskinen ym. 2007). Lisäksi VO_2 max voidaan laskea mittaamalla sydämen minuuttivolyymi sekä valtimon ja laskimon välinen happiero. Keskinen ym. (2007) mukaan maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat ikä, sukupuoli, työtä tekevien lihasten määrä, testin kuormitusmalli, testiin kuormituksen kesto, harjoittelu, sekä yleensä kehonpaino (hapenotto litroina suhteutettuna kehonpainoon= ml*kg*min.)

Kodaman ym. (2009) mukaan fyysinen kunto on yleensä nimetty myös hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnoksi (Cardiorespiratory fitness, CRF), jota mitataan kestävyyskuntotestillä. Testauksen hetkellä mitattu hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnolla on vaikea ennustaa kuitenkin tulevaa riskiä sairastua sepelvaltimotautiin (Kodama ym. 2009). Useissa tutkimuksissa on pystytty kuitenkin osoittamaan aerobisen harjoittelun ja fyysisen aktiivisuuden vaikuttavan sydän- ja verenkiertoelimistöön terveyttä edistävästi. Mendesin ym. (2013) tutkimuksessa aerobinen harjoittelu yhdessä voimaharjoittelun kanssa antoi parhaan vasteen ehkäistessä sydän- ja verisuonitauteja. Mutikaisen ym. (2009) vanhemmilla kaksosilla tehty tutkimus osoitti fyysisesti aktiivisemmän kaksosen kestävyyskunnan VO_2 huipun olevan korkeampi, minkä lisäksi sydämen submaksimaalinen lyöntitaajuus on matalampi verrattuna inaktiiviseen kaksoseen huolimatta samasta geneettisestä perimästä.

2.2 Aivojen fysiologia ja anatomia

Aivot sijaitsevat elimistön huipulla ohjaten ja koordinoiten kaikkea toimintaa koko elimistössä. Lisäksi se sisältää kaksitoista aivohermoparia, jotka kytkeytyvät suoraan aivoihin, kulkematta selkäytimen kautta (Carter ym. 2009). Vastasyntyneen aivot painavat keskimäärin 335 g muodostaen noin 10 % ruumiin painosta. Aivot kehittyvät täyteen mittaansa noin 20-vuotiaana, jolloin aikuisen ihmisen aivot painavat noin 1,5 kg, eli n. 2 % ruumiin koko painosta (Kauranen & Nurkka 2010). Carterin ym. (2009) mukaan aivomassa alkaa kuitenkin kutistua noin gramman verran vuodessa tuon 20 ikävuoden jälkeen, joka johtuu neuronien kuolemasta ja

uusiutumisen vähenemisestä. Noin 60-ikävuoden jälkeen aivojen painon lasku on jopa 30-40g 10 vuodessa (Kauranen & Nurkka 2010).

Nienstedtin ym. (2004) määritelmän mukaan aivot ovat hermosolujen ja hermotukisolujen muodostama hyytelömäinen elin, joka jakautuu vasempaan ja oikeaan puoliskoon eli hemisfääriin. Isoaivot (KUVA 2) ovat suhteellisesti suurin osa aivoista, ja sen alle jäävät aivorunko (väliaivot, keskiaivot, aivosilta ja ydinjatke) ja pikkuaivot (Nienstedt ym. 2004). Bjäljen ym. (2009) mukaan isoajvojen suuren pinta-alan mahdollistaa aivokuoren voimakas poimuttuminen muodostaen aivopoimuja (gyrus) ja aivouurteita (sulcus).



KUVA 2. Aivojen rakenne.

Aivorunkoon kuuluvat Bjäljen ym. (2009) mukaan ydinjatke (medulla oblongata), aivosilta (pons) ja keskiaivot (mesencephalon), jonka tehtävänä on yhdistää selkäytimen aivoihin ja aivosilta liittää lisäksi pikkuaivot etu- ja keskiaivoihin. Aivorungossa on runsaasti tumakkeita, jotka ohjaavat heijasteiden välityksellä monia elintärkeitä toimintoja. Ydinjatkeen tumakkeet mm. säätelevät sydämen minuuttitilavuutta, verenpainetta ja veren jakautumista eri ruumiinosiin. Lisäksi ydinjatkeen ja aivosillan tumakkeet ohjaavat reflektorisesti myös hengitysliikkeitä ja monia ruoansulatustoimintoja (Bjälje ym. 2009). Aivorungon suurimman tumakkeen, mustatumakkeen, toimintahäiriöt vaikuttavat lihastonukseen ja vapinaan, joita havaitaan esimerkiksi Parkinsonin taudissa mustatumakkeen dopamiineuronien rappeutumisen johdosta (Kauranen & Nurkka 2010).

Pikkuaivoissa on harmaata ainetta sekä kuorikerroksessa että tumakkeissa ja sen yksi tehtävä on pitää aiottujen ja toteutuneiden liikkeiden välinen ero mahdollisimman pienenä (Haug ym. 1999, 123). Korvan tasapainoelimestä, lihaskääreistä sekä jänteiden ja nivelten aistinsoluista tulee myös koko ajan viestejä pikkuaivojen tumakkeisiin ja kuorikerrokseen (Bjälje ym. 2009).

Väliaivot ympäröivät kolmatta aivokammiota, jossa kummallakin puolella väliaivojen yläosassa on harmaan aineen muodostama talamus. Kaikki sensoriset hermoradat, hajuaistimuksia lukuun ottamatta, kulkevat aivokuoreen talamuksen tumakkeiden kautta (Bjälje ym. 2009). Väliaivojen alaosan muodostaa puolestaan hypotalamus, jonka alapuolella on kiinnittyneenä aivolisäke eli hypofyyysi (Nienstedt ym. 2004). Hypotalamus yhdistää kaksi ruumiin ohjaus- ja säätelyjärjestelmää, eli hermoston ja umpieritysjärjestelmän aivolisäkkeen kautta (Carter ym. 2009). Lisäksi hypotalamus toimii myös autonomisen hermoston säätelykeskuksena toimien mm. ruumiinlämmön säätelyssä, sekä myös janon, nälän ja sukupuoliviettiin liittyvien ja hyvän olon tunteiden säätelyssä (Bjälje ym. 2009).

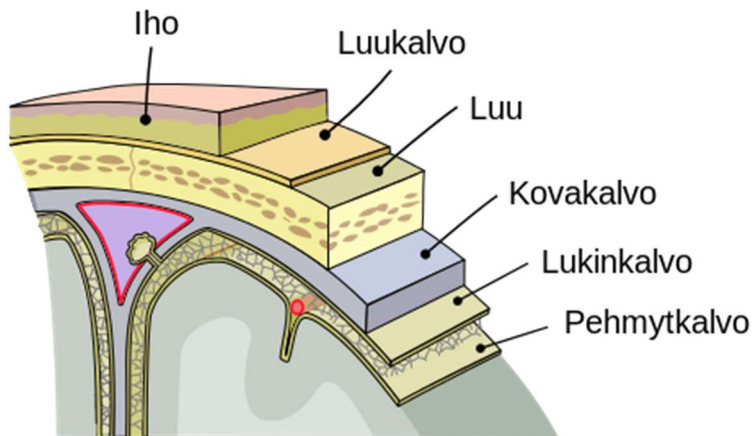
2.2.1 Aivokuori

Suurin osa isoaivojen hermosolujen somista sijaitsee 2-3 mm:n paksuisessa harmaan aineen muodostamassa aivojen pintakerroksessa, jota kutsutaan aivokuoreksi (cortex cerebri) (Bjälje ym. 2009). Kuoren alla on pääasiassa valkeaa ainetta, mutta harmaata ainetta löytyy myös kuorikerroksen alapuolella olevissa harmaan aineen muodostamissa useissa tyvitumakkeissa, eli basaaliganglioissa (Bjälje ym. 2009, Nienstedt ym. 2004). Aivokuori on välttämätön useimmille suurta tarkkuutta vaativille hermotoiminnoille, sekä tarkkojen tahdonalaisten liikkeiden aikaansaamiselle (Nienstedt ym. 2004). Aivokuoren alla olevassa valkeassa aineessa on myelinisoituneita ja myelinisoitumattomia aksoneita, joiden tehtävänä on yhdistää aivokuoren osia, sekä isoaivojen muita harmaan aineen tumakkeita (basaaliganglioita) toisiinsa (Nienstedt ym. 2004).

Isot aivot ovat aivoissa suurin pinta-alaltaan ja sen pinnalla on harmaan aineen muodostama isoaiivokuori (cortex cerebri), joka sisältää noin 15 miljardia neuronina pystysuoriksi pylväiksi järjestäytyneenä (Kauranen & Nurkka 2010). Nämä neuronit voidaan jakaa Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan kahteen päätyyppiin koon mukaan, jossa suuremmat ovat pyramidisoluja ja pienemmät hermoviestejä siirteleviä ja välittäviä jyväis- eli granulaarisoluja.

Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan isoaiivokuoren perusrakenne käsittää kuusi päällekkäistä hermosolukerrosta, joissa uloimpana on runsaasti hermosyitä sisältävä molekulaarikerros, jonka alla on ulompi jyväissolukerros. Kolmanneksi ulointa kerrosta kutsutaan ulommaksi pyramidisolukerrokseksi, jonka alla on sisempi jyväissolukerros, sisempi pyramidisolukerros, sekä alimpana sisin polymorfinen kerros sisältäen sekä jyväis- että pyramidisoluja (Kauranen & Nurkka 2010).

Aivoja suojaa keskushermostoa peittävät kolme sidekudoskalvoa (KUVA 3), joista uloimpana on paksu kovakalvo (Bjälje ym. 2009). Sen alla on lukinkalvo ja sisimpänä vielä pehmeäkalvo, joka noudattaa tiiviisti aivojen ja selkäytimen pintaa. Bjäljen ym. (2009) mukaan näiden kahden kalvon väliin jää subaraknoidaalitila (lukinkalvonontelo), jossa on lukinkalvosta lähtevä ohuiden sidekudossyiden muodostama verkosto. Subaraknoidaalitilan täyttää aivo-selkäydinneste eli likvori (Cerebrospinal fluid, CSF), joka toimii iskunvaimentimena ja tukee hermokudosta (Kauranen & Nurkka 2010).

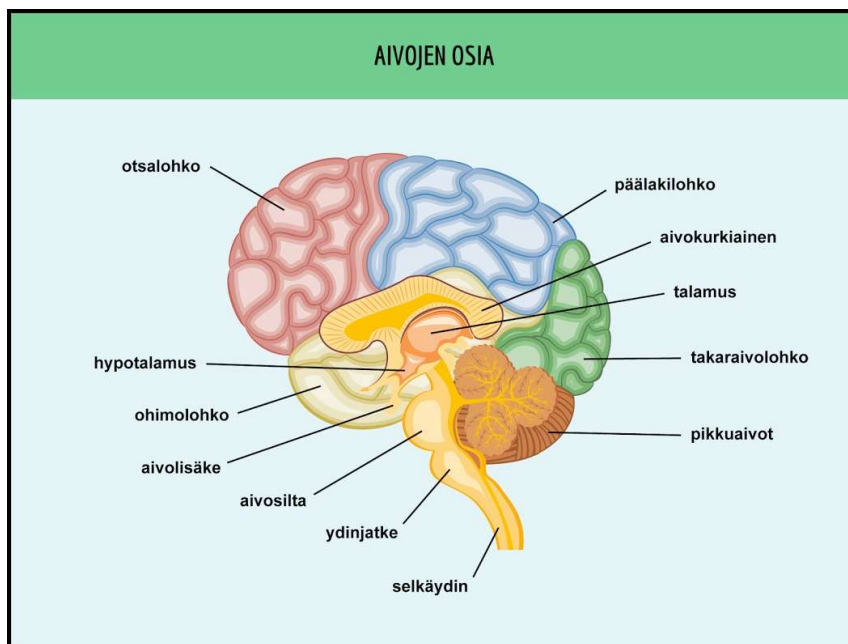


KUVA 3. Aivo- ja selkäydinkalvot.

Aivot ja selkäydin muodostavat yhdessä keskushermoston, joka on yhteydessä ääreishermostoon selkäytimestä ja aivorungosta lähtevien hermojen myötä (Bjälje ym. 2009). Kaurasen ja Nurkan (2010) mukaan keskushermoston perusyksikkönä toimii hermosolu eli neuroni. Neuronit muodostavat tukikudoksen gliasolujen kanssa hermokudoksen, joka puolestaan järjestäytyy tiedon käsittelyyn ja siirtoon erikoistuneiksi komponenteiksi, eli hermostoksi (Kauranen & Nurkka 2010).

Aistinsoluista keskushermostoon saapuva sensorinen tieto voi kulkea selkäytimen ja aivorungon alueiden refleksikeskuksiin tai isoaiukuoren assosiaatioaluille, jolloin se tulee tietoiseksi. Lisäksi aivot vastaavat ihmismielen korkeammista toiminnoista ajatuksista tunteisiin ja puhumisesta muistitoimintoihin (Bjälje ym. 2009, Nienstedt ym. 2004). Bjäljettä ym. (2009) mukaan tahdonalaiset käskyt lähtevät isoaiukuoren motorisilta alueilta elimistön luustolihaan hermoratoja pitkin selkäytimen motoneuronien soomiin ja jatkavat niiden hermosyitä pitkin ääreishermostoon.

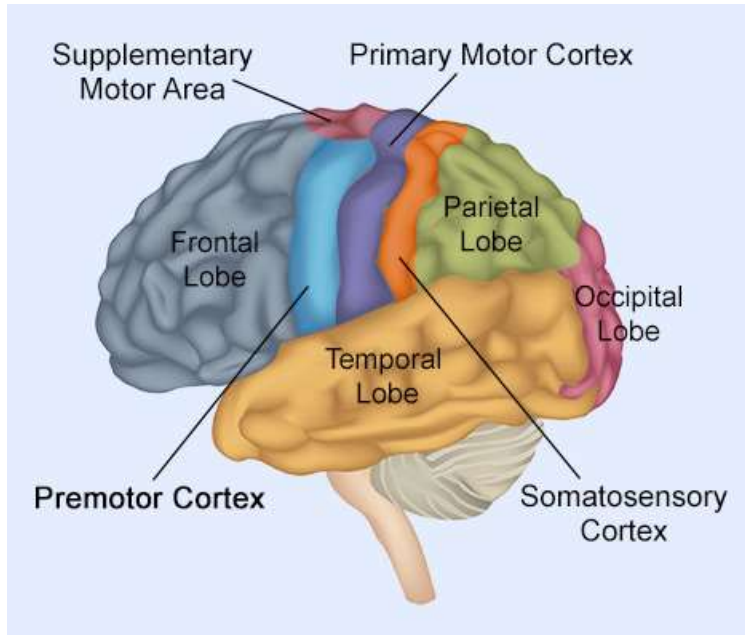
Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan useiden toimintojen säätely on keskittynyt toiseen hemisfääriin, jolloin n. 95 % ihmisistä on oikeakätisiä ja tällöin puheentuottaminen, kirjoittamista ja lukemista säätelevät aivoalueet ovat dominoivalla eli vasemmalla aivopuoliskolla. Oikea aivopuolisko vastaa puolestaan ympäristön tulkinnasta ja taideaineista (Kauranen & Nurkka 2010). Aivopuoliskot yhdistetään toisiinsa noin kahden miljoonan aksonin muodostaman aivokurkaiisen (corpus callosum) (KUVA 4) välityksellä (Kauranen & Nurkka 2010).



KUVA 4. Aivojen osat. Isoaiivot jaetaan neljään lohkoon, joihin lukeutuu otsalohko, päälakilohko, ohimolohko ja takaraivolohko (Nienstedt ym. 2004).

Isoaivokuori yhdistetään siis korkeampiin aivotoimintoihin. Aivokuoren eri alueet ovat erikoistuneet toiminnallisesti eri tehtäviin ja se jaetaan n. 50 eri alueeseen neuroanatomian Koribian Brodmannin tekemän jaottelun perusteella (Kauranen & Nurkka 2010). Motoriikan kannalta Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan keskeisimpiä alueita ovat (KUVA 5) keskiuurteen etupuolella sijaitsevat motorinen aivokuori, premotorinen aivokuori, suplementaarinen motorinen kuorikenttä ja suunseudun hermotukseen erikoistunut Brocan alue. Sensoriikan kannalta keskeisimmät alueet ovat primaarinen ja sekundaarinen somatosensorinen aivokuori (Kauranen & Nurkka 2010).

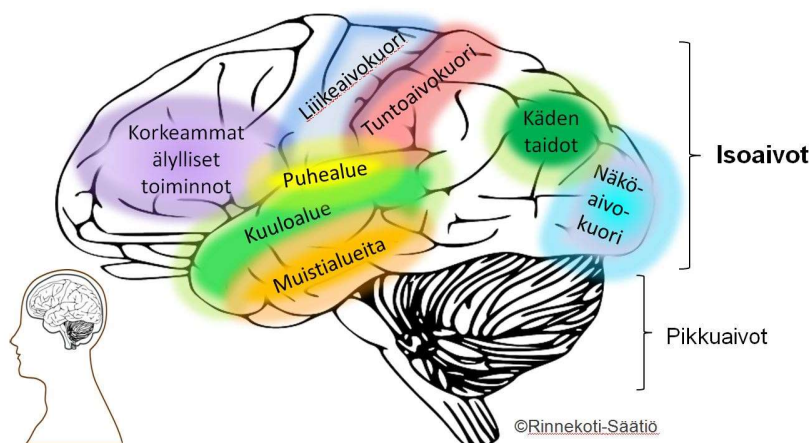
Keskiuurteen etupuolella sijaitsevalle primaariselle motoriselle aivokuorelle paikallistuvat yksittäisten lihasten liikkeiden tahdonalaisesta hermotuksesta vastaavat hermosolut ja nämä neuronit päättävät pitkälti mikä lihas supistuu, milloin lihas supistuu sekä kuinka nopeasti ja voimakkaasti lihas supistuu (Kauranen & Nurkka 2010). Lisäksi primaariselta motoriselta aivokuorelta tulee liikkeisiin hienomotorista tarkkuutta, kun kuorikentän alueesta n. 75 % on varattu käden ja kasvojen lihasten hermotukselle ja vain 25 % vartalolle (Kauranen & Nurkka 2010).



KUVA 5. Aivolohkot ja aivokuoren alueet (Kauranen & Nurkka 2010). Supplementary Motor Area, suplementaarinen motorinen aivokuori, Primary Motor Cortex, primaarinen motorinen aivokuori, Premotor Cortex, premotorinen aivokuori, Somatosensory Cortex, somatosensorinen aivokuori.

Motorisen aivokuoren etupuolella on puolestaan premotorinen aivokuori, joka vastaa Kaurasen ja Nurkan (2010) mukaan monimutkaisemmista usean nivelen liikkeen toteuttamista liikesarjoista, sekä stabiloii ja vakauttaa vartalon ja raajojen osat ennen liikkeen aloittamista. Premotoriselta aivokuorelta on myös runsaasti aivokuoren sisäisiä hermoyhteyksiä primaariselle motoriselle aivokuorelle ja nämä toimivatkin kiinteässä yhteistyössä toistensa kanssa (Kauranen & Nurkka 2010).

Kolmas motoriikan säätelyä hoitava alue on Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan premotorisen aivokuoren yläosan etupuolinen suplementaarinen motorinen aivokuori, joka vastaa ensisijaisesti lihasjänteveyden säätelystä, sekä silmälihasten motoriikasta ja koordinoinnista pään liikkeen aikana (KUVA 6). Suplementaarisen motorisen aivokuoren vaurio voi aiheuttaa lihasjänteveyden kasvua ja jäykkyyttä eli spastisuutta (Kauranen & Nurkka 2010).



KUVA 6. Karkeasti neurologisten tehtävien mukaan kuvattu isoaiivokuori (Carter ym. 2010).

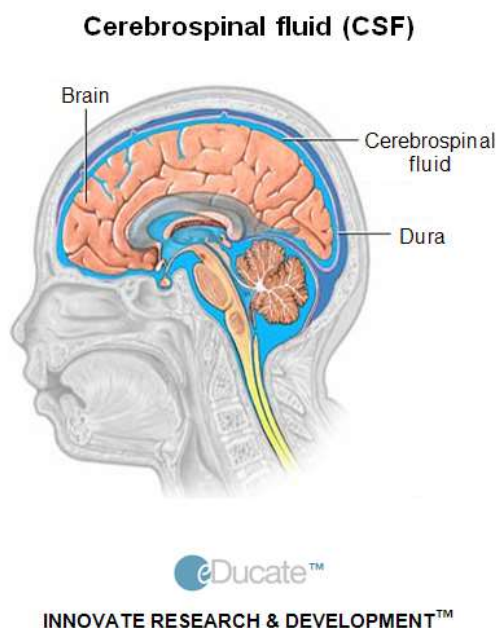
2.2.2 Aivo-selkäydinneste eli likvori (Cerebrospinal fluid, CSF)

Keskushermoston ympärillä on siis kolme sisäkkäistä aivo- ja selkäydinkalvoa, joiden välissä ja alla on aivo-selkäydinnestettä (Cerebrospinal fluid, CSF). Sitä muodostuu isoaiivojen sisällä olevissa aivokammioissa (Nienstedt ym. 2004). Aivo-selkäydinnestettä on varastoituneena aivokammioissa ja subaraknoidaalitilassa noin 150 ml, joka toimii tehokkaana iskunvaimentajana. Aivot tuottavat itse aivo-selkäydinnestettä noin 500 ml vuorokaudessa, joten neste vaihtuu noin kolme kertaa vuorokaudessa (Kauranen & Nurkka 2010).

Aivoissa on sisäinen kammiojärjestelmä (aivokammiot), jotka sisältävät niiden sisäpinnalla sijaitsevilla suonipunoksissa (plexus choroidea) valmistettua aivo-selkäydinnestettä (Carter ym. 2009). Sen muodostus perustuu sekä plasman suodattumiseen, kuin myös joidenkin plasmassa olevien aineiden aktiiviseen kuljetukseen. Aivo-selkäydinnesteessä ei ole normaalisti soluja eikä valkuaisaineita ja siinä on vähemmän glukoosia kuin veressä (Bjälje ym. 2009).

Aivo-selkäydinneste valuu muodostuttuaan isoavopuoliskoissa sijaitsevista sivukammioista kolmanteen aivokammioon, josta se jatkaa aivonesteviemäriä pitkin neljänteen aivokammioon ja edelleen pienten aukkojen kautta subaraknoidaalitilaan (lukinkalvononteloon), missä se lopulta kiertää (KUVA 7) aivojen ja selkäytimen ympärillä (Carter ym. 2009). Täältä se poistuu laskimovereen kovakalvon viemäreihin työntyvien lukinkalvojuvosten eli araknoidaalivillusten kautta (Bjälje ym. 2009).

Bjäljen ym. (2009) mukaan aivojen ja selkäytimen, sekä aivo-selkäydinnesteen välillä tapahtuu vapaata aineiden vaihtoa molempiin suuntiin. Aivo-selkäydinneste toimii siis iskunvaimentajana ja aivokudoksen tukena, ja huolehtii lisäksi keskushermoston solujen ravitsemuksesta (Bjälje ym. 2009). Sen lisäksi aivo-selkäydinneste toimii laajenemispuskurina, kun sen määrää säädellään jäykän kallon sisällä esimerkiksi kompensoimaan aivojen tarvitsemää tilavuuden lisääntymistä (Bjälje ym. 2009).



KUVA 7. Aivo-selkäydinneste, Cerebrospinal fluid.

2.2.3 Aivojen kehitysbiologia

Aivot ja selkäydin muodostavat siis yhdessä keskushermoston (Bjälle ym. 2009), joka jaetaan seitsemään eri anatomiseen pääalueeseen, joihin lukeutuvat isoaiivot, keskiaivot, väliaivot, pikkuaivot, aivosilta, ydinjatke ja selkäydin. Näillä kullakin alueella on oma erityinen rakenteensa, joka muodostuu sikiönkehityksen aikana (Sariola ym. 2003). Isoaiivot ovat suurin aivoalue, johon sisältyy myös poimuttuneen aivokuoren harmaa aine ja sen alla oleva lähinnä viejähaarakkeista muodostunut valkea aine (Sariola ym. 2003).

Niemen & Väänänen (1993) mukaan keskushermoston kantasolujen erilaistumisen tapahtuu hermostoputkea verhoavassa epiteelissä ja se ajoittuu sikiön kehityksen kolmannen-viidennen kuukauden ajalle. Tänä aikana miljardit hermosolut vaeltavat syntysijoiltaan pikkuaivojen ja isoaivojen kuorikerrokseen (Niemi & Väänänen 1993). Isoaivojen kuoren kehitys synnyttää aksoneista koostuvan johtoratakimpun ja isoaivopuoliskot laajenevat muodostaen aivolohkot. Aivoissa hermosolut ts. harmaa aine jää päällimmäiseksi ja hermosyyt, ts. valkea aine on syvimpänä (Niemi & Väänänen 1993).

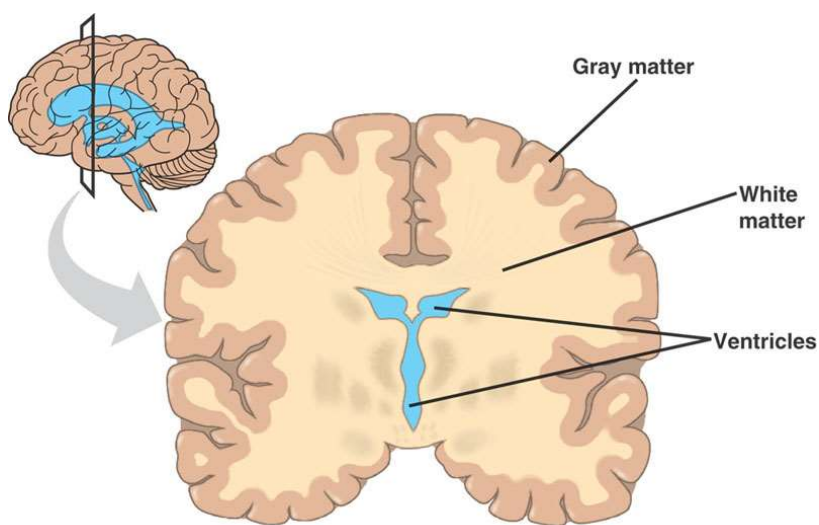
Aivo-selkäydistä sisältävä kammiojärjestelmä syntyy sikiön kehityksen alkuvaiheessa, kun hermostoputken sulkeutumisen seurauksena muodostuneista viidestä rakkulasta kehittyy tämä kammiojärjestelmä (Sariola ym. 2003). Alkiokautisen hermostoputken neste täyttämä ontelo on jäljellä myös syntyvän lapsen keskushermostossa, jolloin muodostuneena on neljä aivokammiota (Haug ym. 1999).

Aivokuoren kehitys poikkeaa muun hermostoputken kehityksestä. Sariolan ym. (2003) mukaan aivokuoren neuronit kulkeutuvat radiaalisesti omille paikoilleen aivokuoren eri kerroksiin, josta seuraa aivokuoren paksuuntuminen ja radiaalisolujen ohjaama esisolujen kulkeutuminen kauemmas ventrikulaarialueelta. Eri aikoina syntyneet hermosolut järjestäytyvät kuudeksi kerrokseksi sisältä ulospäin-mekanismilla, jolloin ensiksi syntyneet hermosolut jäävät aivokuoren alimmille kerroksille ja myöhemmin syntyneet kulkeutuvat uloimmille kerroksille (Sariola ym. 2003). Ihmisen aivokuoren kasvaminen ja poimuttuminen, sekä tuojahaarakkaiden suuri lisäys vielä syntymän jälkeen mahdollistaa ihmisen älyllisen toiminnan (Sariola ym. 2003).

2.3 Aivovolyymit (TIV, GM, WM, CSF)

Harmaa aine (gray matter, GM) sisältää paljon hermosolujen osia, dendriittejä ja myeliinisoitumattomia hermosolujen viejähaarakkeita eli aksoneita (Gazzaniga ym. 2002). Lisäksi harmaa aine muodostuu alueista, jotka kontrolloivat lihaksia, aistihavaintoja kuten näköä ja kuuloa, sekä muistia, puhetta, päätöksentekoa ja itsehillintää (Carter ym. 2009). Harmaa aine on siis vahvasti mukana aivo- ja kognitiivisessa toiminnassa. Valkoinen aine saa värinsä puolestaan myeliinisoituneista aksoneista eli hermosolujen viejähaarakkeista, joita kyseinen aine sisältää (Gazzaniga ym. 2002).

Isoaivokuori vastaa siis älyllisistä toiminnoistamme, ja siellä syntyvät tietoiset elämykset ja aistimukset sekä tapahtuu liikkeiden tahdonalainen säätely (Bjälle ym. 2009). Malonen ym. (2015) mukaan kallon sisällä oleva intrakraniaalinen volyyymi (TIV, total intracranial volume) sisältää kaikki kallon sisällä olevat volyymit, eli harmaan ja valkean aineen lisäksi aivo-selkäydinnesteen ja lisäksi se sisältää myös verta (KUVA 8). Samalla TIV toimii tärkeänä kovarianttina aivojen ja aivoalueiden määrää tutkivissa analyyseissa etenkin hermostorappeumasairauksia tutkittaessa (Malone ym. 2015). Alzheimerin tautia samassa patologian vaiheessa (aivojen atrofia) olevien potilaiden kognitiiviset toiminnot pysyivät parempana, kun päänympärysmitta oli suurempi Pernecky ym. (2010). Näin ollen suurempi päänympärysmitta, eli samalla aivojen koko (TIV), suojaa paremmin Alzheimerin taudin oireilta.



KUVA 8. Harmaa (GM) ja valkea aine (WM) isoaivoissa.

2.3.1 Aivovolyymit ja fyysinen aktiivisuus

Aivot muokkaantuvat ja saattavat ehkä luoda neuroneja (Spalding ym. 2013). Geeneillä on yleensä suurin vaikutus aivojen muokkautumiseen, joten nuorilla aikuisilla monozygoottisilla kaksosilla aivovolyymit ovat yleensä samanlaiset (Tramo ym. 1998). Vahvaa näyttöä liikunnan vaikutuksesta aivojen reorganisaatioon on kuitenkin aina varhaislapsuudesta vanhuksiin (Colcombe ym. 2006, Chaddock ym. 2010). Aivojen rakenteilla on korkea perinnöllisyys aina vanhuuteen saakka, mutta sen sijaan ympäristön vaikutus korostuu iän myötä ja geneettisten tekijöiden vaikutus vähenee ajan myötä (Lee ym. 2014).

Useissa tutkimuksissa korkea fyysisen aktiivisuuden määrä yhdistetään vähentyneeseen riskiin sairastua kroonisiin tauteihin, parantuneeseen kehonkoostumukseen ja voi näin ollen myös johtaa parantuneeseen elämänlaatuun (Waller ym. 2010, Rottensteiner ym. 2014). Keski-ikäisen fyysisen aktiivisuuden tiedetään myös vähentävän riskiä sairastua dementiaan ja Alzheimerin sairauteen, vaikkakin systemaattisesti kontrolloituja tutkimuksia onkin vielä vähän (Rovio ym. 2005).

Fyysinen aktiivisuus on ainakin Aloscon ym. (2013) tutkimuksessa yhdistetty harmaan, sekä valkean aineen volyymin määrään aivoissa, jolla puolestaan on yhteyttä parempiin kognitiivisiin toimintoihin ja muistiin (Ruscheweyh ym. 2011, Boots ym. 2014). Harmaan aineen volyymin ja semanttisen-, sekä lähimuistin välillä vanhemmilla ihmisillä on myös Takin ym. (2011) tutkimuksessa löydetty vahva yhteys. TIV eli intrakraniaalinen kokonaisvolyymi on puolestaan yhdistetty mm. hermostorappeumasairauksiin, kuten dementiaan, Parkinsonin tautiin ja Alzheimerin tautiin (Malone ym. 2015). Kaiken tyyppinen fyysinen aktiivisuus on suositeltavaa ja kohtuukuormitteisella monipuolisella liikunnalla saadaan parhaat tutkimustulokset tutkittaessa fyysisen aktiivisuuden vaikutusta kognitiivisiin toimintoihin etenkin vanhemmalla väestöllä (Denkinger ym. 2012).

Vanhemmilla kaksospareilla tehdyn Ericksonin ym. (2009) tutkimuksen mukaan hyvä fyysinen kunto vanhemmalla aikuisiällä pitää yllä tiettyjen aivovolyymien kokoa etenkin hippokampuksessa, verrattuna vähemmän liikkuviin saman ikäisiin verrokkeihin väestössä. Myös Rovion ym. (2010) iäkkäämmillä henkilöillä tehty seurantatutkimus osoitti keski-ikäisen fyysisen aktiivisuuden (vähintään 2 krt/ viikko) viittaavaan harmaan aineen lisääntyneeseen volyymiin, sekä suurentuneeseen kokonaisaivovolyymiin verratessa inaktiivisiin henkilöihin.

Nuoria aikuisia kaksospareja tutkittaessa Rottensteiner ym. (2015) mukaan diskortantteja fyysisen aktiivisuuden suhteen olevat kaksoset erosivat merkittävästi toisistaan kehon rasvaprosentin määrässä, ja aktiivisemmalla kaksosella oli lisäksi parempi glukoositasapaino, sekä suurempi isoaivojen etuotsalohkoon liittyvän harmaan aineen määrä ei-dominoivalla aivopuoliskolla. Löydösten uskotaan vähentävän riskiä sairastua tyypin 2 diabetekseen ja liikkuvuuden rajoituksiin (Rottensteiner ym. 2015).

Fyysisen aktiivisuuden yhteyksiä erityisesti hippokampuksen alueen volyymeihin on tutkittu vähemmän ikävuosien 20-50v välillä. Killgoren ym. (2013) tutkimuksen mukaan aerobinen liikunta on yhteydessä suurempiin aivovolyymeihin ja parempiin kognitiivisiin toimintoihin kehittyvillä lapsilla, kuin myös iäkkäämmillä ihmisillä. Fyysisen kunnon yhteys hippokampuksen alueen aivovolyymeihin löytyi iäkkäämmillä henkilöillä myös Ericksonin ym. (2009) tutkimuksessa. Enemmän liikkuvilla aikuisilla on Chaddockin ym. (2010) tutkimuksessa saatu yhteyksiä suurentuneeseen harmaan aineen volyymiin hippokampuksessa, ja parempiin kognitiivisiin toimintoihin verrattuna vähemmän liikkuviin verrokkeihin.

2.4. Antropometria

Antropometrialla tarkoitetaan ensisijaisesti pituuteen, kehon massaan, kehon mittasuhteisiin ja koostumukseen perustuvia mittauksia, joilla pyritään kuvaamaan ihmisen terveydentilaa (Keskinen ym. 2007). Yksi yksinkertaisimmista mittauskeinosta määrittää henkilön kehon ominaisuuksia on pituus-paino –käyrä, mitaten pelkästään pituus ja paino, sekä asettamalla ne taulukkoon (McArdle 2007). Tutkimuksissa käytetään useimmiten kehon painoindeksiä osoittamaan lihavuutta ja laihuutta (Keskinen ym. 2007). McArdlen ym. (2007) mukaan painoindeksi on lineaarisesti yhteydessä kuolleisuuteen niin, että BMI kasvaa mitä ylipainoisempi henkilö on ja samalla kasvaa riski sydän- ja verisuonitauteihin, syöpiin, diabetekseen, Alzheimerin tautiin, sappikiviin, uniongelmiin ym.

BMI lasketaan kaavasta kehonpaino (kg) jaettuna pituuden (m) neliönä (McArdle ym. 2007). Painoindeksialueet Fogelholmin mukaan (Keskinen ym. 2007) määrittävät normaalipainon 18,5-24,9 välille, jolloin alipaino on alle 18,5 ja lievä lihavuus yli 25. Merkittävä lihavuus henkilöllä on, jos painoindeksi ylittää luvun 30 ja vaikea lihavuus, sekä sairaallosainen lihavuus saavat lukemat 35-39,9 ja yli 40 (Keskinen ym. 2007).

Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan BMI ei kuitenkaan erottele rasva- ja lihaskudoksen määrää toisistaan, eikä myöskään vatsan sisäosiin kertyvän terveydelle haitallisen rasvan (viskeraalirasvan) määrää, joten tämä tulee määrittää muilla mittauksilla. Keskinen ym. (2007) mukaan vyötärön ympärysmitta on myös hyvä osoitin rasvan merkityksestä painon nousussa. Vyötärön ympärysmittan ylittäessä miehillä 100 cm (WHO: 103 cm) ja naisilla 90 cm puhutaan huomattavasti suurentuneesta sairastuvuusriskistä (Keskinen ym. 2007).

Kehonkoostumusta voidaan määritellä myös ihopoimiumittauksen tai biosähköisen impedanssianalyysimenetelmien avulla, jolloin saadaan määriteltyä henkilölle rasvaprosentti ja saadaan lisätietoa eri kudosten osuudesta painon muodostumisessa (Kauranen & Nurkka 2010). Esimerkiksi Kaurasen & Nurkan (2010) mukaan keskiarvomiehen kehon rasvaprosentti on noin 15 ja sama vastaava prosentti naisilla on noin 27.

2.4.1 Kehonkoostumus & FA

Tutkimukset liikunnan vaikutuksesta kehonkoostumukseen puoltavat liikunnan ja fyysisen aktiivisuuden ehkäisevän monia kroonisia tauteja. Boothin ym. (2012) mukaan fyysinen aktiivisuus tai liikunta ehkäisee heikkoa sydän- ja hengityselimistöön kuntoa vaikuttaen maksimaaliseen hapenottokykyyn, ja lisäksi voidaan ehkäistä ylipainoa, tyypin 2 diabetesta, parantaa kognitiivisia toimintoja ja ehkäistä syöpää. Geneettisillä tekijöillä on kuitenkin Mustelin ym. (2011) kaksostutkimuksen mukaan merkittävä vaikutus ihmisen fyysiseen kuntoon, urheilulliseen aktiivisuuteen ja ylipainoon.

Rottensteinerin ym. (2014) nuorten aikuisten kaksostutkimuksessa vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden nosto tai tason pysyminen samana yhdistetään vähempään vyötärön ympäryksen kasvuun, mutta vähentynyt fyysinen aktiivisuus kasvatti vyötärön ympärystä, verrattavissa fyysiseen inaktiivisuuteen. Vanhemmilla kaksosilla tehty Leskisen ym. (2010) pitkittäistutkimus osoittaa, että fyysisen aktiivisuuden jatkuminen vanhemmalle iälle parantaa hengitys- ja verenkiertoelimistöön kuntoa ja fyysistä kuntoa, sekä vähentää ja muokkaa rasvan sijaintia elimistössä.

Sen sijaan nuoremmilla kaksosilla tehdyn Mustelinin (2012) väitöskirjatutkimuksen mukaan lihavuus on yhteydessä heikentyneeseen kestävyyskuntoon ja alentuneeseen mitokondrioiden toimintaan liittyvien geenien ilmentymiseen rasvakudoksessa. Näin ollen ne yksilöt, joilla on suurin perinnöllinen alttius lihoa, hyötyvät eniten liikunnasta (Mustelin 2012b).

3 TUTKIMUSONGELMAT

Tutkimuksen ongelmana on selvittää eroaako diskortanteja liikunnan suhteen olevien MZ kaksosten aivot toisistaan. Toisena tutkimusongelmana on tarkastella vaikuttaako korkeampi fyysinen aktiivisuus kehonkoostumukseen ja fyysiseen kuntoon (VO₂ max) MZ kaksosilla?

4 METODIT

Tutkimuksen tarkoituksena on tutkia kuinka fyysisen aktiivisuuden taso vaikuttaa aivovolyymeihin, kehonkoostumukseen ja fyysiseen kuntoon nuorilla miespuolisilla monozygoottisilla kaksosilla, jotka ovat diskortantteja liikunnan suhteen. Rottensteinerin ym. (2015) tutkimuksen aineistoa hyödyntäen selvitetään onko erilaiset fyysisen aktiivisuuden tasot näkyvissä jo reilun 30 vuoden ikäisillä tutkittavilla, jotka jakavat geneettisesti samanlaisen perimän (MZ).

4.1 Tutkimusaineisto

Alun perin tutkittavat rekrytoitiin 17 MZ kaksosparista FITFATTWIN tutkimukseen, joista sitten lopulta 10 paria erosi riittävästi kolmen viimeisen vuoden ajan fyysiseltä aktiivisuudeltaan. FITFATTWIN tutkimuksen pohjalla on FinnTwin16 kohortti, joka on väestöpohjainen pitkäaikais tutkimus suomalaisista kaksosista, jotka ovat syntyneet lokakuun 1974 ja joulukuun 1979 välillä (Kaprio ym. 2002). Tutkimuksessa kerättiin useita kertoja kyselyn avulla tietoja terveydestä, kehonkoostumuksesta ja fyysisestä aktiivisuudesta ensin nuorina aikuisina 16-27 vuotiaina (viimeisimmän kyselyn ka ikä 24,5v) ja kaikkein viimeisimpänä noin 10 vuotta myöhemmin 32-37 vuotiaina (ka 34,0 v). Kaksosten tsygoottisuuden määrittämiseen käytettiin omaa kyselyä (Sarna ym. 1978). 202 miespuolista MZ paria vastasi kyselyihin, joista puhelinkeskustelujen haastattelujen ja lääketieteellisten tutkimusten jälkeen valittiin FITFATTWIN tutkimukseen ne yksilöt (TAULUKKO 1), joiden vapaa-ajan fyysisessä aktiivisuudessa oli suurin ero (Rottensteiner ym. 2015).

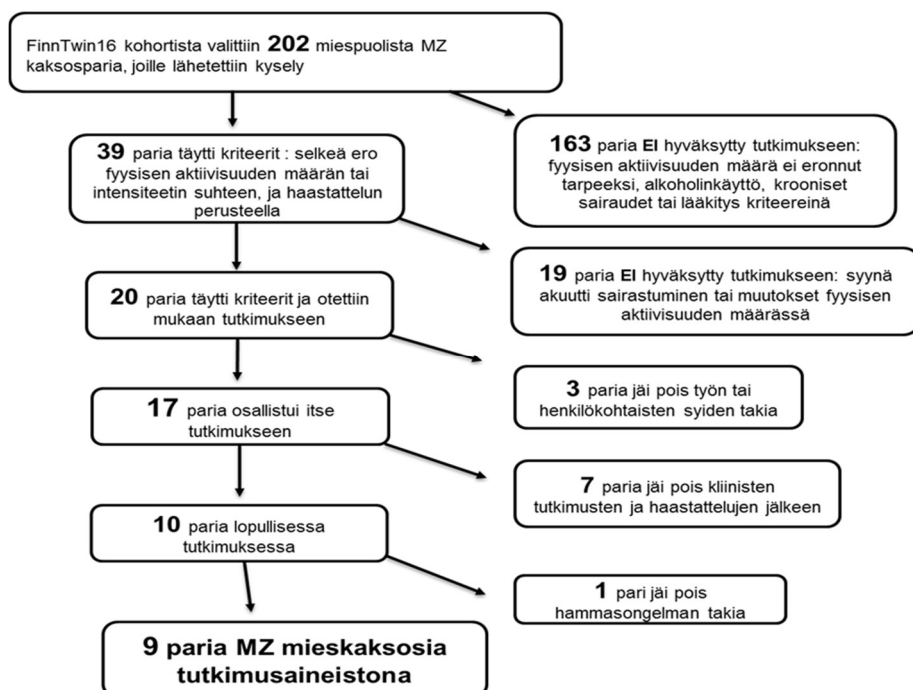
Näistä 202 MZ kaksosparista 39 paria täytti kriteerit, mikä tarkoitti selkeää eroa fyysisen aktiivisuuden määrän tai intensiteetin suhteen, ja lisäksi apuna käytettiin haastattelua. Sen sijaan 163 paria ei hyväksytty tutkimukseen, koska esimerkiksi fyysisen aktiivisuuden määrä ei eronnut tarpeeksi, taustalla oli alkoholinkäyttöä, kroonisia sairauksia tai lääkitystä kroonisiin tauteihin, jotka estivät tutkimukseen osallistumisen tai fyysiseen aktiivisuuteen osallistumisen (Rottensteiner ym. 2015).

Näistä 39 parista 19 paria ei hyväksytty tutkimukseen, minkä syynä oli akuutti sairastuminen tai muutokset fyysisen aktiivisuuden määrässä. Lisäksi 3 paria jäi pois työn tai henkilökohtaisten syiden takia. Näin ollen 17 paria osallistui itse tutkimukseen, joista 7 paria

jäi pois kliinisten tutkimusten ja haastattelujen jälkeen. Lopulta jäljellä oli 10 MZ kaksosparia diskortantteja fyysisen aktiivisuuden suhteen (Rottensteiner ym. 2015), joista tähän tutkimukseen valikoitui 9 MZ mieskaksosparia, yhden kaksosparin hammasongelmien vuoksi.

Tutkittavien lopulliseen tutkimukseen hyväksymiseen käytettiin seuraavia kriteereitä (Rottensteiner ym. 2015) mukaan, jossa ensimmäiseksi aktiivisemmän kaksosen tuli harrastaa fyysistä aktiivisuutta vähintään kaksi kertaa viikossa ja inaktiivisemmän kaksosen vähemmän kuin kaksi kertaa kuukaudessa tai aktiivisemmän kaksosen tuli harrastaa vähintään kaksi kertaa viikossa liikuntaa niin, että intensiteetti ja/tai keston tuli olla huomattavasti suurempaa verrattessa inaktiivisemmän kaksosen fyysiseen aktiivisuuteen. Parittaisen FA eron tuli olla siis yli 1,5 METh/päivä 12 kuukauden FA haastattelun ajalta, sisältäen myös työmatkaliikunnan. Inaktiivisen kaksosen 12 kuukauden seurannan päivittäisen METh arvon tuli olla vähemmän kuin 5 METh/pvä. Neljäntenä kriteerinä vaadittiin vähintään 1 METh/pvä ero viimeisen kolmen vuoden ajalta kaksosten välillä (3-yr-LTMET index) (Kujala ym. 1998, Leskinen ym. 2009, Waller ym. 2008). Viidentenä kriteerinä aktiivisemmalla kaksosella piti olla korkeampi Baecke FA-indeksilukema versus inaktiivisempi kaksonen (Baecke ym. 1982).

TAULUKKO 1. Tutkimusaineisto Rottensteineria ym. (2015) mukaillen.



4.2 Tutkimusmenetelmät

Kaikki mittaukset suoritettiin kahtena eri päivänä sokkoutetusti niin, että tutkijat eivät tienneet fyysisen aktiivisuuden statusta (Rottensteiner ym. 2015). Tutkittavia pyydettiin olemaan tekemättä kovia harjoituksia kaksi päivää ennen testejä, jotta liikunnan pitkäaikaisvaikutuksia pystytään mittaamaan.

Vapaa-ajan fyysinen aktiivisuus. Vapaa-ajan fyysisen aktiivisuuden haastatteluilla saatiin selville tutkittavien fyysisen aktiivisuuden määrä sisältäen työmatkaliikunnan (Rottensteiner ym. 2015). Määrä laskettiin vuosittaisella välillä viimeisen kuuden vuoden ajalta ja yksikkönä käytettiin MET indeksiä, jossa liikunnan kerrat kuukaudessa kerrottiin liikunnan kestolla (min) ja teholla (MET). Näistä laskettiin kertolaskuna yhteistulos MET-tunteina. Keskiarvo MET-indeksistä viimeisen kolmen vuoden ajalta (3-yr-LTMET index) laskettiin ja käytettiin yhtenä tutkimuksen sisäänottokriteerinä.

Toisessa haastattelussa käytettiin yksityiskohtaisempaa haastattelua, joka oli muokattu Kuopion Ischemic Heart Disease Risk Factor Study –kyselystä (Lakka ym. 1997, Waller ym. 2008). Fyysinen aktiivisuus jaettiin tässä kyselyssä tarkemmin liikunnan, harrastusten ja liikkumisen tuomaan fyysiseen aktiivisuuteen. Tutkittavia pyydettiin itse merkitsemään liikkumiskerrat, intensiteetti ja kesto, joista laskettiin jälleen liikunta-aktiivisuus METh/pvä viimeiseltä 12 kuukaudelta (Ainsworth ym. 2000, Ainsworth ym. 2011, Lakka ym. 1997). Lisäksi viimeisen kriteerin mukaisesti käytettiin 16-kohtaista Baecke –kyselyä (Baecke ym. 1982), jossa kolme indeksiä laskettiin yhteen (työ, urheilu ja vapaa-aika), joista saatiin urheiluindeksi, joka kuvaa tehokasta fyysistä aktiivisuutta (Rottensteiner ym. 2015).

Fyysinen kunto. Verenkierto- ja hengityselimistön kuntoa tutkittiin maksimaalista kestävyyskuntoa mittaavalla spiroergometritestillä, jossa käytettiin sähköisellä vastuksella toimivaa polkupyöräergometriä (Rottensteiner ym. 2015). Hengityskaasumittaukset, sisältäen hapenoton, mitattiin spiroergometrillä lisäten 25 W lähtötasolta kuormaa kahden minuutin välein, kunnes tutkittava väsyi tai saavutti maksimaalisen harjoituskapasiteettinsa RPE – lukema 19-20 Borgin asteikolla. Maksimaalinen hapenottolukema otettiin keskiarvosta kahden parhaan hapenottolukeman per 30 sekuntia väliltä.

Antropometria ja kehonkoostumus. Pituus ja paino mitattiin paljasjaloin kevyessä vaateuksessa pyöristäen lähimpää 100 grammaa ja 0,5 cm kohden. Vyötärön ympärys mitattiin suoliluun yläreunan ja alimman kylkiluun välillä, ja lantion ympärys reisiluun yläpään luu-ulokkeiden leveimmältä kohdalta puolen sentin marginaalilla (Marti ym. 1991). Koko kehonkoostumus mitattiin yöpaaston jälkeen dual-energy x-ray absorptiometry (DEXA) – laitteella.

Aivojen magneettikuvaus. Tutkittavien aivokuvat otettiin koko pään magneettikuvista (MRI). Magneettikuvista tehtiin jako harmaan aineen (GM), valkean aineen (WM) ja aivo-selkäydinnesteen (CSF) välille, jotka sitten normalisoitiin Montrealin neurologisen instituutin aivomalliin. Intrakraniaalinen kokonaisvolyymi, harmaan aineen kokonaisvolyymi ja valkean aineen kokonaisvolyymi laskettiin jokaiselle yksilölle. TIV:tä käytettiin kovarianttina tilastoanalyysissä.

Tilastolliset analyysimenetelmät. Aineisto analysoitiin IBM SPSS Statistics 20-ohjelmalla. Parittaisessa analyysissä verrattiin fyysisen aktiivisuuden suhteen diskortantteja olevien kaksosten eroavaisuuksia luottamusvälin ollessa 95 %. Fyysisen aktiivisuuden (METh) määrän yhteyttä kehonkoostumukseen, kestävyyskuntoon ja aivovolyymeihin tarkasteltiin pienen aineiston takia Mann-Whitney-Wilcoxonin (MWW) -testillä, sekä Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla.

Eettinen hyväksyntä. Tutkimus noudatti hyvän tieteellisen tutkimuksen ohjeistusta ja Helsingin julistusta. Lisäksi tutkimus sai Keski-Suomen eettisen komitean hyväksynnän tutkimukselle syyskuussa 2011 ja kaikki tutkittavat antoivat kirjallisen suostumuksen tutkimukseen.

5 TULOKSET

Tarkan kriteeristön täyttäneet yhdeksän MZ mieskaksosparia erosivat fyysiseltä aktiivisuudeltaan viimeisen kolmen vuoden ajalta, mutta eroa ei ollut 4-6 vuotta ennen tutkimuksia. Aiempien kyselyiden (ka ikä 24,5v) FITFATTWIN –tutkimuksen mukaan fyysisessä aktiivisuudessa ei ollut eroavaisuuksia, joten fyysisen aktiivisuuden eron vaikutus tuloksiin on syntynyt vain viimeisen kolmen vuoden aikana (Rottensteiner ym 2015).

MWW- testin parittaisen analyysin mukaan (TAULUKKO 2) aktiivisemmalla kaksosella (ka 4,5 METh) oli alhaisempi kehon rasvaprosentti ($P=0,001$) ja korkeampi hapenotto ($P=0,04$) verrattuna inaktiiviseen kaksoseen (ka 1,4 METh). Kaksosparien vertailussa oli myös hieman viitteitä siitä, että fyysisesti aktiivisemmalla kaksosella olisi pienempi vyötärönympäryys ($P=0,12$), sekä suurempi harmaan aineen määrä ($P=0,14$), kuin inaktiivisella kaksosella. Tosin tilastollista merkittävyyttä ei ollut. Myös harmaan ja valkean aineen kokonaisvolyymiin merkitsevyys ($P=0,15$) voisi antaa suuntaa fyysisen aktiivisuuden vaikutuksesta aivojen kokonaisvolyymiin, mutta ilman tilastollista merkittävyyttä.

Korkeampi fyysinen aktiivisuus oli suuntaa antavasti, mutta ei tilastollisesti merkittävästi, yhteydessä maksimaaliseen hapenottoon ($r=0,48$, $P=0,23$) ja aivo-selkäydinnesteen määrään ($r=0,50$, $P=0,21$) aktiivisilla kaksosilla (TAULUKKO 3). Yhdistetty aivojen harmaa ja valkea-ainevolyymi (GM+WM) oli suuntaa-antavasti yhteydessä ($r=-0,57$, $P=0,11$) vähän liikkuvilla kaksosilla.

Aivojen magneettikuvissa (MRI) ei löytynyt tilastollisesti merkittäviä eroja aivojen harmaan aineen, valkean aineen ja aivo-selkäydinnesteen määrässä fyysisen aktiivisuuden suhteen diskortanteja olevien nuorten MZ mieskaksosten aivoissa.

TAULUKKO 2. Ominaisuudet MZ mieskaksospareilla diskortantteja fyysisen aktiivisuuden suhteen. Luottamusväli 95 %.

Tutkimuskohde	Aktiivisuus	Keskiarvo	N	Keskihajonta	Std.Error Mean	Sig. (2-tailed) p-arvo
METH	Inaktiiviset	1,44	9	3,44	1,15	
	Aktiiviset	4,45	9	1,80	0,60	0,001*
VO _{2max}	Inakt	37,25	8	3,79	1,34	
	Akt	43,13	8	4,23	1,49	0,001*
Dexa rasva %	Inakt	23,81	9	4,87	1,62	
	Akt	20,32	9	4,03	1,34	0,04*
InBody rasva %	Inakt	18,93	9	3,04	1,01	
	Akt	17,09	9	3,18	1,06	0,11
BMI	Inakt	24,34	9	3,44	1,15	
	Akt	23,44	9	1,80	0,60	0,27
Vyötärön ympärys	Inakt	88,67	9	8,65	2,88	
	Akt	85,22	9	6,58	2,19	0,12
GM+WM (ml)	Inakt	1342,40	8	67,19	23,76	
	Akt	1371,46	8	68,00	24,02	0,15
CSF (ml)	Inakt	226,73	8	38,35	13,56	
	Akt	227,59	8	38,94	13,77	0,80
TIV (ml)	Inakt	1569,12	8	94,01	33,24	
	Akt	1599,06	8	90,28	31,92	0,18
GM (ml)	Inakt	664,10	8	30,11	10,65	
	Akt	675,30	8	37,52	13,27	0,14
WM (ml)	Inakt	678,30	8	47,65	16,85	
	Akt	696,17	8	41,13	14,54	0,21

*p < 0,05 tilastollisesti merkitsevä ero erilaisten fyysisen aktiivisuuden ryhmien välillä

TAULUKKO 3. Fyysisen aktiivisuuden vertailu muuttujiin MZ mieskaksosilla (ka ikä 33,7 v) diskortanteja liikunnan suhteen. Luottamusväli 95 %.

Ominaisuus	Inaktiiviset korrelaatio suhteessa METka	Inaktiiviset Sig. (2-tailed) p-arvo	Aktiiviset korrelaatio suhteessa METka	Aktiiviset Sig. (2-tailed) p-arvo
Hapenotto VO _{2max}	0,32	0,41	0,48	0,23
N	9		8	
Dexa rasva %	-0,37	0,33	-0,08	0,83
N	9		9	
GM+WM (ml)	-0,57	0,11	-0,26	0,53
N	9		8	
TIV (ml)	-0,37	0,33	-0,29	0,49
N	9		8	
CSF (ml)	-0,02	0,97	0,50	0,21
N	9		8	
WM (ml)	-0,42	0,27	-0,21	0,61
N	9		8	
GM (ml)	-0,40	0,29	-0,31	0,46
N	9		8	

6 POHDINTA

Tutkimusaineiston perusteella korkeampi fyysinen aktiivisuus on yhteydessä matalampaan rasvamäärään ja korkeampaan hapenottoon, mikä on linjassa aiempien tutkimuksien kanssa puoltaen fyysisen aktiivisuuden yhteyksiä terveyteen ja fyysiseen kuntoon. Tutkimuksen haasteena oli saada tutkittavaksi monozygoottiset mieskaksoset, joiden fyysinen aktiivisuus eroaa riittävästi. Fyysisen aktiivisuuden periytyvyys (Kujala ym. 2002, Mustelin ym. 2012a) on kuitenkin melko korkea ja tutkittavat lisäksi jakavat saman kasvuympäristön, jolloin erot fyysisessä aktiivisuudessa syntyvät vasta aikuisiässä keskellä työ- ja perhe-elämää (Rottensteiner ym. 2015).

Tässä tutkimuksessa yhdeksän MZ mieskaksosparien vertailulla saatiin kuitenkin eroa rasvaprosentissa ja maksimaalisessa hapenotossa, vaikkakin kaksosparien pituus-paino –suhteesta kertova painoindeksi (BMI) ei eronnut merkittävästi toisistaan. Tämä taas puoltaa edellisiä tutkimuksia (Leskinen ym. 2009), jossa vanhemmilla kaksospareilla tehdyssä tutkimuksessa fyysisesti inaktiivisella oli vain vähän korkeampi kehonpaino, mutta huomattavasti korkeampi rasvaprosentti, kuin aktiivisemmalla kaksosella (Rottensteiner ym. 2015). Myös aiemmissa interventiotutkimuksissa aerobinen harjoittelu yhdistettiin vähentyneeseen viskeraalirasvan määrään annos-vasteriippuvuuden mukaisesti (Ohkawara ym. 2007).

Tilastollisesti merkitsevä tulos rasvaprosentissa MZ kaksosten välillä tuli esille vain DXA –laitteella suoritettujen rasvaprosentin mittauksen yhteydessä, mutta InBody –mittarilla tulos ei ollut ihan tilastollisesti merkitsevä. Syynä tähän lienee InBody –mittarin luotettavuuden ja toistettavuuden virhemarginaalit verrattuna DXA –laitteeseen. Eroavaisuudet mittaustuloksissa oli jopa 3-5 rasvaprosenttiyksikköä vähemmän InBody-laitteella mitattuna, jossa erilaisten kehon kudosten sähköjohtuvuus ja laitteen analysointi on paljon herkempi mittausrvirheille, kuin kaksiennergisellä röntgensäteellä saadut tulokset. Mittausolojen ja koehenkilöstä johtuvien aineenvaihdunnallisten tekijöiden vakioiminen on bioimpedanssissa kuitenkin tärkeämpää kuin ihopoimiumittausta käytettäessä, ja tarkkuus jää heikommaksi kuin DXA-laitteella tehdyt tutkimukset (Keskinen ym. 2007).

Joka tapauksessa korkeamman fyysisen aktiivisuuden tuomat erot hapenottoon (VO_{2max}) ja matalampaan kehon rasvamäärään (rasva %) on todistettu useissa tutkimuksissa ja tämä näkyy

jopa näin pienessä tutkimusaineistossa (N=18). Hapenotto korreloi luonnollisesti suhteessa METs arvoihin, joten mitä enemmän liikut, sen parempi on fyysinen kuntosi. Fyysisen aktiivisuuden tuoma parannus verenkierto- ja hengityselimistön toimintaan ehkäisee useita kroonisia kansansairauksia, kuten sydän- ja verisuonitauteja (Kodama ym. 2009) ja sitä kautta fyysisen aktiivisuuden tuoma hapenoton lisäys tuo myös terveitä elinvuosia.

Suuremmalla fyysisen aktiivisuuden määrällä saattaa hieman olla yhteyttä suurentuneeseen aivo-selkäydinnesteen määrään nuorilla ja terveillä mieskaksosilla. Aivo-selkäydinnesteen määrään vaikuttaa kehon pyrkimys säädellä kallon sisäistä painetta ja tilaa kompensoidakseen aivojen tarvitsemaa tilavuuden lisääntymistä (Bjälle ym. 2009). Urheileminen tuskin lisää kallon painetta siinä määrin, että aivokudokselle olisi lisätarvetta laajentua. Urheilun aikaansaama hienhaihtuminen iholla ja nestetasapainon säätely elimistössä johtavat kenties myös aivo-selkäydinnesteen määrän lisääntymiseen, koska hypotalamuksen osmoreseptorit seuraavat veriplasman ja selkäydinnesteen väkevyyttä (Karhumäki ym. 2014).

Inaktiivisuudella oli jossain määrin yhteyttä harmaan ja valkean aineen kokonaismäärään. Valkea aine sisältää myeliinejä enemmän ja lisäksi myös enemmän rasvaa (Gazzaniga ym. 2002). Inaktiivisilla henkilöillä rasvaa on kehossa enemmän, joten valkeaa ainettakin on mahdollisesti enemmän. Tästä johtunee siis inaktiivisuuden pieni yhteys harmaan ja valkean aineen kokonaismäärään, jos oletetaan, ettei inaktiivisuus muilla tavoin kasvata aivovolyymejä tai päänympärysmittaa.

Fyysisellä aktiivisuudella ei ollut muutoin merkittävää yhteyttä aivovolyymien kokoon tai kehonkoostumukseen, kun tutkittavat kaksoset jakavat täysin saman geneettisen perimän. Tramon ym. (1998) tutkimuksen mukaisesti MZ kaksosilla on samankokoiset aivot, mutta oletettavissa on, että tulevaisuudessa nämä kaksoset eroavat myös kokonaisuivolyymien osalta merkittävästi jatkaessaan samanlaisia fyysisen aktiivisuuden määriään.

Iältään tutkittavat ovat vielä nuoria aikuisia (ka 33,7 v), mutta he ovat kuitenkin jo aivokypsyydessä saavuttaneet huippuvaiheen. Aivot kehittyvät aina 20 ikävuoteen saakka (Kauranen & Nurkka 2010), joten lapsuuden ja nuoruuden liikuntatottumukset ovat osaltaan tukemassa aivojen kehitystä. Useissa tutkimuksissa vahvaa näyttöä liikunnan vaikutuksesta reorganisaatioon on aina varhaislapsuudesta vanhuksiin (Colcombe ym. 2006, Chaddock ym.

2010). Niinpä se olisikin huolestuttavaa, jos kolmen vuoden eroavaisuus fyysisessä aktiivisuudessa toisi isoja eroja aivovolyymeihin muuten täysin terveillä identtisillä kaksosmiehillä.

Rottensteinerin ym. (2015) tutkimuksessa samalla aineistolla saatiin eroavaisuutta harmaan aineen määrässä aivokuoren etuosan aivojuovion alueella, erityisesti ei-hallitsevan aivolohkon etuosan aivokuorella paikallisesti (subgyral & IFG), fyysisesti aktiivisemmalla kaksosella. Yleensä tässä ikäryhmässä aivokuoren kokonaisvolyymit harmaan ja valkean aineen osalta ovat samanlaiset, mutta tässä tutkimuksessa eroja kaksosten välille saadaksean mentiin hieman syvemmälle aivoihin. Tästä voisi taasen päätellä Rottensteineria ym. (2015) mukaillen sen, että aivoissa tapahtuu muokkaantumista pitkäaikaisen fyysisen aktiivisuuden johdosta ja se saattaisi näin ollen ehkä vähentää riskiä sairastua hengitys- ja verenkiertoelimistön tauteihin, sekä muihin sydän- ja verenkiertohäiriöihin myöhemmällä iällä. Mielenkiintoista olisikin nähdä saman tutkimusaineiston testitulokset seuraavan 10-20 vuoden ajalta, jolloin nämä nuorten miesten fyysisen aktiivisuuden eroavaisuudet aivovolyymeissä, sekä kehonkoostumuksessa näkyisivät varmasti vieläkin selkeämmin.

Chaddockin ym (2010) tutkimuksessa enemmän liikkuvilla aikuisilla oli yhteyksiä suurentuneeseen harmaan aineen volyymiin hippokampuksessa, ja parempiin kognitiivisiin toimintoihin verrattuna vähemmän liikkuviin verrokkeihin. Hippokampus on yhdistetty muistitoimintoihin (Carter ym. 2009). Tutkimalla harmaan aineen määrän eroavaisuuksia myös esimerkiksi aivojen basaaliganglioissa on saatu merkittäviä tuloksia tämän tutkimuksen samankaltaisella tutkimusaineistolla, jolloin esimerkiksi Onyewuenyin ym. (2014) mukaan vähentynyt basaaliganglioiden volyymi on yhdistetty metaboliseen oireyhtymään. Basaaliganglioiden toiminta on yhteydessä motoristen toimintojen kontrollointiin ja päätöstentekoon (Carter ym. 2009).

Fyysisen aktiivisuuden määrä ja aivojen tilavuuksien yhteydet jäivät tutkimuksessa melko merkityksettömiksi todennäköisesti pienen aineiston takia (N=18). Rottensteinerin ym. (2015) tutkimuksen perusteella voisi kuitenkin olettaa, että hippokampuksen alueen volyymien samankaltaisuus ja sen yhteyden muistitoimintoihin oli näillä kaksosilla vielä terveellä tasolla ilman viitteitä mahdollisista muistisairauksista tai hermostorappeumasairauksista. Toisaalta eroja aivovolyymeissä nimenomaan kaksosten välillä geneettisen perimän vuoksi ei välttämättä

tule, koska on juuri huomioitava myös tutkittavien matala ikä (ka 33,7 v) suhteessa esimerkiksi hermostorappeumasairauksien ilmaantuvuusikään. Fyysinen aktiivisuus on ennaltaehkäisevänä tekijänä yhdistetty hermostorappeumasairauksien syntyyn ja FA on yhteydessä myös parantuneisiin kognitiivisiin toimintoihin (Alosco ym. 2013, Boots ym. 2014).

Rottensteinerin ym. (2015) tutkimuksen loppuolettaman mukaan liikunta parantaa aivojen kykyä koordinoida motorisia toimintoja ja kognitiivisia toimintoja etuaivolohkon alueella. Tämän tutkimuksen lopputulosten kannalta on oleellista nähdä aivovolyymien yhteydet hermostorappeumasairauksiin ja kognitiivisiin toimintoihin, sekä niiden vaikutusta etenkin myöhemmälle iälle, jolloin nuoruuden ja aikuisuuden fyysinen aktiivisuus korostuu merkittävytydessään. Lisäksi liikunnan tuomat hyödyt verenkierto- ja hengityselimistön toimintaan ennaltaehkäistäessä kansansairauksia ja lisäämällä terveitä elinvuosia on oleellista niin yhteiskunnan, kuin yksilönkin kannalta.

Sepelvaltimotauti on yksi tärkeimmistä suomalaisten kuolinsyistä. Fyysisen (aerobisen) kunnon, sen muutosten ja sepelvaltimotautivaaran välillä on todettu voimakas käyräviivainen annos-vasteriippuvuus, jossa etenkin kunnon mittaus on esimerkiksi tarkempi kuin aktiivisuuden mittaus (Vuori & Kesäniemi, 2005). Ateroskleroosi on myös yksi inaktiivisuudesta johtuva prosessimainen tauti, jossa sepelvaltimon sisäkerrokseen alkaa kertyä kolesterolia. Ateroskleroosin kehittyminen on suuressa määrin lipidi- ja sokeriaineenvaihdunnan sairaus, ja riittävä määrä riittävän intensiivistä liikuntaa vaikuttaa edullisesti niihin kumpaankin (Vuori & Kesäniemi, 2005). Niinpä seuraavaksi voitaisiin tutkia fyysisen aktiivisuuden sijaan fyysisen kunnon ja maksimaalisen hapenoton vaikutusta aivovolyymeihin ja kehonkoostumukseen, sekä samalla sen vaikutusta rasva-aineenvaihduntaan. Samalla voisi myös tutkia kaksosten verenkuvaa ja lipidiarvoja, jotka osin liittyvätkin sepelvaltimotaudin patologiaan. Tutkittavien seuraaminen vanhuuteen saakka olisi hyödyllistä ja myös mielenkiintoista.

Tutkimuksen vahvuutena on tarkoin valikoitu tutkittavien joukko, mutta aineiston pieni määrä vaikeuttaa analyysien tulosten vahvuuteen. Myös tutkimusharjojen ilmeneminen on vähäistä, koska tutkittavat kontrolloitiin sukupuolen, kroonisten sairauksien, lääkityksen ja iän mukaan melko hyvin. Ravitsemuksen vaikutus tutkimukseen on Rottensteinerin ym. (2015) tutkimuksen mukaan vähäistä, ja tutkimustulokset tältä saralta raportoidaan myöhemmin.

Toisaalta ravinnon merkitys aivojen toimintaan ja kognitiivisiin toimintoihin on ilmeisen merkittävä. Pystyäkseen yleistämään tutkimustuloksia muuhun väestöön Rottensteiner ym. (2015) ottivat FinnTwin16- kohortista muut miehet vertailukohteeksi, mutta eivät saaneet merkittäviä eroja fyysisen aktiivisuuden määrässä tai muissakaan tutkimuksen mittareissa. Tutkimustulosten yleistettävyys naisiin sen sijaan vaatii lisätutkimusta. Myös liikuntamuotojen spesifi vaikutus tutkimustuloksiin on selvittämättä.

Liikunnan ja fyysisen aktiivisuuden tuomat hyödyt kestävyyskuntoon, kehonkoostumukseen ja aivoterveeseen ovat siis tärkeitä. Lapsena ja nuorena opitut liikuntatavat kehittävät motorisia toimintoja ja edistävät aivoterveyttä, mutta myös aikuisiän ruuhkavuosien aikaan fyysinen aktiivisuus ja liikunta ovat oleellisia myöhempien vuosien sairauksien ennaltaehkäisyssä ja terveiden elinvuosien lisäämisessä.

7 JOHTOPÄÄTÖKSET

Aiempien fyysiseen aktiivisuuteen liittyvien tutkimuksien ja tämän tutkimusaineiston perusteella korkeampi fyysinen aktiivisuus on yhteydessä matalampaan rasvamäärään ja korkeampaan hapenottoon nuorilla monozygoottisilla mieskaksosilla. Lisäksi fyysisellä aktiivisuudella on hieman yhteyttä suurentuneeseen aivo-selkäydinnesteen määrään enemmän liikkuvilla terveillä kaksosilla.

Fyysinen inaktiivisuus saattaa olla yhteydessä suurentuneeseen aivojen valkean ja harmaan alueen yhteiskokoon. Liikunnalla ei ollut muutoin yhteyttä aivovolyymien kokoon tai kehonkoostumukseen, kun tutkittavat kaksoset jakavat täysin saman geneettisen perimän. Fyysisellä aktiivisuudella on kuitenkin positiivisia yhteyksiä verenkierto- ja hengityselimistön toimintaan ja näin ollen voinee vähentää riskiä sairastua kroonisiin kansantauteihin, sekä lisää terveitä elinvuosia.

LÄHTEET

- Ainsworth, BE., Haskell, WL., Herrmann, SD., Meckes, N., Bassett, DR., Tudor-Locke, C., Greer, JL., Vezina, J., Whitt-Glover, MC. & Leon, AS. 2011. Compendium of Physical Activities: a second update of codes and MET values. *Med Sci Sports Exerc.* 43(8), 1575–81.
- Ainsworth, BE., Haskell, WL., Whitt, MC., Irwin, ML., Swartz, AM., Strath, SJ., O'Brien, WL., Bassett, DR., Schmitz, KH., Emplaincourt, PO., Jacobs, DR. & Leon, AS. 2000. Compendium of Physical Activities: an update of activity codes and MET intensities. *Med Sci Sports Exerc.* 32(9), S498–504.
- Alosco, M.L., Brickman, A.M., Spitznagel, M.B., Griffith, E.Y., Narkhede, A., Raz, N., Cohen, R., Sweet, L.H., Colbert, L.H., Josephson, R., Hughes, J., Rosneck, J. & Gunstad, J. 2013. Poorer physical fitness is associated with reduced structural brain integrity in heart failure. *J. Neurol. Sci.* 328, 51-57.
- Baecke, JA., Burema, J. & Frijters, JE. 1982. A short questionnaire for the measurement of habitual physical activity in epidemiological studies. *Am J Clin Nutr.* 36, 936–42.
- Bjålie, JG., Haug, E., Sand, O., Sjaastad., ÖV. & Toverund, KC. 2009. Ihminen- fysiologia ja anatomia. 67, 75-77, 300-301, 313, 317.
- Booth, FW., Roberts, CK. & Laye, MJ. 2012. Lack of exercise is a major cause of chronic diseases. *Compr Physiol.* 2(2), 1143-211.
- Boots, E., Schultz, SA., Oh, JM., Larson, J., Edwards, D., Cook, D., Kosciak, RL., Dowling, MN., Gallagher, CL., Carlsson, CM., Rowley, HA., Bendlin, BB., Larue, A., Asthana, S., Hermann, BP., Sager, MA., Johnson, SC. & Okonkwo, OC. 2015. Cardiorespiratory fitness is associated with brain structure, cognition, and mood in a middle-aged cohort at risk for Alzheimer's disease. *Brain imaging and behavior.* 9(3), 639.
- Bouchard, C., Blair, SN. & Haskell, WL. 2007. *Physical Activity and Health.* 164.
- Carter, R., Aldridge, S., Page, M. & Parker, S. 2009. *Aivot.* 23, 42, 44, 57, 61, 65.
- Denkinger, M D., Nikolaus, T., Denkinger, C. & Lukas, A. 2012. Physical activity for the prevention of cognitive decline: current evidence from observational and controlled studies. *Gerontol Geriatr.* 45(1), 11-6.
- Erickson KI, Prakash RS, Vos MW, Chaddock, L., Hu, L., Morris, KS., White, SM., Wójcicki, TR., McAuley, E., Kramer, Arthur F. 2009. Aerobic fitness is associated with hippocampal volume in elderly humans. *Hippocampus.* 19(10), 1030–9.

- Fogelholm, M. 2007. Teoksessa Keskinen, KL., Häkkinen, K., & Kallinen, M. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen seura ry. 45-52.
- Gazzaniga, M.S., Ivry, R.B. & Mangun, G.R. 2002. Cognitive Neuroscience, the biology of the mind, Second Edition. W.W. Norton & Company Inc. 64-72.
- Haug, E., Sand, O., Sjaastad, ÖV., Toverund, KC. 1999. Ihmisen fysiologia. WSOY. 114, 123.
- Hiltunen, E., Holmberg, P. & Jyväsjärvi, E. 2007. Galenos- ihmiselimityö kohtaa ympäristön. WSOY. 372, 397, 405-406.
- Kaprio J, Pulkkinen L, Rose RJ. 2002. Genetic and environmental factors in health-related behaviors: studies on Finnish twins and twin families. *Twin Res.* 5, 366–71.
- Karhumäki, E., Lehtonen, M., Nieminen, K. & Syrjäkallio-Ylitalo. 2014. Päästä varpaisiin – Ihmisen anatomia ja fysiologia. Edita. 122-125.
- Kauranen, K & Nurkka, N. 2010. Biomekaniikkaa liikunnan ja terveydenhuollon ammattilaisille. *Liikuntatieteellinen seura.* 66-75, 88, 260-270.
- Keskinen, KL., Häkkinen, K., & Kallinen, M. 2007. Kuntotestauksen käsikirja. Liikuntatieteellinen seura ry. 45-52.
- Kujala, UM., Kaprio, J. & Koskenvuo, M. 2002. Modifiable risk factors as predictors of all-cause mortality: the roles of genetics and childhood environment. *Am J Epidemiol.* 156, 985–93.
- Kujala UM., Kaprio J, Sarna S, Koskenvuo M. 1998. Relationship of leisure-time physical activity and mortality: the Finnish twin cohort. *JAMA.* 279, 440–4.
- Lakka TA & Salonen JT. 1997. The physical activity questionnaires of the Kuopio Ischemic Heart Disease Study (KIHD). A collection of physical activity questionnaires for health-related research. *Med Sci Sports Exerc.* 29, S46–58.
- Lee, T., Sachdev, P. 2014. The contributions of twin studies to the understanding of brain aging and neurocognitive disorders. *Curr Opin Psychiatry.* 27 (2), 122-127.
- Leskinen T, Sipilä S, Alen M, et al. Leisure time physical activity and high-risk fat: a longitudinal population-based twin study. *Int J Obes (Lond).* 2009;33:1211–8.
- Leskinen, T., Rinnankoski-Tuikka, R., Rintala, M, Seppänen-Laakso, T., Pöllänen, E., Alen, M., Sipilä, S., Kaprio, J., Kovanen, V., Rahkila, P., Oresic, M., Kainulainen, H. & Kujala, UM. 2010. Differences in muscle and adipose tissue gene expression and cardio-metabolic risk factors in the members of physical activity discordant twin pairs. *PLoS One.* 5 (9).

- Malone, IB., Leung, KK., Clegg, S., Barnes, J., Whitwell, JL., Ashburner, J., Fox, NC., Ridgway, GR. 2015. Accurate automatic estimation of total intracranial volume: A nuisance variable with less nuisance. *NeuroImage*. 104, 366-372.
- Marti B, Tuomilehto J, Salomaa V, Kartovaara L, Korhonen HJ, Pietinen P. 1991. Body fat distribution in the Finnish population: environmental determinants and predictive power for cardiovascular risk factor levels. *J Epidemiol Community Health*. 45, 131–7.
- McArdle, W.D., Katch, F.I. & Katch, V.L. 2007. *Exercise Physiology*. 6th Edition. 200-203, 774, 910.
- Mustelin, L., Latvala, A., Pietiläinen, KH., Piirilä, P., Sovijärvi, A R., Kujala, UM., Rissanen, A. & Kaprio, J. 2011. Associations between sports participation, cardiorespiratory fitness, and adiposity in young adult twins. *J Appl Physiol* (1985). 110(3), 681-6.
- Mustelin L, Joutsu J, Latvala A, Pietiläinen KH, Rissanen A, Kaprio J. 2012a. Genetic influences on physical activity in young adults: a twin study. *Med Sci Sports Exerc*. 44(7), 1293–301.
- Mustelin, L. 2012b. Obesity, physical activity and cardiorespiratory fitness in young adulthood: Studies in Finnish twins. Väitöskirja. <http://urn.fi/URN:ISBN:978-952-10-8343-3>.
- Mutikainen, S., Perhonen, M., Alen, M., Leskinen, T., Karjalainen, J., Rantanen, T., Kaprio, J., Kujala, UM. 2009. Effects of Long-Term Physical Activity on Cardiac Structure and Function: A Twin Study. *Journal of Sports Science & Medicine* 8(4), 533-542.
- Niemi, M. & Väänänen, K. 1993. Ihmisyksilön kehitysbiologia. *Duodecim*. 117-118, 124.
- Nienstedt, W., Hänninen, O., Arstila, A., Björkqvist, S-E. 2004. Ihmisen fysiologia ja anatomia. WSOY. 258, 516, 529-533.
- Ohkawara K, Tanaka S, Miyachi M, Ishikawa-Takata K, Tabata I. 2007. A dose–response relation between aerobic exercise and visceral fat reduction: systematic review of clinical trials. *Int J Obes (Lond)*. 31, 1786–97.
- Pernecky, R., Wagenpfeil S., Lunetta, KL., Cupples, LA., Green, RC., DeCarli, C., Farrer, LA., Kurz, A. 2010. Head circumference, atrophy, and cognition: implications for brain reserve in Alzheimer disease. *Neurology*, 75:137–142.
- Reiner, M., Niermann, C., Jekauc, D., Woll, A., 2013. Long-term health benefits of physical activity – a systematic review of longitudinal studies. *BMC Public health*. 13, 813.
- Rottensteiner, M., Pietiläinen, KH., Kaprio, J., Kujala, UM. 2014. Persistence or change in leisure-time physical activity habits and waist gain during early adulthood: a twin-study. *Obesity*. 22(9), 2061-70.

- Rottensteiner, M., Leskinen, T., Niskanen, S., Niskanen, E., Aaltonen, S., Mutikainen, S., Wikgren, J., Heikkilä, K., Kovanen, V., Kainulainen, H., Kaprio, J., Tarkka, IM. & Kujala, UM. 2015. Physical Activity, Fitness, Glucose Homeostasis, and Brain Morphology in Twins. *Med. Sci. Sports Exerc.* 47(3), 509–518.
- Rovio, S., Kåreholt, I., Helkala, E-L., Viitanen, M., Winblad, B., Tuomilehto, J., Soininen, H., Nissinen, A., Kivipelto, M. 2005. Leisure-time physical activity at midlife and the risk of dementia and Alzheimer's disease. *Lancet Neurol.* 4, 705–711.
- Rovio, S., Spulber, G., Nieminen, LJ., Niskanen, E., Winblad, B., Tuomilehto, J., Nissinen, A., Soininen, H. & Kivipelto, M. 2010. The effect of midlife physical activity on structural brain changes in the elderly. *Neurobiology of Aging.* 31 (11), 1927-1936.
- Ruscheweyh, R., Willemer, C., Krüger, K., Duning, T., Warnecke, T., Sommer, J., Völker, K., Ho, H V., Mooren, F., Knecht, S. & Flöel, A. 2011. Physical activity and memory functions: An interventional study. *Neurobiology of Aging.* 32 (7), 1304 -1319.
- Sariola, H., Frilander, M. & Heino, T. 2003. Solusta yksilöksi- kehitysbiologia. *Duodecim.* 167-174.
- Sarna S, Kaprio J, Sistonen P & Koskenvuo M. 1978. Diagnosis of twin zygosity by mailed questionnaire. *Hum Hered.* 28, 241–54.
- Sousa, N., Mendes, R., Abrantes, C., Sampaio, J. & Oliveira, J. 2013. The long-term effects of aerobic training versus combined training on physical fitness and cardiovascular diseases risk factors in overweight elderly men with high blood pressure. *British Journal of Sports Medicine.* 47 (10), E3.
- Spalding KL, Bergmann, O., Alkass, K., Bernard, S., Salehpour, M., Huttner, HB., Boström, E., Westerlund, I., Vial, C., Buchholz, BA., Possnert, G., Mash, DC., Druid, H. & Frisén, J. 2013. Dynamics of hippocampal neurogenesis in adult humans. *Cell.* 153(6), 1219–1227.
- Stubbe, JH., Boomsma, DI., Vink, JM., Cornes, BK., Martin, NG., Skytthe, A., Kyvik, KO., Rose, RJ., Kujala, UM., Kaprio, J., Harris, JR., Pedersen, NL., Hunkin, J., Spector, TD. & de Geus, EJC. 2006. Genetic influences on exercise participation in 37,051 twin pairs from seven countries. *PLoS One.* 1(1):e22.
- Taki, Y; Kinomura, S; Sato, K; Goto, R; Wu, K; Kawashima, R; Fukuda, H. 2011. Correlation between gray/white matter volume and cognition in healthy elderly people. *Brain and cognition* 75 (2), 170–176.

- Tramo MJ, Loftus WC, Stukel TA, Green RL, Weaver JB, Gazzaniga MS. 1998. Brain size, head size, and intelligence quotient in monozygotic twins. *Neurology*. 50, 1246–52.
- Vuori, I., Taimela, S., Kujala, U. 2005. Liikuntalääketiede. *Duodecim*. 16-17, 348-351.
- Waller K, Kaprio J, Kujala UM. Associations between long-term physical activity, waist circumference and weight gain: a 30-year longitudinal twin study. *Int J Obes (Lond)*. 2008 (32), 353–61.
- Waller, K. Kujala, UM., Rantanen, T., Kauppinen, M., Silventoinen, K., Koskenvuo, M. & Kaprio, J. 2010. Physical activity, morbidity and mortality in twins: a 24-year prospective follow-up. *European Jou of Epidemiology*. 25(10), 731-739.

Elektroniset lähteet:

Liikunta. 2012. Käypä hoito -suositus. Suomalaisen Lääkäriseuran Duodecimin ja Käypä hoito -johtoryhmän asettama työryhmä. Helsinki: Suomalainen Lääkäriseura Duodecim. kirjoitettu 8.11.2010. www.kaypahoito.fi. Viitattu 14.4.2016.

Aikuisten liikuntasuositukset. Käypä hoito –suositus.

<http://www.kaypahoito.fi/web/kh/suositukset/suositus?id=hoi50075>. Kirjoitettu 13.1.2016. Viitattu 25.4.2016.

Kuvalähteet:

KUVA 1. Ihmisen iso ja pieni verenkierto. [Humananatomybody.info](http://humananatomybody.info). Viitattu 14.4.2016

KUVA 2. Aivojen rakenne. http://images.slideplayer.biz/16/5159518/slides/slide_2.jpg. Viitattu 16.4.2016

KUVA 3. Aivo- ja selkäydinkalvot.

https://fi.wikipedia.org/wiki/Aivo_ja_selk%C3%A4ydinkalvot. By SEER development team. Viitattu 16.4.2016.

KUVA 4. Aivojen osat.

<https://peda.net/oppimateriaalit/eoppi/verkkokauppa/ihminen/aivot/aivojen-osia/a> Viitattu 16.4.2016.

KUVA 5. Aivolohkot ja aivokuoren alueet. <http://www.buzzle.com/images/diagrams/labeled-brain-diagrams/premotor-cortex-location.jpg>. Viitattu 26.4.2016.

KUVA 6. Isoaivokuori. Neurologiset tehtävät (Carter ym. 2010).

http://www.kvtietopankki.fi/application/files/6914/5319/7472/Kehitysvammaisuus_Aivokuori_II.JPG. Viitattu 16.4.2016.

KUVA 7. Aivo-selkäydinneste, Cerebrospinal fluid.

<http://www.educatehealth.ca/media/370449/1-lightbox-cerebrospinal%20fluid-definition-patient.png>. Viitattu 26.4.2016.

KUVA 8. Harmaa ja valkea aine isoaivoissa.

http://greatneck.k12.ny.us/gnps/shs/dept/science/krauz/bio_h/images/48_20VentriclesGrayWhite_L.jpg. Viitattu 26.4.2016.

