

**KÄVELYKYVYN JA KEUHKOFUNKTION YHTEYS 63-76-VUOTIAILLA
SUOMALAISILLA NAISILLA**

Maria Alaoja
Liikuntalääketieteen
Pro Gradu -tutkielma
Terveystieteiden laitos
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2005

TIIVISTELMÄ

Kävelykyvyn ja keuhkofunktion yhteys 63-76-vuotiailla suomalaisilla naisilla

Maria Alaoja

Jyväskylän yliopisto

Liikunta- ja terveystieteiden tiedekunta

Terveystieteiden laitos

Kevät 2005

47 sivua

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää kävelykyvyn ja keuhkojen toiminnan välistä yhteyttä 63-76-vuotiailla naisilla. Tutkimusaineisto on osa Finnish Twin Study on Aging (FITSA) -projektin aineistoa. Mittauksiin osallistui vuosina 2000-2001 Jyväskylän yliopiston Liikunta- ja terveyslaboratoriossa 434 kaksosnaista. Tässä työssä on analysoitu niiden naisten tulokset (N=351), jotka ovat suorittaneet sekä virtaus-tilavuusspirometriamittaukset (VC, FVC, FEV₁, FEV%, PEF) että 6 minuutin kävelytestin ja 10 metrin kävelyaikatestin. Lisäksi tutkittavana muuttujana on käytetty maksimaalista isometrista polven ojennusvoimaa.

Tutkittavia muuttujia kuvattiin keskiarvojen, keskihajontojen, luottamusvälien ja vaihteluvälien avulla. Jatkuvien muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimien avulla. Tutkittavat jaettiin tertiileihin erikseen kunkin virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan tuloksen perusteella. Lisäksi tutkittavat luokiteltiin kunkin muuttujan osalta ”sairaisiin” ja ”terveisiin” sen mukaan olivatko he puhaltaneet tuloksen, joka oli alle tai yli normaaliarvon alarajan. Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin yksisuuntaisen varianssianalyysin ja kovarianssianalyysin avulla. Lineaarista regressioanalyysiä käyttäen tutkittiin yksitellen kunkin keuhkofunktiomuuttujan selitysosuutta 6 minuutin kävelytestissä ja 10 metrin kävelyaajan testissä.

Kuuden minuutin kävelymatkan ja VC:n, FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n todettiin korreloivan keskenään (r=0.153 - 0.178). Myös 10 metrin kävelyaajan sekä VC:n, FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n todettiin korreloivan keskenään (r=-0.162 - -0.188). FEV%:n ja kävelytestien välillä ei todettu olevan yhteyttä. Kun kävelykyvyn ja keuhkofunktion yhteyttä tarkasteltiin ilman kovariaatteja, keskimäärin ylimpään virtaus-tilavuusspirometrialuokkaan kuuluneet tai terveiksi luokitellut henkilöt kävelivät pidemmän matkan 6 minuutin kävelytestissä ja heidän kävelyaikansa oli parempi 10 metrin kävelyaikatestissä kuin alimpaan ryhmään kuuluneilla tai sairaiksi luokitelluilla. Paremmen tuloksen spirometriassa puhaltaneilla myös maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima oli keskimäärin parempi kuin heikommin puhaltaneilla. Kun hengitysfunktioiden ja kävelymatkan tai kävelyaajan yhteyttä tarkasteltaessa otettiin kovariaateiksi ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima, tulokset eivät olleet tilastollisesti merkitseviä. Regressioanalyysissä selitettäessä kävelykykyä yhdellä ikä-vakioidulla spirometriamuuttujalla kerrallaan, spirometriatulosten osuus kävelymatkan (selitysosuus 2,9 - 3,9 %) ja kävelyaajan (selitysosuus 3,3 - 3,9 %) selittäjänä oli pieni.

Paremmiin virtaus-tilavuusspirometriassa puhaltaneet koehenkilöt kävelivät keskimäärin pitemmän matkan 6 minuutin aikana ja nopeammin 10 metrin matkan kuin heikommin puhaltaneet. Virtaus-tilavuusspirometriatulosten ja 6 minuutin aikana kävellyn matkan sekä 10 metrin kävelyaajan välinen yhteys selittyi kuitenkin pääosin muiden tekijöiden, kuten lihasvoiman kautta.

Avainsanat: keuhkofunktio, virtaus-tilavuusspirometria, 6 minuutin kävelytesti, maksimaalinen 10 metrin kävelyaika, lihasvoima, ikääntyminen

ABSTRACT

Association between walking ability and lung function among 63-76-year-old females in Finland

Maria Alaoja

University of Jyväskylä

Faculty of Sport and Health Sciences

Department of Health Sciences

Spring 2005

Master's Thesis in Sport and Exercise Medicine

47 pages

The purpose of this study was to investigate the association between walking ability and lung function among 63-76-year-old females. The data is part of the material of the Finnish Twin Study on Aging (FITSA). 434 twin females participated in examinations in 2000-2001 in the Sport and Health Laboratory of University of Jyväskylä. Those 351 women who performed flow-volume spirometry (VC, FVC, FEV₁, FEV%, PEF), 6 minute walking test and 10 meter walking test were included in this analysis. In addition maximal isometric muscle strength of the knee extensors was used as a covariate in the analyses.

First the results were described with means, standard deviations, confidence intervals and ranges. Pearson's correlation was used to describe the association between continuous variables. The subjects were classified into tertiles separately based on each flow-volume spirometry variable. Accordingly, a classification of "sick" and "healthy" subjects was determined based on whether the subject blew under or over the lower limiting value of normal. One-way ANOVA and analysis of covariance were used to examine differences between groups. Linear regression analysis was used to evaluate independent lung function variables explaining the variance in 6 minute as well as 10 meter walking test.

Six minute walking distance correlated with VC, FVC, FEV₁ and PEF ($r=0.153 - 0.178$). Maximal time of walking of 10 meters correlated with VC, FVC, FEV₁ and PEF ($r=-0.162 - -0.188$) as well. Results of FEV% did not correlate with walking test results. On average, when the association between walking ability and lung function was analyzed without covariates, participants who were classified to the highest tertiles based on flow-volume spirometry results or who were classified as healthy, walked longer distance in 6 minute walking test and faster in 10 meter walking test than participants who were classified to the lowest tertile or as sick. On average, participants who achieved better result in spirometry also had better maximal isometric muscle strength of the knee extensors than participants who had lower lung function results. When age, weight and maximal isometric muscle strength of the knee extensors were taken as covariates in analyzing the association between lung function and distance walked or time of walking, the results were no longer statistically significant. In regression analysis, when explaining walking ability with one age-adjusted spirometry variable at a time, the variance in distance walked (variance explained 2,9 - 3,9 %) and in time of walking (variance explained 3,3 - 3,9 %), that spirometry results explained was small.

In conclusion, participants who had better lung function walked longer distance in 6 minute and faster 10 meters than participants who had lower lung function test results. The relationship between flow-volume spirometry results and distance walked in 6 minute and speed of walking of 10 meters is however explained mainly through other factors, such as muscle strength.

Keywords: lung function, flow-volume spirometry, 6 minute walking test, 10 meter walking test, muscle strength, aging

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KEUHKOJEN TOIMINTA.....	2
2.1 Hengityselimistön anatomia ja fysiologia	2
2.2 Ikääntymisen vaikutus hengityselimistön toimintaan.....	4
2.3 Keuhkojen toimintakokeet.....	6
2.3.1 Virtaus-tilavuusspirometria ja PEF-mittaus.....	7
3 FYYSINEN SUORITUSKYKY	11
3.1 Fyysisen suorituskyvyn osa-alueet	11
3.2 Ikääntymisen vaikutus fyysiseen suorituskykyyn	12
3.3 Fyysisen suorituskyvyn mittaaminen	15
3.3.1 Kuuden minuutin kävelytesti	16
3.3.2 Kuuden minuutin kävelytestitulosta ennustavat tekijät	17
3.3.3 Maksimaalisen 10 metrin kävelynopeuden testi	18
3.3.4 Kävelynopeutta ennustavat tekijät	19
4 FYYSISEN SUORITUSKYVYN JA KEUHKOJEN TOIMINNAN YHTEYS.....	20
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT	22
6 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT	23
6.1 Tutkimusaineisto.....	23
6.2 Aineiston keruu.....	23
6.3 Aineiston analysointi	25
7 TULOKSET	27
7.1 Aineiston kuvaus	27
7.2 Virtaus-tilavuusspirometrian ja kuuden minuutin aikana kävellyn matkan yhteys	28
7.2.1 Kuuden minuutin aikana kävelty matka virtaus-tilavuusspirometriaterteileittäin ..	28
7.2.2 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien kuuden minuutin kävelytestin selitysosuudet lineaarisessa regressioanalyysissä	29
7.2.3 Kuuden minuutin aikana kävelty matka virtaus-tilavuusspirometriassa terveiksi ja sairaiksi luokitelluilla	30
7.3 Virtaus-tilavuusspirometrian ja maksimaalisen 10 metrin kävelyaajan yhteys	31
7.3.1 Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika virtaus-tilavuusspirometriaterteileittäin	32
7.3.2 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien maksimaalisen 10 metrin kävelyaajan selitysosuudet lineaarisessa regressioanalyysissä	33

7.3.3 Maksimaalinen 10 metrin kävely aika virtaus-tilavuusspirometriassa terveiksi ja sairaiksi luokitelluilla.....	34
8 POHDINTA.....	36
LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Ikääntyminen vaikuttaa useimpiin ihmisen elinjärjestelmiin niitä rappeuttavasti, mikä taas johtaa fyysisen suorituskyvyn heikkenemiseen ikääntyessä. Vaikka kävelyn ajatellaan olevan yksinkertainen prosessi, jonka suorittamiseen tarvitaan vain vähäistä huomion kiinnittämistä, on se todellisuudessa monimutkainen prosessi, johon osallistuvat useat fysiologiset elinjärjestelmät. Ehkä kaikkein tunnusomaisinta ikääntyvien ihmisten toiminnassa on liikkumisen hidastuminen. Erityisesti kävelynopeuden on todettu hidastuvan, nopeimmin 65-85-vuoden iässä. (Spirduso 1995.)

Kyky kävellä tietty etäisyys on nopea ja halpa fyysisen suorituskyvyn mittari. Kyky kävellä on myös tärkeä tekijä arvioitaessa elämänlaatua, koska se heijastaa kapasiteettia suorittaa päivittäisiä toimia. (Enright ja Sherrill 1998.) 12 minuutin kävelytesti esiteltiin vuonna 1968 fyysisen suorituskyvyn mittarina (McGavin ym. 1976). Myöhemmin todettiin, että kävelyaajan lyhentäminen kuuteen minuuttiin ei heikentänyt testin käytöstä saatavaa hyötyä (Butland ym. 1982). Kuuden minuutin kävelytestiä on käytetty useimmiten tutkittaessa tiettyä sairautta sairastavien fyysistä suorituskykyä, erityisesti sydän- ja hengityselinsairauksia sairastavilla, mutta suhteellisen terveitä henkilöitä ei ole juurikaan tutkittu. (Enright ja Sherrill 1998.)

Keuhkojen toiminta heikkenee iän mukana keuhkoissa ja rintakehässä tapahtuvien muutosten seurauksena, mikä asettaa haasteita keuhkotilavuuksille ja keuhkojen ventilaatiokapasiteetille (Folkow ja Svanborg 1993, Shephard 1997a, 103.) Ikääntymisen vaikutusten keuhkojen toimintaan on todettu rajoittuvan pääasiassa keuhkojen toimintaan maksimaalisessa rasituksessa (Spirduso 1995, 104). Siitä, onko keuhkojen toiminta fyysistä suorituskykyä rajoittava tekijä iäkkäillä, on tehty vähän tutkimuksia. Matalan uloshengityksen sekuntikapasiteetin (FEV_1) on todettu joissain tutkimuksissa olevan yhteydessä 6 minuutin aikana käveltyyn matkaan ja kävelynopeuteen (Enright ym. 2003). Toisissa tutkimuksissa 6 minuutin kävelymatkan alenemisen ei kuitenkaan ole todettu olevan yhteydessä FEV_1 -arvon muutokseen (Pinto-Plata ym. 2004).

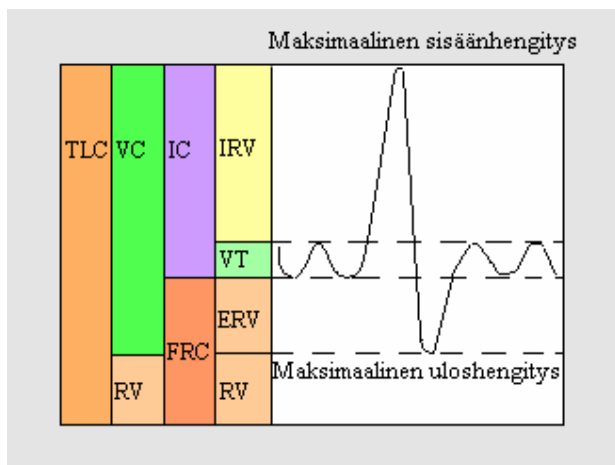
Tietämyksen lisääminen fyysisen suorituskyvyn ja keuhkofunktion välisestä yhteydestä ikääntyneillä on ikääntyvien määrän jatkuvasti kasvaessa tärkeää. Tämän työn tarkoituksena on tutkia kävelykyvyn ja keuhkojen toiminnan välistä yhteyttä 63-76-vuotiailla kaksosnaisilla.

2 KEUHKOJEN TOIMINTA

2.1 Hengityselimistön anatomia ja fysiologia

Hengityselimistö koostuu rintakehästä, palleasta, keuhkoista sekä suun ja nenänielun alueesta. Nenän, suuontelon ja nielun alueet kuuluvat ylähengitysteihin. Kurkunpää, henkitorvi ja keuhkoputket ovat alahengitysteitä. Hengitysteitä verhoaa limakalvo, jossa on runsas verenkierto. Ilma ohjataan keuhkoihin ja pois sieltä henkitorvea pitkin, joka on pitkä rustojen vahvistama putki. Henkitorvi jakaantuu keuhkoputkiin, jotka haarautuvat useita kertoja yhä pienempiin hengitysteihin. Hengitystiet päättyvät lopulta keuhkorakkuloihin eli alveoleihin. Haaroittumisen myötä hengitysteiden poikkipinta-ala kasvaa suureksi. Hengitysteiden tehtäviin kuuluvat hengitysilman puhdistaminen, lämmittäminen ja kostuttaminen. Nämä toiminnot tapahtuvat pääasiassa ylähengitysteissä. Lisäksi ylähengitysteiden pitää mukautua myös muihin tehtäviin, kuten nielemiseen, puhumiseen ja yskimiseen. (Haug ym. 1995, 342, Robergs 1997, 24, Sovijärvi ja Salorinne 2003, 143-144.)

Normaali keuhkojen koko määräytyy muun muassa iän, sukupuolen, kehon painon, pituuden, asennon, etnisen ryhmän, refleksitekijöiden sekä päivittäisen aktiviteettitason mukaan (Quanjer ym. 1993). Keskikokoisella henkilöllä keuhkot painavat noin 1 kg:n, ja keuhkojen pinta-ala on noin 60-80 m². Keuhkotilavuudet vaihtelevat 4-6 litran välillä, ja normaali hengitystiheys on noin 12 hengenvetoa minuutissa. (McArdle ym. 1994, 203, Haug ym. 1995, 342.) Keuhkotilavuudet voidaan jakaa staattisiin ja dynaamisiin tilavuuksiin (Quanjer ym. 1993). Keuhkotilavuudet ja -kapasiteetit on esitetty kuviossa 1.



Kuvio 1 Keuhkotilavuudet. Käyrä esittää tilavuutta aika-akselilla lepo hengityksen ja maksimaalisen sisään- ja uloshengityksen aikana. TLC = kokonaiskapasiteetti, VC = vitalikapasiteetti, RV = jäännöstilavuus, VT = lepo hengitystilavuus, FRC = toiminnallinen jäännöskapasiteetti, IC = sisäänhengityskapasiteetti, IRV = sisäänhengityksen varatila, ERV = uloshengityksen varatila (Sovijärvi ja Salorinne 2003, 148)

Keuhkojen pääasiallinen tehtävä on huolehtia hapen ja hiilidioksidin vaihtumisesta elimistön ja ulkoilman välillä. Tätä kutsutaan hengitykseksi. Keuhkoissa on yli 300 miljoonaa ohutseinäistä elastista keuhkorakkulaa, jotka mahdollistavat kaasujen vaihtumisen. Keuhkoissa tapahtuvassa kaasujen vaihtumisessa on useita vaiheita. Keuhkotuuletuksella eli ventilaatiolla tarkoitetaan ilman kulkua keuhkorakkuloihin ja takaisin. Ilma liikkuu aina matalamman paineen suuntaan. Keuhkotuuletuksen jälkeen ilmassa oleva happi siirtyy keuhkorakkuloista verenkiertoon ja kulkee veren mukana kudoksiin. Kudoksissa happi siirtyy hiussuonten seinämien läpi kudostenesteeseen ja solukalvojen läpi solujen sisään. Hiilidioksidi kulkee vastakkaiseen suuntaan samaa reittiä. Kaasujen vaihto keuhkorakkuloiden ja veren välillä perustuu kaasujen diffuusioon. Kaasujen vaihtoon osallistuva veri tulee sydämen oikean kammion pumpaamana keuhkovaltimosta ja poistuu keuhkolaskimoiden kautta sydämen vasemmalle puolelle. (McArdle ym. 1994, Haug ym. 1995, 203-204, 342-355, Robergs 1997, 24, Sovijärvi ja Salorinne 2003, 143-145.)

Hengityskaasut vaihtuvat respiratorisen pääteyksikön alueella, jonka muodostavat päätebronkioli ja siihen liittyvät keuhkorakkulat ja verisuonet. Verisolut viiptyvät kapillaarissa alveolin

ympärillä noin 0,75 sekuntia. Happi ehtii hyvin siirtyä terveestä alveolista noin 0,25 sekunnissa kapillaarivereen. Fyysisen rasituksen aikana veren ohikulkuaika vähenee, kun sydämen minuuttitulavuus kasvaa. Kaasujen vaihtumiseen vaikuttaa oleellisesti alveolin ja kapillaarin välinen osapaine-ero. (Sovijärvi ja Salorinne 2003, 148-149.)

Keuhkojen ventilaatiokykyyn vaikuttavat keuhkojen tilavuus, keuhkoputkiston läpimitta, hengitysteiden virtausvastus, keuhkorakkuloiden pintajännitys, rintakehän ja keuhkokudoksen venyvyys ja kimmoisuus sekä hengityslihasten toimintakyky (Haug ym. 1995, 350-353, Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 170). Sisäänhengityksessä kylkiluut ja rintalasta liikkuvat ylös- ja ulospäin, ja rintaontelo laajenee ilman virratessa keuhkoihin syntyneen alipaineen vuoksi. Pallea on tärkein sisäänhengityslihas. Levossa vain sisäänhengityslihakset toimivat aktiivisesti. Uloshengitys tapahtuu passiivisesti kimmovoimien palauttaessa rintakehän ja keuhkot alkupe räiseen tilavuuteen. Voimakas uloshengitys vaatii aktiivista uloshengityslihasten toimintaa. (McArdle ym. 1994, Haug ym. 1995, 348, Sovijärvi ja Salorinne 2003, 145-147.)

Hengityksen avulla pyritään pitämään verenkierrossa happipitoisuus, joka riittää aerobiseen aineenvaihduntaan, ja hiilidioksidipitoisuus, joka on solujen toiminnalle sopiva. Rytminen keuhkotuuletus tapahtuu automaattisesti, mutta hengityksen tiheyttä ja syvyyttä voidaan kuitenkin säädellä myös jossakin määrin tahdonalaisesti. Hengityksen säätely tapahtuu hermostollisen ja kemiallisen säätelyn avulla sekä venytykseen reagoivien keuhkojen aistinsolujen avulla. (Haug ym. 1995, 362-363, Sovijärvi ja Salorinne 2003, 154.)

2.2 Ikääntymisen vaikutus hengityselimistön toimintaan

On tärkeää erottaa itse ikääntymisen aiheuttamat muutokset ja ikään liittyvät muutokset. Ikään liittyvillä muutoksilla keuhkojen rakenteessa ja toiminnassa on valtava määrä erilaisia mahdollisia syitä. Erityisesti läntisissä väestöissä sairauksien aiheuttamat muutokset aiheuttavat enemmän hengityselimistön toiminnan heikkenemistä kuin itse ikääntyminen. Yksi tärkeimmistä syistä on tupakoiminen. Muita syitä hengityselimistön toiminnan heikkenemiselle iän lisääntyessä ovat aikaisemmat hengitystieinfektiot, yleinen ravitsemustila, ympäristön saasteet ja hengitysteiden lisääntynyt reaktioherkkyys ärsykeille. Hengityselimistö on enemmän kuin mitkään muut sisäelimet altistuneena ulkoisen ympäristön vaikutuksille. Tämän vuoksi on

vaikeaa jopa sairauden puuttuessa erottaa selvästi itse ikääntymisen fyysisten ja fysiologisten muutosten ja ympäristöstä elämän aikana sisäänhengitettyjen ärsykkeiden vaikutus hengityselimistön toiminnan heikkenemisessä. (Folkow ja Svanborg 1993, Connolly 2003, 489-490.)

Hengitysfunktiot heikkenevät ikääntyessä keuhkoissa ja rintakehässä tapahtuvien muutosten seurauksena. Ikääntyminen vähentää keuhkokudoksen ja rintakehän elastisuutta, mikä lisää hengitystyötä. Rintakehän lisääntynyt jäykkyys johtaa rintakehän liikkuvuuden heikkenemiseen lisäten hengityslihasten kuormitusta. Hengitysteiden vastus lisääntyy keuhkoputkien tuen vähetessä, keuhkoputkien värekarvojen toiminnan heiketessä ja limarauhasten määrän kasvaessa iän myötä. Näin ilmamäärä, joka voidaan tehokkaasti hengittää minuutissa, pienenee. Hengitystyö tietyllä rasiustasolla on ikääntyneillä korkeampi, ja se lisääntyy noin 3-5 % vuodessa. Keuhkorakkuloiden koko suurenee ja hiussuonet vähenevät iän myötä, mikä johtaa pienentyneeseen tehokkaaseen hengittävään pinta-alaan ja lisääntyneeseen kuolleeseen tilaan. (Estenne ym. 1985, Folkow ja Svanborg 1993, Spirduso 1995, 104, 107, Shephard 1997a, 103-106, Suominen 1997, 36-37, Janssens ym. 1999, Connolly 2003, 490, Kallinen 2003, 112.)

Hengitystapahtumaan osallistuvat lihakset heikkenevät iän myötä, jolloin hengitys tietyllä tasolla voi vaatia apuhengityslihasten mukaanottoa. Erityisesti hengityslihasten tyyppin IIA – lihassäikeet atrofoituvat, jolloin sekä hengityslihasten voima että kestävyys heikkenevät. Hengityksen kontrollointikyky sekä akuutin hengitysteiden supistuksen havainnointi ja liimanpoisto heikkenevät iän myötä. Tupakointi voi myös vaikuttaa hengitykseen lisäämällä hengitysteiden vastusta. (Chen ja Kuo 1989, Spirduso 1995, 107, Shephard 1997a, 108, Suominen 1997, 37, Connolly 2003, 490-491.)

Keuhkotilavuudet pienenevät asteittain iän mukana, vaikkakin useat keuhkotilavuudet muuttuvat hyvin vähän. Eniten keuhkotilavuuksista pienenevät vitaalikapasiteetti (VC), erityisesti nopea vitaalikapasiteetti (FVC) eli maksimaalinen ilmamäärä, joka voidaan hengittää ulos maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen, uloshengityksen sekuntikapasiteetti (FEV₁) eli ensimmäisen sekunnin aikana uloshengitetty ilmamäärä, uloshengityksen huippuvirtaus (PEF) ja maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio (MVV). FVC pienenee lineaarisesti suunnilleen 4-5 % vuosikymmenessä keskivertopopulaatiossa. Jännösilman tilavuus (RV) lisääntyy 20-70 ikävuoden välillä noin 50 %, ja samana aikana vitaalikapasiteetti pienenee noin 75 %:iin par-

haista arvoista. Nuorilla ihmisillä jäännösilman tilavuus on noin 20 % keuhkojen kokonaiskapasiteetista, kun se yli 60-vuotiailla on noin 40 %. FEV_1 / FVC-arvo eli FEV% pienenee suunnilleen 0,2 % vuodessa 40-45-vuoden iän 70 prosentista, ja se pienenee hitaammin iäkkäillä miehillä kuin naisilla. Lepotilanteessa kertahengitystilavuus (TV), toiminnallinen jäännöskapasiteetti (FRC), sisäänhengityksen jäännösilmatilavuus (IRV) sekä uloshengityksen jäännösilmatilavuus (ERV) pysyvät lähes muuttumattomina. (Ks. Taulukko 1 ja Kuvio 1) (Knudson ym. 1983, Johnson ym. 1991, McClaran ym. 1995, Spirduso 1995, 105-106, Shephard 1997a, 106-109, Suominen 1997, 37, Janssens ym. 1999, Connolly 2003, 490.)

Kaasujen vaihtuminen alveolien ja verisuonten välillä heikkenee iän myötä, kun taas keuhkopaine ja keuhkojen verisuonten vastus lisääntyvät. Keuhkotuuletus maksimaalisessa rasituksessa vähenee, ja se myös palautuu hitaammin iäkkäillä harjoittelemattomilla henkilöillä. Iäkkäiden henkilöiden minuuttiventilaatio levossa on samanlainen kuin nuoremmillakin, mutta iäkkäiden kertahengitystilavuus on pienempi ja hengitysfrekvenssi suurempi kuin nuorilla. Ikääntymisen vaikutukset hengityselimistöön eivät juuri vaikuta normaaliin lepo hengitykseen, vaan ne rajoittuvat pääasiassa hengityselimistön toimintaan maksimaalisessa rasituksessa ja äärimmäisissä olosuhteissa. Siitä, onko ikään liittyvä hengityselimistön toiminnan heikkeneminen fyysistä suorituskykyä rajoittava tekijä, on monenlaisia käsityksiä. Yleensä ikääntyneiden ajatellaan lopettavan fyysisen rasituksen johtuen sydämen maksimaalisen sykkeen rajoituksesta, mutta koska ikääntymismuutokset nostavat hengitystyön osuutta kulutettua happilitraa kohden, saavuttaa ikääntyvä hengenahdistuskynnyksensä nopeammin. Tämä hengenahdistus ja väsyminen voi olla syynä rasituksen lopettamiseen. (Shephard 1990, 9, Suominen 1992, 82, Spirduso 1995, 106-107, Suominen 1997, 37, Janssens ym. 1999, Kallinen 2003, 111-112.)

2.3 Keuhkojen toimintakokeet

Keuhkojen toimintakokeet ovat mittauksia, joiden avulla voidaan objektiivisesti selvittää keuhkojen toimintakapasiteetti sekä toimintahäiriön luonne ja vaikeusaste. Suurin osa keuhkojen toimintakokeista on noninvasiivisia, kuten spirometriatutkimus, jossa keuhkovolyymien muutokset mitataan suukappaleen avulla suun kautta. (Quanjer ym. 1993, Sovijärvi ja Piirilä 2003a, 167).

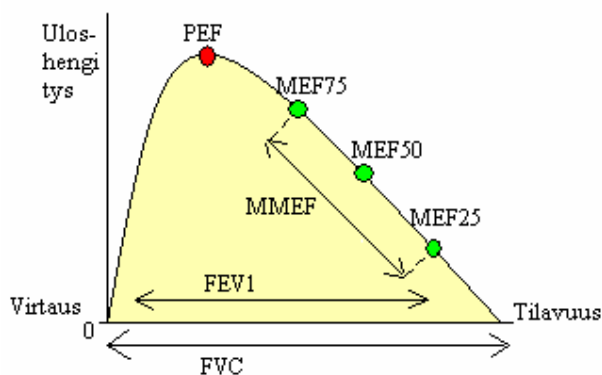
2.3.1 Virtaus-tilavuusspirometria ja PEF-mittaus

Spirometriatutkimusten avulla voidaan mitata keuhkojen tuuletuskykyä, toimintahäiriön luonnetta ja vaikeusastetta sekä toimintahäiriön palautuvuutta. Spirometriatutkimuksia käytetään keuhkosairauksien diagnostiikassa ja seurannassa, hengenahdistuksen syiden selvittelyssä, lääkityksen tehon arvioinnissa, työkyvyn ja haitta-asteen arvioinnissa, toimenpide- ja leikkaukelpoisuuden selvittelyssä sekä sydän- ja verenkiertoelimistön suorituskyvyn arvioinnissa. (Sovijärvi ja Piirilä 2003a, 167, Sovijärvi ym. 2004.) Tavallisen dynaamisen spirometrian tilalle on kliiniseen käyttöön tullut virtaus-tilavuusspirometria, jonka diagnostinen herkkyys on tavallista dynaamista spirometriaa parempi. Tilavuus-aika-akselin sijasta maksimaalinen puhallus rekisteröidään virtaustilavuuskoordinaatistossa. PEF-mittausta käytetään muun muassa astmadiagnostiikassa vuorokausivaihtelun arvioinnissa ja seurannassa, lääkehoidon tehon arvioinnissa, keuhkoputkiston altistuskokeissa sekä työkyvyn arvioinnissa. (Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 172-175.)

Tavallisimmat virtaus-tilavuusspirometriassa mitattavat suureet näkyvät taulukosta 1. Paras yksittäinen suure, joka kuvaa ventilaatiokykyä, on FEV₁. Keuhkojen toiminnallista tilavuutta ja hengityspalkeen liikkuvuutta kuvaa FVC. Lisäksi virtaus-tilavuusspirometriassa voidaan rekisteröidä muun muassa VC ja FEV%, joka kuvastaa uloshengitysvirtauksen helppoutta hengitysteissä. Puhalluskäyrästä voidaan katsoa myös PEF, MMEF₅₀, MEF₅₀ ja MEF₂₅. (Taulukko 1 ja Kuvio 2) (Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 171-173, Sovijärvi ym. 2004.)

Taulukko 1 Dynaamisen virtaus-tilavuusspirometrian tavallisimmat suureet (Sovijärvi ym. 2004, mukaeltu)

VC	=	hidas vitaalikapasiteetti
FVC	=	nopea vitaalikapasiteetti
FEV ₁	=	uloshengityksen sekuntikapasiteetti
FEV%	=	uloshengityksen sekuntikapasiteetin prosentuaalinen osuus hitaasta tai nopeasta vitaalikapasiteetista (FEV ₁ / VC x 100 tai FEV ₁ / FVC x 100)
PEF	=	uloshengityksen huippuvirtaus
MMEF	=	uloshengityksen keskivaiheen virtaus (kaksi keskimmäistä tilavuusneljänneistä FVC:stä)
MEF ₅₀	=	uloshengitysvirtaus uloshengitystilavuuden puolivälin kohdalla FVC:stä
MEF ₂₅	=	uloshengitysvirtaus viimeisen tilavuusneljänneksen kohdalla FVC:stä



Kuvio 2 Normaali virtaus-tilavuusspirometriakäyrä ja siitä mitattavat parametrit (Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 172, mukaeltu)

Maksimaalisen uloshengityksen alkuvaiheen virtausarvot, kuten PEF, ovat riippuvaisia lähinnä suurten hengitysteiden läpimitasta, puhallukseen käytetystä voimasta ja keuhkojen kimmoisuudesta. Kun noin 40 % tilavuudesta on puhallettu, alkaa lihasvoiman merkitys virtaukselle selvästi vähentyä, jolloin virtausarvot (esimerkiksi MEF₅₀ ja MEF₂₅) ovat riippuvaisia enimmäkseen keskisuurten ja pienten hengitysteiden läpimitasta sekä keuhkokudoksen kimmoisuudesta. (Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 172-173.)

Virtaus-tilavuusspirometriamittaus tehdään suun kautta hampaiden väliin asetettavan suukappaleen avulla. Nenä suljetaan nenänsulkijalla puhallusten ajaksi. Euroopan keuhkolääkäriyhdistyksen (European Respiratory Society) suositusten mukaan tutkittava istuu selkä suorana, ja asento sovitetaan siten, että etäisyys ja korkeus spirometriin nähden on sellainen, että ryhti ja kaulan asento pysyvät hyvänä puhaltamisen aikana. Puhallustekniikka demonstroidaan hyvin tutkittavalle, ja korostetaan, että tutkittavan tulee tehdä ensin maksimaalinen sisäänhengitys ja sitten mahdollisimman nopea ja täydellinen ulospuhallus. Mittauksessa pyritään puhaltamaan kolme yhdenmukaista käyrää. Koska suomalaiset viitearvot on tehty ns. verhoikäyrästä (myös European Respiratory Societyn mukainen), tulisi myös varsinaiset mittaukset tehdä käyttäen tätä menetelmää. Tutkittava puhaltaa peräkkäin useita maksimaalisia virtaus-tilavuuskäyriä niin, että ne rekisteröityvät piirturilla tai näyttöpäätteellä päällekkäin. Tulokset rekisteröidään suurimpien virtausten mukaisesta verhoikäyrästä, ja ne ilmoitetaan paitsi litroina myös prosentteina tutkittavan sukupuolen, iän ja pituuden mukaisista viitearvoista. (Quan-

jer ym. 1993, Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 173, Sovijärvi 2004.) Taulukosta 2 näkyy koehenkilöiden aikaisemmissa tutkimuksissa puhaltamia spirometria-arvoja.

Taulukko 2 Aikaisempien tutkimusten spirometriatuloksia suhteellisen terveillä iäkkäillä koehenkilöillä (keskiarvot)

Tutkijat	n	M/N	Ikä (v)	Spirometria
Enright ym. 2004	18526	9634/8892	20-90 ka 62	Miehet: FVC 3,58 L, FEV ₁ 2,48 L, FEV ₁ % ennustetusta 70 Naiset: FVC 2,55 L, FEV ₁ 1,89 L, FEV ₁ % ennustetusta 74
Knudson ym. 1983	28	0/28	≥70	FVC 2,47 L, FEV ₁ 1,87 L
Sherman ym. 1993	65	29/36	75±6	ATS:n standardien mukaan puhaltaneet (n=48): FVC 2,67 L, FEV ₁ 2,05 L, FVC % ennustetusta 96, FEV ₁ % ennustetusta 95, FEV ₁ / FVC 77 %

Mahdolliset spirometriamittauksen virhelähteet voidaan jakaa laitteistosta, tutkimuksen suorittajasta, tutkittavasta ja tulosten tulkitsijasta johtuviin virheisiin. Luotettavien tulosten saamiseksi on ennen puhallusten suorittamista varmistettava laitteiston toimintakuntoisuus ja kalibraatio. Mittauksen suorittajan tulee olla hyvin koulutettu tehtävään, ja hänellä tulee olla tietämys menetelmän mahdollisuuksista ja niistä virhelähteistä, joita siihen liittyy. Potilaasta johtuvia virheitä voivat olla muun muassa virheellinen puhallustekniikka, huono yhteistyöhalukkuus ja puhallusta häiritsevät oireet, kuten yskä tai rintakipu. Tulosten tulkitsijasta johtuvat virheet voivat liittyä esimerkiksi tulosten tulkitsijatekniikkaan, tiedon prosessointiin tietokoneella ja tiedonsiirtoon. (Järvinen ym. 1990, Quanjer ym. 1993, Sovijärvi ja Piirilä 2003b, 171, Sovijärvi ym. 2004.)

Spirometriatutkimusten toistettavuuden on todettu olevan hyvä (Pezzoli ym. 2003, Enright ym. 2004). Enrightin ym. (2004) tekemässä tutkimuksessa mitattiin 18 526:lta 20-90-vuotiaalta potilaalta FVC-, FEV₁- ja PEF-arvot. 90 % potilaista pystyi puhaltamaan kaksi korkeinta FEV₁-arvoa 120 ml:n sisälle, kaksi korkeinta FVC-arvoa 150 ml:n sisälle ja kaksi korkeinta PEF-arvoa 80 ml:n sisälle. Potilaiden sukupuolella, iällä, pituudella, tupakointitapsuksella ja FEV₁-arvolla (% ennustetusta) oli hyvin vähän vaikutusta toistettavuuteen. Edellä

luetellut tekijät selittivät vain 2-4 % toistettavuuden vaihtelusta. Näin ollen myös ikääntyneiden potilaiden mittausten toistettavuus on hyvä, kun mittaukset tekee hyvin koulutettu ja kokenut mittaaja käyttäen laadukkaita mittausvälineitä. Myös Pezzolin ym. (2003) tutkimuksessa suurin osa (81,8 %) tutkimukseen osallistuneista 715:sta 65-94-vuotiaasta koehenkilöstä pystyi suorittamaan spirometriamittaukset kansainvälisten suositusten mukaisesti. Iällä yksinään ei ollut vaikutusta spirometrian suorittamiseen, kuten ei myöskään Shermanin ym. (1993) tutkimuksen mukaan, mutta ikääntyneiden spirometrian suorittamiseen liittyi vaikeuksia, jos havaittiin kognitiivisen sekä toiminnallisen tason laskua tai jos tutkittavalla oli matala koulutustaso.

3 FYYSINEN SUORITUSKYKY

3.1 Fyysisen suorituskyvyn osa-alueet

Fyysisen suorituskyvyn osa-alueita ovat kestävyys, voima, nopeus, taito ja tekniikka sekä notkeus. Lisäksi muun muassa tasapainolla, psyykkisillä tekijöillä, taktiikalla ja rentoudella on merkitystä fyysisessä suorituksessa. Suorituskyvyn osa-alueiden keskinäinen tärkeys vaihtelee suorituksen laadun mukaan. Fyysiseen suorituskykyyn vaikuttavat muun muassa ikä, sukupuoli ja ruumiin koko. Lisäksi perimällä, harjoittelulla, elintavoilla, ravitsemuksella, terveydentilalla ja muilla yksilön elämään vaikuttavilla tekijöillä voi olla vaikutusta suorituskykyyn. (Vuori 1976, 10, 12, Häkkinen ym. 2004, 251, Mero 2004a, 241, Mero 2004b, 311, Mero ym. 2004, 293, Mero ja Helimäki 2004, 371, Mero ja Holopainen 2004, 364, Nummela 2004, 333.)

Taito ja tekniikka ovat urheilusuorituksen tärkeimpiä osatekijöitä. Taidon lajit voidaan jakaa yleistaitavuuteen ja lajikohtaiseen taitavuuteen. Lajikohtainen taitavuus voidaan jakaa vielä tekniikkaan ja tyyliin. (Mero 2004a, 241.) Notkeudella tarkoitetaan kehon nivelten liikelaa-juutta. Notkeus voidaan jakaa yleisnotkeuteen ja lajikohtaiseen notkeuteen. Notkeus vaikuttaa positiivisesti kestävyYTEEN, voimantuottoon, nopeuteen ja rentouteen kaikissa syklisesti toistuvissa lajeissa. (Mero ja Holopainen 2004, 364.)

KestävyYDEN synonyymeinä käytetään sydän- ja verenkiertoelimistön kuntoa, kestävyyskuntoa sekä aerobista kapasiteettia. Kestävyysominaisuudet voidaan jakaa aerobiseen kestävyYTEEN, jonka ala-lajit ovat perus-, vauhti- ja maksimikestävyys, sekä anaerobiseen kestävyYTEEN, jolla tarkoitetaan joko maitohappoa tuottavaa tai maitohappoa tuottamatonta nopeuskestävyyttä. KestävyYDEN mittarina käytetään yleisimmin maksimaalista hapenkulutusta eli sitä, kuinka monta litraa elimistö kykenee kuluttamaan happea minuutissa. (Oja 1999, 57, Kallinen 2003, 110, Nummela 2004, 315, Nummela ym. 2004, 336.)

Voiman lajit voidaan jakaa kesto-, maksimi- ja nopeusvoimaan. Lihaksen supistuminen jaetaan isometriseen ja dynaamiseen lihassupistukseen. Dynaaminen lihassupistus voidaan jakaa vielä konsentriseen ja eksentriseen lihassupistukseen. Lihasten kyky tuottaa voimaa on tärkeä toimintakykyyn yhteydessä oleva tekijä (Häkkinen 1990, 22, Oja 1999, 60-67, Sipilä ja Ran-

tanen 2003, 108, Häkkinen ym. 2004, 251). Nopeudella tarkoitetaan kykyä reagoida ärsykeeseen ja tuottaa tietty yksittäinen tai jatkuva liikesuoritus mahdollisimman lyhyessä ajassa. Nopeus voidaan jakaa reaktionopeuteen, räjähtävään nopeuteen ja liikkumisnopeuteen. Kyky tuottaa nopeasti voimaa on merkityksellistä muun muassa kävelynopeudessa. (Korhonen 2003, 117, Mero ym. 2004, 293.) Tasapainolla, koordinaatiolla ja asennon hallinnalla on myös tärkeä merkitys fyysisen suorituskyvyn kannalta (Oja 1999, 66-67).

3.2 Ikääntymisen vaikutus fyysiseen suorituskykyyn

Vanhenemiselle on tunnusomaista eri elinten ja elinjärjestelmien rakenteen ja toiminnan asteittainen heikkeneminen. Monet muutokset ihmisen elimissä ja elinjärjestelmissä eivät kuitenkaan johdu pelkästään sisäisistä ikääntymisprosesseista, vaan vaihtelevassa määrin ikään liittyvistä sairauksista, fyysisen aktiivisuuden vähenemisestä ja ulkoisista tekijöistä. Iän tuomien muutosten myötä elimistön toimintakyky heikkenee. Tämä tulee selvimmin esille fyysisissä ja psyykkisissä kuormitustilanteissa. Tällainen tilanne on esimerkiksi liikunta, joka kuormittaa sekä hengitys- ja verenkiertoelimistöä, tuki- ja liikuntaelimistöä, aineenvaihduntaa että hermostollisia ja hormonaalisia säätelyjärjestelmiä. (Shephard 1997a, 59, Suominen 1997, 17, Masoro 2003, 94-95.)

Fyysiseen suorituskykyyn vaikuttavat vanhenemisen ja liikunnan aiheuttamat muutokset kehon rakenteessa ja koostumuksessa. Pituus vähenee iän myötä, yli 60-vuotiailla keskimäärin jo noin 2 cm kymmenessä vuodessa johtuen muun muassa asennon ja ryhdin muutoksista, luiden kalkkikadosta sekä nikamavälilevyjen kokoonpuristumisesta ja nikamia tukevien nivelsiteiden löystymisestä. Naisten pituus vähenee nopeammin kuin miesten johtuen pääasiassa luun menetyksen ja osteoporoottisten muutosten kiihtymisestä vaihdevuosi-iässä. Iän myötä kehon paino alkaa yleensä lisääntyä 25. ikävuoden tienoilla ja lisääntyminen jatkuu 50-60-vuotiaaksi asti. Rasvakudoksen lisääntyminen voi jatkua vielä tämän jälkeenkin, mutta kehon paino ei enää välttämättä lisäännä, koska lihaskudoksen, muiden proteiinien ja luiden mineraalien määrä vähenee. 70-ikävuoden jälkeen kehon paino yleensä kääntyy laskuun kudossmassan vähenemisen johdosta. Muutos on keskimäärin 2-3 kg vuosikymmenessä. Kehon koostumuksen muutokset ikääntyessä ovat ainakin osittain yhteydessä fyysisen aktiivisuuden

väheneeseen. (Spirduso 1995, 58, Shephard 1997a, 61-62, 70, Suominen 1997, 17-19, Masoro 2003, 95-96, Suominen 2003a, 88-89.)

Hengitys- ja verenkiertoelimistön toimintakyky heikkenee iän myötä. Aerobinen suorituskyky heikkenee niin, että 65 vuoden iässä se on heikentynyt noin 35 %. Osa tästä heikkenemisestä voi johtua fyysisen aktiivisuuden väheneemisestä iän myötä. (Mc Ardle ym. 1994, 511, Masoro 2003, 96.) Maksimaalinen hapenottokyky heikkenee noin 30 vuoden iästä lähtien 5-22 % kymmenessä vuodessa, keskimäärin yhden prosentin vuodessa. Maksimaalisen hapenkulutuksen heikkeneminen johtuu sydämen pumppaustehon eli sekä iskuvolyymien että maksimisyykkeen alenemisesta, ja lihasten hapenkulutuksen väheneemisestä. Flegin ja Lakattan (1988) mukaan ainakin puolet ikään liittyvästä maksimaalisen hapenottokyvyn heikkenemisestä selittyy lihasmassan väheneemisellä, koska melkein kaikki kulutettu happi maksimaalisessa aerobisessa rasituksessa käytetään työskentelevissä lihaksissa. Iän mukana myös sydänlihaksen supistusvoima alenee, kuten myös maksimisyyke keskimäärin 5-10 lyöntiä minuutissa 10 vuodessa. Sydämen sykkeen kohoaminen ja hapenoton lisääntyminen rasituksen alussa hidastuvat. Sydämen syke pysyy maksimaalisen rasituksen jälkeen korkealla pitempään ja palautuminen rasituksesta hidastuu. Sydämen kammioissa voidaan nähdä laajenemista ja kammioiden seinämissä paksuuntumista. Valtimoiden seinämien jäykistyminen on myös tyypillinen vanhenemiseen liittyvä ilmiö. Tämä lisää verenkierron ääreisvastusta, verenpainetta ja sydämen jälkikuormaa (vasemman kammion supistumis- ja tyhjenemisvastusta). (Spirduso 1995, 96, 99-102, Shephard 1997a, 86-88, Shephard 1997b, 79, Suominen 1997, 38, Kallinen 2003, 111-113.)

Maksimaalisella hapenkulutuksella ja sen heikkenemisellä on selkeä yhteys moniin fyysistä ponnistelua edellyttäviin päivittäisiin toimintoihin. Keskimäärin ihmiset väsyvät, jos heidän täytyy ylläpitää harjoitusta pitkän ajan yli 33-50 %:n teholla maksimaalisesta hapenottokyvystä. Siten ikääntyminen asteittain heikentää kykyä suoriutua normaaleista päivittäisistä toiminnoista. (Shephard 1997b, 81, Suominen 1997, 40.) Maksimaalinen hengityskapasiteetti 80-vuotiaana on noin 40 % 30-vuotiaan arvoista (McArdle ym. 1994, 508). Muista hengityselimistössä iän mukana tapahtuvista muutoksista on kerrottu kappaleessa 2.2 Ikääntymisen vaikutus hengityselimistön toimintaan.

Ikääntymisen myötä tuki- ja liikuntaelimistön kunto heikkenee. Luumassa vähenee ikääntyessä, jolloin elimistö tulee alttiimmaksi luunmurtumille. Iän mukana tapahtuu nivelten mekaani-

sia ominaisuuksia heikentäviä muutoksia. Rustokudoksen joustavuus vähenee, ja sen vetojäykkyys ja murtumalujuus heikkenevät. Nivelet jäykistyvät ja liikkuvuus vähenee johtuen pehmeiden kudosten, nivelsiteiden, lihasten ja jänteiden muutoksista. Ikääntyessä lihasten koko pienenee ja hermotus heikkenee. Lihaskudoksen määrä vähenee, ja hävinnyt lihaskudos korvautuu ainakin osittain rasvalla ja sidekudoksella. Lihasadrofia näkyy solutasolla lihassolujen poikkipinta-alan sekä lukumäärän vähenemisenä. Ilmeisesti myös lihassolujakaumassa tapahtuu muutoksia. Iäkkäillä ihmisillä hitaiden lihassolujen suhteellinen osuus on suurempi kuin nuorilla. Tämä voi johtua siitä, että toimiva, yleensä hitaita lihassoluja hermottava liikehermosolu alkaa hermottaa nopeita lihassoluja, joiden oma liikehermosolu on kuollut. Tämän seurauksena toimivien motoristen yksikköjen lukumäärä vähenee ja niiden koko suurenee. Lihasmassan ja -rakenteen muutokset heikentävät lihasten suorituskykyä vanhetessa. (McArdle ym. 1994, 510, Spirduso 1995, 70, 77, 85-86, 128, Shephard 1997a, 71-85, Shephard 1997b, 81-83, Suominen 1997, 20-22, 24-30, Masoro 2003, 97, Sipilä ja Rantanen 2003, 101-104, Suominen 2003b, 94-96.)

Vähentynyt lihasmassa on pääasiallinen syy ikään liittyvään lihasvoiman vähenemiseen. Lihasten kestovoima, kuten myös maksimi- ja nopeusvoimakin heikkenevät iän myötä (Häkkinen 1990, 177-185, Spirduso 1995, 128). Lihasvoima alkaa heikentyä 50. ikävuoden jälkeen noin 1 %:n vuosivauhtia kiihtyen niin, että 65. ikävuoden jälkeen se heikkenee noin 1,5-2 % vuodessa. (McArdle ym. 1994, 510, Shephard 1997b, 81, Sipilä ja Rantanen 2003, 103). Isometrisen ja dynaamisen lihasvoiman heikkenemisen lisäksi ikääntyminen heikentää lihasten nopeaa voimantuottoa, jolloin nopeaa voimantuottoa vaativista tehtävistä selviytyminen vaikeutuu. Nopeusvoima heikkeneekin ikääntymisen myötä enemmän kuin maksimivoima. (Häkkinen 1990, 182-183, Korhonen 2003, 119, Sipilä ja Rantanen 2003, 104, Häkkinen ym. 2004, 252.) Alavartalon lihasvoima heikkenee iän myötä nopeammin kuin ylävartalon, ja toiminnalliset muutokset lihasvoimassa näkyvät selkeämmin alaraajoissa kuin yläraajoissa (Spirduso 1995, 125, Shephard 1997b, 83, Häkkinen ym. 2004, 252). Basseyy ym. (1992) toteivat jalkojen dynaamisen ojennustehon olevan yhteydessä kävelynopeuteen 80-99-vuotiailla naisilla ja miehillä.

Liikkuminen edellyttää lihasvoimaa, mutta myös riittävää tasapainoa (Rantanen ja Sakari-Rantala 2003b, 281). Tasapainon hallintaa vaikeuttavat erityisesti alaraajojen voiman väheneminen sekä voimantuotto- ja reaktionopeuden heikkeneminen. Myös näön, kuulon sekä asento- ja liikeaistiin liittyvien reseptorien toiminnan heikkenemisen on todettu haittaavan

tasapainon säilyttämistä. (Spirduso 1995, 160-167, 186, Shephard 1997a, 120-126, Pajala ym. 2003, 123-125.) Ikääntymisen vaikutukset keskushermoston toimintaan johtavat selkäytimen aksonien vähenemiseen 37 %:lla ja hermojen johtumisnopeuden hidastumiseen 10 %:lla. Keskushermoston toiminnan hidastuminen ilmenee muun muassa reaktio- ja liikenopeuden hidastumisena. (McArdle ym. 1994, 510, Rantanen ja Sakari-Rantala 2003a, 109.)

Ilmeisesti suuri osa kävelyssä iän mukana tapahtuvista muutoksista, kuten kävelynopeuden hidastuminen ja askelten lyheneminen, johtuvat pyrkimyksestä vähentää tasapainoa ylläpitävien järjestelmien kuormitusta (Rantanen ja Sakari-Rantala 2003b, 281). Kävelynopeuden on todettu hidastuvan asteittain iän myötä niin, että hidastuminen nopeutuu erityisesti 65-85 ikävuoden välillä. Kävelynopeus hidastuu enemmän naisilla kuin miehillä. Kaatumisen ehkäisemiseksi kävelyasento on usein etukumara, mikä johtaa aikaisempaan väsymiseen, pienentyneeseen nivelten liikkeeseen ja pienentyneeseen askel- ja kävelynopeuteen. (Ostrosky ym. 1994, Spirduso 1995, 169.) Jyväskylässä vuosien 1988-1998 välillä toteutetun Ikivihreät -projektin tutkimuksissa havaittiin, että itse ilmoitettua väsymistä, hidastumista tai avun tarvetta ilmaantui viidessä vuodessa ulkona liikkumiseen 60 %:lle ja portaiden nousuun 48 %:lle 75-vuotiaista jyväskyläläisistä naisista, joilla ei alun perin ollut vaikeuksia näissä toiminnoissa. Usein vaikeuksia ilmaantui niille, jotka saivat tutkimuksen alussa huonon tuloksen kävelynopeusmittauksessa. Kävelynopeus hidastui kymmenessä vuodessa naisilla n. 33 %. (Rantanen ja Sakari-Rantala 2003a, 104-105.)

3.3 Fyysisen suorituskyvyn mittaaminen

Fyysistä suorituskykyä voidaan mitata usealla eri tavalla. Osa mittauksista antaa hyvin perusteellista ja monimuotoista tietoa fyysisen suorituskyvyn eri osa-alueista ja vaatii monimutkaista teknologiaa, kun taas toiset tuottavat perusinformaatiota yksinkertaisella teknologialla ja helpolla tavalla suorittaa testit. Suosituttuja kliinisiä fyysisen suorituskyvyn testejä ovat esimerkiksi portaiden nousu, 6 minuutin kävelytesti ja sukkulakävelytesti. (American Thoracic Society 2002.)

3.3.1 Kuuden minuutin kävelytesti

Kävely on aktiviteetti, jota suorittavat päivittäin kaikki paitsi vakavimmin sairaat ihmiset. Kävelykyky on tärkeä elämänlaatua mittaava tekijä, koska se heijastaa kykyä suoriutua oma-toimisesti päivittäisistä aktiviteeteista. Kuuden minuutin kävelytesti on käytännöllinen ja yksinkertainen testi, jonka suorittamiseen vaaditaan 30 metriä pitkä käytävä. Testissä mitataan etäisyys, jonka testattava pystyy kävelemään nopeasti tasaisella käytävällä 6 minuutin aikana. Kuuden minuutin kävelytestin voivat suorittaa myös monet iäkkäät, heikot ja vakavastikin rajoittuneet potilaat, joita ei voida testata maksimaalisella polkupyöraergometristillä tai kävelymattotestillä (Enright ja Sherrill 1998, American Thoracic Society 2002). Kuuden minuutin kävelytestiä käytetään yleisimmin mittaamaan lääketieteellisten interventioiden vaikutusta potilailla, joilla on lievä tai vaikea sydän- tai verenkiertoelimistön sairaus. Testiä käytetään myös yksittäisenä mittauksena arvioitaessa potilaan toimintakykyä ja sairastuvuus- tai kuoleisuusriskiä. (American Thoracic Society 2002.)

Kuuden minuutin kävelytesti arvioi laajasti eri elinjärjestelmien toimintaa rasituksessa. Testin avulla voidaan arvioida muun muassa hengitys- ja verenkiertoelimistön, systeemisen ja ääreisverenkierron, neuromuskulaaristen yksiköiden sekä lihasten aineenvaihdunnan vasteita rasitukseen. Testi arvioi submaksimaalista toiminnallisen kapasiteetin tasoa. Useimmat testattavat eivät saavuta testissä maksimaalista rasituskapasiteettiaan, vaan he voivat itse valita rasituksen intensiteetin ja voivat tarvittaessa pysähtyä tai levätä testin aikana. (Troosters ym. 1999, American Thoracic Society 2002.) Testi ei anna spesifistä tietoa rasitukseen osallistuvien yksittäisten elinten toimintakyvystä tai niiden rajoituksista, kuten maksimaalinen sydän- ja verenkiertoelinten kuormittavuudesta. (American Thoracic Society 2002.) Kuuden minuutin kävelytesti on todettu luotettavaksi, turvalliseksi ja halvaksi testausmenetelmäksi (Butland ym. 1982, Redelmeier ym. 1997).

Tutkimusten mukaan 6 minuutin aikana kävelty matka vaihtelee suuresti yksilöittäin (Taulukko 3). Pienimmän kliinisesti merkitsevän eron 6 minuutin kävelytestissä on arvioitu olevan toisten lähteiden mukaan 30 metriä (Guyatt ym. 1987), kun taas toisten lähteiden mukaan pienin merkitsevä kävelymatkan lisäys suhteessa potilaan subjektiivisesti havaitsemaan kävelykyvyn paranemisen tunteeseen on 54 metriä (Redelmeier ym. 1997).

Taulukko 3 Kuuden minuutin kävelytestissä kävelty matka (m) suhteellisen terveillä koehenkilöillä aikaisemmissa tutkimuksissa

Tutkijat	n	M/N	Ikä (v)	6 minuutin aikana kävelty matka
Enright ja Sherrill 1998	290	117/173	61 (40-80)	Miehet: md 576, CI 399-778 Naiset: md 494, CI 310-664
Hulens ym. 2003	82	0/82	39±12	Laihat naiset: ka 722±64
Steffen ym. 2002	96	37/59	73±8	Miehet: 60-69 v: ka 572, CI 521-623, 70-79 v: ka 527, CI 478-575, 80-89 v: ka 417, CI 356-478 Naiset: 60-69 v: ka 538, CI 497-579, 70-79 v: ka 471, CI 440-507, 80-89 v: ka 392, CI 345-440
Troosters ym. 1999	51	29/22	65±10	ka 631±93, vaihteluväli 383-820, naisilla keskimäärin 84 m vähemmän

ka = keskiarvo

md = mediaani

CI = 95 % luottamusväli

3.3.2 Kuuden minuutin kävelytestitulosta ennustavat tekijät

Antropometristen tekijöiden, kuten iän, sukupuolen, pituuden ja painon on todettu vaikuttavan itsenäisesti 6 minuutin kävelymatkan pituuteen (Enright ja Sherrill 1998, Troosters ym. 1999, American Thoracic Society 2002). Kuuden minuutin kävelytestillä on korkea korrelaatio työn kuorman, sydämen sykkeen, happisaturaation ja hengenahdistusvasteen kanssa verrattuna standardeihin polkupyöräergometri- ja kävelymattotesteihin. Todennäköisesti harjoittelutavoilla, hengitys- ja verenkiertoelimistön kunnolla sekä tuki- ja liikuntaelimistön ongelmilla on myös vaikutusta tulokseen. (Enright ja Sherrill 1998.)

Kuuden minuutin kävelytestissä käveltyä matkaa vähentävät useat sairaudet, kuten ahtauttavat keuhkosairaudet, sydämen vajaatoiminta, nivelrikko ja neuromuskulaariset sairaudet. Ylipaino lisää työkuormaa harjoituksessa johtaen todennäköisesti lyhyempään kävelymatkaan erityisesti naisilla. (Enright ja Sherrill 1998.) Enrightin ym. (2003) tutkimuksessa korkean iän, suuren vyötärönympärysmittan, heikon käden puristusvoiman, masennusoireiden sekä alentuneen henkisen tilan todettiin korreloivan lyhyen 6 minuutin kävelytestituloksen kanssa. Yksittäisiä sairaus- tai riskitekijöitä lyhyempään kävelymatkaan olivat myös matala nilkasta mitattu verenpaine, ACE-estäjien käyttö, nivelrikko, korkea C-reaktiivisen proteiinin pitoisuus, ko-

honnut diastolinen verenpaine ja matala FEV₁ naisilla. Yhteydessä lyhyeen 6 minuutin kävelytestitulokseen todettiin olevan myös päivittäisen toimintakyvyn heikkeneminen, itse raportoitu huono terveys, alhainen koulutustaso, ei-valkoinen rotu, aikaisemmat sydän- ja verenkiertoelimistön sairaudet, halvaukset ja diabetes.

Yli 85-vuotiaiden lyhyemmän kävelytestimatkan aiheuttaa todennäköisesti ikääntyessä normaalisti tapahtuva lihasmassan ja -voiman asteittainen väheneminen. Suurempi pituus taas aiheuttaa pidemmän askelpituuden, joka tekee kävelystä tehokkaamman johtaen todennäköisesti siihen, että miehet kävelevät pitemmän matkan kuin naiset 6 minuutin kävelytestissä. (Enright ym. 2003.)

Kävelykyky voi alentua ylipainoisilla epäsuorien seurausten, erityisesti mekaanisten komplikaatioiden, kuten jalkojen, nilkkojen, polvien, lonkkien tai alaselän nivelrikon, ihon hankauksen, suonikohjujen tai virtsainkontinenssin seurauksena (Hulens ym. 2003). Hulens ym. (2003) totesivat tutkimuksessaan, että sairaalloisen lihavat naiset (N=133) kävelivät merkittävästi hitaammin kuin lihavat tai laihat naiset. Kuuden minuutin aikana kävelty matka oli lihavilla naisilla keskimäärin 131,0 metriä ja sairaalloisesti lihavilla naisilla jopa 183,4 metriä vähemmän kuin laihoilla kontrollihenkilöillä. (Taulukko 3) Ylipainoiset naiset olivat myös rasittuneempia ja kärsivät useammin hengenahdistuksesta sekä tuki- ja liikuntaelinten vaivoista kuin laihat kontrollihenkilöt 6 minuutin kävelytestin lopussa. Usean selittävän muuttujan regressioanalyysissä 59 % ylipainoisten naisten kävelymatkan vaihtelusta selittyi yksistään kehon BMI:llä. 75 % kävelyetäisyyden vaihtelusta selittivät kehon BMI, huippuhapenkulutus, quadriceps-lihaksen voima, ikä, TV:n katseluun käytetty aika sekä urheilun harrastaminen.

3.3.3 Maksimaalisen 10 metrin kävelynopeuden testi

Kävelynopeus on iäkkäillä ihmisillä hyvä toimintakyvyn mittari. Kävelynopeuden mittaamiseen tarvitaan vain sekuntikello ja rauhallinen käytävä tai huone. Maksimaalisen 10 metrin kävelynopeuden testissä koehenkilö kävelee niin nopeasti kuin mahdollista. Kävely aloitetaan muutama metri ennen aloitusviivaa, josta ajanotto alkaa. (Rantanen ja Sakari-Rantala 2003a, 105.) Tutkimusten mukaan nopea kävelynopeus vaihtelee iäkkäillä naisilla välillä 0,84-2,1 metriä/sekunnissa (Steffen ym. 2002). (Taulukko 4)

Taulukko 4 Maksimaalinen kävelynopeus (m/s) suhteellisen terveillä koehenkilöillä aikaisemmissa tutkimuksissa

Tutkijat	n	M/N	Ikä (v)	Maksimaalinen kävelynopeus
Bohannon 1997	78	40/38	Miehet: 66/73 Naiset: 65/73	Miehet: 60-69 v: ka 1,93, 70-79 v: ka 2,08 Naiset: 60-69 v: ka 1,77, 70-79 v: ka 1,75
Sakari-Rantala ym. 1998	500	164/336	Miehet: 75/80 Naiset: 75/80	Miehet: 75 v: ka 1,78±0,51, 80 v: ka 1,48±0,54 Naiset: 75 v: ka 1,48±0,36, 80 v: ka 1,27±0,33
Steffen ym. 2002	96	37/59	73±8	Miehet: 60-69 v: ka 2,05, CI 1,89-2,22, 70-79 v: ka 1,83, CI 1,58-2,09, 80-89 v: ka 1,65, CI 1,45-1,85 Naiset: 60-69 v: ka 1,87, CI 1,73-2,00, 70-79 v: ka 1,71, CI 1,63-1,84, 80-89 v: ka 1,59, CI 1,43-1,74

ka = keskiarvo

CI = 95 % luottamusväli

3.3.4 Kävelynopeutta ennustavat tekijät

Iän, sukupuolen, pituuden ja alaraajojen lihasvoiman on todettu olevan maksimaaliseen kävelynopeuteen vaikuttavia tekijöitä (Himann ym. 1988, Bohannon 1997). Bendallin ym. (1989) tutkimuksessa normaalin kävelynopeuden todettiin olevan positiivisesti yhteydessä myös totuttuun päivittäiseen askelmäärään sekä aktiiviseen vapaa-aikaan käytettyyn aikaan, ja negatiivisesti terveysongelmiin, kuten alaraajakipuun naisilla. 42 % naisten kävelynopeuden vaihtelusta voitiin selittää koehenkilön pituudella, pohjelihasten voimalla, askelmäärällä ja liikumisrajoittavilla alaraajakivuilla. Kävelynopeuden todettiin heikentyvän ikääntyessä noin 0,7 % vuodessa.

Normaalin kävelynopeuden on todettu hidastuvan naisilla iän myötä noin 7-12 % vuosikymmenessä (Himann ym. 1988, Bendall ym. 1989). Terveysongelmien on todettu vaikuttavan kävelynopeuteen, mutta rintakivulla ja hengästyneisyydellä ei ole todettu olevan vaikutusta (Bendall ym. 1989). Ostrosky ym. (1994) totesivat vanhempien koehenkilöiden polven ojennusliikelaajuuden ja askelpituuden olevan pienempiä verrattuna nuorempiin koehenkilöihin.

4 FYYSISEN SUORITUSKYVYN JA KEUHKOJEN TOIMINNAN YHTEYS

Kuormituksen vaikutuksesta hengitystiet laajenevat ja hengitys tehostuu. Kuormituksessa kertahengityksen tilavuus nousee helposti lepotilan noin 500 millilitrasta yli kahteen litraan, mutta ylittää harvoin 65 % vitaalikapasiteetista. Keuhkotuuletus kasvaa kuormituksen aikana suorassa suhteessa elimistön energiantarpeeseen ja samassa tahdissa kuorman lisääntymisen kanssa. Matalilla kuormitustasoilla keuhkotuuletus lisääntyy pääasiassa hengitystilavuutta kasvattamalla, kovassa kuormituksessa lisääntyy myös hengitysfrekvenssi. (Uusitalo-Koskinen 2003, 612-613, Keskinen 2004, 76-77.)

Hengitystoiminnasta huolehtivat kudokset tarvitsevat energiaa, kuten kaikki muutkin kudokset. Suurin osa niiden tarvitsemasta energiasta käytetään hengityselimissä (pallea-, vatsa- ja kylkiluulihaksissa) keuhkotuuletuksen aikaansaamiseksi. Hengityselimien on arvioitu käyttävän levossa vain noin 2 %, mutta äärimmäisessä rasituksessa jopa yli 15 % elimistön kokonaisenergiankulutuksesta. Yleensä kovankaan fyysisen kuormituksen aikana keuhkotuuletuksen riittävyyden ei ole todettu olevan merkittävä suorituskykyä rajoittava tekijä, vaikka hengityselimien kyky huolehtia keuhkotuuletuksen jatkuvasta lisäämisestä jossakin kuormituksen vaiheessa loppuukin. Pitkäaikaisissa kovatehoisissa suorituksissa sen sijaan ongelmana voi olla energian riittävyys, koska hengityselimien väsyvät muiden lihasten tavoin glykogeenin loppuessa. (Keskinen 2004, 77.)

Kyky liikuttaa ilmaa nopeasti ulos ja sisään keuhkoista on välttämätöntä normaalille aktiiviteetille (Quanjer ym. 1993). Hengityselimistön toiminnan on todettu olevan harvoin terveillä ihmisillä fyysistä suorituskykyä rajoittava tekijä. Keuhkosairailta sen sijaan näin on useinkin. (Uusitalo-Koskinen 2003, 611.) Vaikka keuhkotuuletus ja ilmatiet eivät olekaan suoritusta rajoittavia tekijöitä normaaleilla terveillä ihmisillä, nousee keuhkotuuletuksen volyymi kovatehoisissa urheilupäiväsuorituksissa niin suureksi, että pienikin vastuksen lisääntyminen ilmasteissä aiheuttaa energiankulutuksen lisääntymisen haitalliselle tasolle. Vastuksen lisääntyminen voi johtua esimerkiksi astmasta. (Keskinen 2004, 77.) Keuhkojen tilavuuden pieneneminen tai hengitystoiminnan heikkeneminen aiheuttaa yleensä hengästyminen ja vähentää fyysisen suorituskyvyn kapasiteettia. Hengityksen heikkeneminen voi johtua muutoksista hermojärjestelmässä, tuki- ja liikuntaelimissä, ihossa ja ihonalaisissa kudoksissa, keuhkoissa tai sisäänhen-

gitetyssä kaasussa. Yleisin syy on kuitenkin ilmatiehyeiden kapeneminen. (Quanjer ym. 1993.)

Tutkimustulokset 6 minuutin aikana kävellyn matkan ja keuhkojen toiminnan yhteydestä ovat ristiriitaisia. Joidenkin tutkimusten mukaan FVC- ja FEV₁-arvon sekä 6 minuutin kävelytestissä kävellyn matkan välillä on yhteys, mutta toisten tutkimusten mukaan ei. (Taulukko 5) Loppuvaiheen keuhkosairautta sairastavilla keuhkonsiirtoon menevillä potilailla 6 minuutin kävelytestituloksen on todettu voivan ennustaa maksimaalista hapenottoa. Potilaan iän, sukupuolen, painon ja keuhkojen toimintatestien tulosten lisääminen analyysiin lisäsi vielä hieman kykyä ennustaa maksimaalista hapenottoa. (Cahalin ym. 1995.) Aikaisempia tutkimuksia 6 minuutin aikana kävellyn matkan ja keuhkofunktion yhteydestä terveillä ei ole tehty.

Taulukko 5 Fyysisen suorituskyvyn ja keuhkojen toiminnan yhteydestä tehtyjä tutkimuksia

Tutkijat	n	M/N	Ikä (v)	Koehenkilöt	Spirometrian ja fyysisen suorituskyvyn välinen yhteys
Enright ym. 2003	2117	853/1264	77±4	Cardiovascular Health Study kohortti	Matala FEV ₁ -arvo oli yhteydessä 6 minuutin aikana käveltyyn matkaan, kävelynopeuteen ja käden puristusvoimaan
Marin ym. 2001	72	72/0	65±7	COPD:tä sairastavia	6 minuutin aikana kävelty matka korreloi FEV ₁ :n (r=0.42, p<0.001) ja FVC:n (r=0.29, p<0.01) kanssa
McGavin ym. 1976	35	35/0	40-70	Kroonista bronkiittia sairastavia	FVC ja 12 min. aikana kävelty matka korreloivat keskenään (r=0.41, p<0.05), FEV ₁ :n ja 12 min. aikana kävellyn matkan välillä heikko korrelaatio (r=0.28, p>0.05)
Pinto-Plata ym. 2004	198	168/30	68±9	Vakavaa COPD:tä sairastavia	FEV ₁ :n ja 6 min. kävelymatkan muutosten välillä heikko korrelaatio (r=0.09, p<0.22)

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSONGELMAT

Fyysisen suorituskyvyn ja keuhkojen toiminnan välisestä yhteydestä on olemassa vähän tutkimustietoa. Tämän tutkimuksen tarkoituksena on tutkia kävelykyvyn ja keuhkojen toiminnan välistä yhteyttä 63-76-vuotiailla kaksosnaisilla.

Tutkimusongelmat:

1. Onko 6 minuutin aikana kävellyn matkan ja virtaus-tilavuusspirometriatulosten (VC, FVC, FEV₁, FEV%, PEF) välillä yhteyttä?
2. Onko maksimaalisen 10 metrin kävelyajan ja virtaus-tilavuusspirometriatulosten (VC, FVC, FEV₁, FEV%, PEF) välillä yhteyttä?
3. Voidaanko virtaus-tilavuusspirometriatulosten (VC, FVC, FEV₁, FEV%, PEF) ja 6 minuutin aikana kävellyn matkan sekä maksimaalisen 10 metrin kävelyajan välinen yhteys selittää lihasvoiman kautta?

6 TUTKIMUSAINEISTO JA MENETELMÄT

6.1 Tutkimusaineisto

Tutkimusaineisto on osa Finnish Twin Study on Aging (FITSA) -projektin aineistoa. FITSA-tutkimus selvittää geneettisten tekijöiden ja ympäristötekijöiden osuutta ikääntyneiden naisten toimintakyvyssä. Tutkittavat FITSA-projektiin on valittu Suomen kaksoskohorttitutkimuksen parien joukosta. Valintakriteerinä oli, että kumpikin kaksossisarista oli osallistunut terveystarkastukseen vuonna 1975. Vuonna 2000 lähetettiin Helsingin kansanterveystieteen laitokselta yhteensä 414 valintakriteerit täyttävälle 63-76-vuotiaalle naiskaksosparille tiedote tutkimuksesta ja kysely osallistumishalukkuudesta. Laboratoriomittauksiin osallistui talvella 2000-2001 Jyväskylän yliopiston Liikunta- ja terveystieteiden laitoksella yhteensä 217 kaksosparia eli 434 kaksosista. (Rantanen ym. 2003.)

6.2 Aineiston keruu

Tämän työn aineistona on syyskuun 2000 ja maaliskuun 2001 välisenä aikana laboratoriomittauksiin osallistuneiden 434 kaksosen tulokset. Analysoitavina muuttujina ovat virtaus-tilavuusspirometrian tulokset, 6 minuutin kävelytestin aikana kävely matka, maksimaalisen 10 metrin kävelyajan tulokset sekä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima. Tutkimuksessa analysoitiin vain niiden koehenkilöiden (N=351) tulokset, jotka olivat suorittaneet sekä virtaus-tilavuusspirometria- että kävelytestit.

Tämän tutkimuksen keuhkofunktio-testit suoritettiin Medikro Windows Spirometri (Medikro Oy, Spiro 2000 version 1.3.1) -spirometrialaitteistolla. Laitteisto kalibroitiin päivittäin laitteen ohjeen mukaan. Jokaisena mittauspäivänä tarkastettiin lämpötila mittaustilasta sekä ilmakehäpaine ja ilmanpaine rasislaboratoriosta, joiden perusteella kalibrointi suoritettiin. Mittauksissa tutkittavat olivat seisoma-asennossa kädet rentoina vartalon vieressä. Mittauksessa käytettiin muovista suukappaletta ja nenäpihettä. Ensimmäisenä testattiin hidas vitaalikapasiteetti (VC), jolloin tutkittava hengitti keuhkot täyteen ilmaa ja puhalsi sitten kaiken ilman ulos rauhallisesti niin

pitkään kuin ilmaa tuli ulos keuhkoista. Toisessa testissä testattava teki maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen maksimaalisen uloshengityksen mahdollisimman nopeasti ja voimakkaasti. Mittauksesta tulostettiin FVC, FEV₁, FEV% ja PEF. Mittaukset suoritettiin vähintään kaksi kertaa molemmilla tekniikoilla.

Kuuden minuutin kävelytesti tehtiin sisätiloissa, jossa tutkittava käveli 6 minuutin ajan yhtäjaksoisesti 100 metrin suoraa edestakaisin. Kävelymatka oli merkitty kahden metrin välein neuuloilla tarkan kävelymatkan saamiseksi. Tutkittavaa pyydettiin kävelemään mahdollisimman tasaisesti ja niin ripeästi kuin he kotioloissakin pystyvät kävelemään vastaavan ajan terveyttään vaarantamatta. Ennen testiä testattava lepäsi vähintään 10 minuuttia istuen. Tutkittavalle asetettiin sykemittari (Sport tester, Polar Electro), jolla seurattiin jatkuvasti sykereaktiota. Tutkittava lähti suorittamaan testiä paikaltaan seisten. Testaaja seurasi tutkittavaa koko kävelymatkan ajan ja kyseli vointia vähintään 100 metrin välein. Kävelymatka merkittiin yhden metrin tarkkuudella mittauspöytäkirjaan. Mittauspöytäkirjaan merkittiin myös mahdolliset kävelyssä käytetyt apuvälineet, kävelyn aikana ilmaantuneet oireet tai muut huomiot sekä testin keskeyttämisen syyt.

Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika mitattiin laboratorion käytävällä. Lattiaan oli teipattu ”lähtö- ja maaliviivat”, ja kävelyaika mitattiin valokennoilla. Tutkittavaa ohjeistettiin kävelemään merkitty matka niin nopeasti kuin mahdollista. Testi suoritettiin ”lentävällä lähdöllä”, jolloin tutkittava lähti kävelemään kolmen metrin päästä valokennostasta ja lähtöviivasta. Mittaaja kulki tutkittavan jäljessä riittävän lähellä varmistaakseen turvallisuuden. Testi tehtiin kaksi kertaa ja paras tulos valittiin analyysiin. Suoritus aika kirjattiin ylös lomakkeelle välittömästi jokaisen suorituksen jälkeen. Lomakkeelle kirjattiin myös mahdolliset erityishuomiot suorituksesta.

Maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima mitattiin dominoivalta puolelta. Dominoiva puoli oli kysytty testattavalta lääkärin tarkastuksessa kysymyksellä: kummalla kädellä hän kirjoittaa. Voiman testauksessa käytettiin Metiturin Good Strength -laitteistoa. Laitteisto kalibroitiin kerran viikossa, ja useammin, jos laitteistossa ilmeni ongelmia. Mittauksessa testattava asetettiin oikeaan mittausasentoon mittausta koskevan manuaalin (Metiturin In Good Shape: käyttäjän opas) mukaan. Testattavan polvikulma oli ojennetusta polvesta koukistuksen suuntaan 60 astetta. Ennen testiä testattavalle selvitettiin suoritustekniikka ja suoritusta harjoiteltiin, jotta varmistuttiin, että suoritussuunta ja -tapa oli oikea. Suorituksia tehtiin vähintään

kolme, mutta jos tulos tämän jälkeen edelleen parani, jatkettiin niin kauan, että varmistuttiin, että tulos oli maksimaalinen. Testattavaa kannustettiin voimakkaasti maksimaalisen suorituksen aikaansaamiseksi.

6.3 Aineiston analysointi

Virtaus-tilavuusspirometriatulosten osalta analysoitavina muuttujina käytettiin iän, sukupuolen ja pituuden mukaan vakioituja prosentuaalisia osuuksia viitearvoista. Kuuden minuutin kävelymatkan osalta käytettiin muuttujana matkaa (m), jonka koehenkilö oli kävellyt 6 minuutin aikana, maksimaalisen 10 metrin kävelyajan osalta aikaa (s), joka kului kymmenen metrin matkan kävelemiseen ja maksimaalisen isometrisen polven ojennusvoiman osalta maksimaalista suoritusta (N). Analyyseissä otettiin huomioon ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima kovariaatteina. Koska FVC-, FEV₁- ja PEF -arvoissa sekä niiden prosentuaalisissa osuuksissa viitearvosta oli yhdellä koehenkilöllä erittäin korkeat puhallusarvot (FVC 225,56 %, FEV₁ 224,93 % ja PEF 214,98 %), korvattiin ne toiseksi korkeimmilla arvoilla (FVC 174,84 %, FEV₁ 161,39 % ja PEF 179,89 %). Näitä rajoja voidaan pitää tässä analyysissä ylärajana spirometria-arvoille. Koska maksimaalisen 10 metrin kävelyajan tuloksissa oli kaksi hyvin hidasta kävelijää (12,26 s ja 10,55 s), korvattiin heidän aikansa kolmanneksi hitaimmalla ajalla (9,55 s). Tätä aikaa voidaan pitää ylärajana maksimaalisen 10 metrin kävelyajan testille. Näiden muutosten myötä saatiin normaalimmat jakaumat.

Tutkittavia muuttujia kuvattiin frekvenssien, prosenttimäärien, keskiarvojen, keskihajontojen ja vaihteluvälien avulla. Jatkuvien muuttujien välisiä yhteyksiä tarkasteltiin Pearsonin tulo-momenttikorrelaatiokertoimien ja hajontakuvioiden avulla. Tämän jälkeen tutkittavat jaettiin tertiileihin erikseen kunkin virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan tuloksen perusteella, ja muuttujien välisiä riippuvuuksia tarkasteltiin ristiintaulukoinnin avulla. Ryhmien välisiä eroja tarkasteltiin yksisuuntaisen varianssianalyysin (1-ANOVA) ja kovarianssianalyysin (ANCOVA) avulla. Eroja havainnollistetaan ryhmien keskiarvojen, keskihajontojen sekä 95 % luottamusvälien avulla. Kovarianssianalyysissä mukaan kovariaateiksi otettiin ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima. Lineaarista regressioanalyysiä käyttäen tutkittiin yksitellen kunkin keuhkofunktiomuuttujan selitysosuutta 6 minuutin kävelytestissä

ja maksimaalisen 10 metrin kävelyajan testissä. Regressiomallissa otettiin huomioon keuhko-funktio muuttujan lisäksi ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima.

Tutkittavat luokiteltiin myös kunkin virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan osalta ”sairaisiin” ja ”terveisiin” sen mukaan olivatko he puhaltaneet tuloksen, joka oli alle tai yli normaaliarvon alarajan. Normaaliarvon määrittelyssä käytettiin Sovijärven ja Malmbergin (2003, 277) käyttämää Viljasen ym. (1982) viitearvoaineistoon perustuvaa spirometristen suureiden prosentuaalisia normaalilöydöksen ja alenemisen asteen luokkarajoja. Tämän jaottelun mukaan alenemisen rajat (= epänormaali löydös / sairaus) ovat naisilla seuraavat: VC < 80 %, FVC < 80 %, FEV₁ < 80 %, PEF < 74 % ja FEV% < 88 %. Luokittelun jälkeen tutkittiin, oliko sairaiden luokan kävelykyky rajoittunut ja kuinka paljon suhteessa normaaliarvon spirometriatuloksissa puhaltaneisiin. Alle / yli normaaliarvon puhaltaneiden (= sairaat / terveet) jaon jälkeen katsottiin varianssianalyysillä ikävakioiden, kävelevätkö alle normaaliarvon puhaltaneet huonommin kuin terveiksi luokitellut. Tilastollisen merkitsevyyden rajana kaikissa tilastollisissa testeissä oli viisi prosenttia (p<0.05). Aineisto analysoitiin SPSS:n tilasto-ohjelmalla (versio 11.5). Taulukot ja kuviot muokattiin Excel 2003, Power Point ja Paint ohjelmilla.

7 TULOKSET

7.1 Aineiston kuvaus

Tutkimukseen osallistuneiden naisten (N=351) taustatiedot ovat taulukossa 6.

Taulukko 6 Tutkittavien iän, pituuden ja painon keskiarvo (ka), keskihajonta (SD) ja vaihteluväli (min-max)

	ka	SD	min - max
Ikä (v)	68	3	63 - 75
Pituus (cm)	159	6	142 - 178
Paino (kg)	70	12	39 - 116

Tutkimukseen osallistuneiden naisten keskimääräiset virtaus-tilavuusspirometrian absoluuttiset ja prosentuaaliset arvot (% iän, sukupuolen ja pituuden mukaisista viitearvoista), 6 minuutin aikana kävelty matka, maksimaalinen 10 metrin kävelyaika sekä maksimaalinen isometrisen polven ojennusvoima näkyvät taulukossa 7.

Taulukko 7 Virtaus-tilavuusspirometrian, 6 minuutin aikana kävellyn matkan, maksimaalisen 10 metrin kävelyaajan ja maksimaalisen isometrisen polven ojennusvoiman keskiarvo (ka), keskihajonta (SD) ja vaihteluväli (min-max)

	ka	SD	min - max
VC (l)	2,89	0,60	0,85 - 4,82
FVC (l)	2,88	0,57	0,90 - 4,96
FEV ₁ (l)	2,25	0,47	0,71 - 3,90
FEV%	74,00	8,79	35,23 - 91,87
PEF (l/s)	5,55	1,41	0,37 - 10,56
VC (% viitearvosta)	102	20	30 - 163
FVC (% viitearvosta)	105	19	33 - 175
FEV ₁ (% viitearvosta)	103	20	36 - 161
FEV% (% viitearvosta)	96	11	45 - 119
PEF (% viitearvosta)	93	23	6 - 80
6 minuutin aikana kävelty matka (m)	530	76	270 - 725
Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika (s)	5,9	1,1	3,7 - 9,6
Maksimaalinen isometrisen polven ojennusvoima (N)	299	79	28 - 524

7.2 Virtaus-tilavuusspirometrian ja kuuden minuutin aikana kävellyn matkan yhteys

Kuuden minuutin aikana kävellyn matkan ja VC:n, FVC:n, FEV₁:n sekä PEF:n välillä todettiin heikko positiivinen, mutta tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Kuuden minuutin kävelytestin tulokset eivät korreloineet FEV%:n kanssa. (Taulukko 8)

Taulukko 8 Pearsonin korrelaatiokertoimet kuuden minuutin aikana kävellyn matkan ja virtaus-tilavuusspirometriatulosten (% iän, sukupuolen ja pituuden mukaisesta viitearvosta) välillä

	VC	FVC	FEV ₁	FEV%	PEF
6 minuutin aikana kävelty matka	0.153**	0.168**	0.178**	0.051	0.170**
P	0.004	0.002	0.001	0.345	0.001
N	351	347	345	345	347

** merkitsevä p=0.01 tasolla

7.2.1 Kuuden minuutin aikana kävelty matka virtaus-tilavuusspirometriaterteilleittäin

Kun tutkittavat jaettiin tertiileihin virtaus-tilavuusspirometriamittausten VC:n, FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n suhteen, 6 minuutin aikana kävellyssä matkassa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero yksisuuntaisessa varianssianalyysissä FEV₁:n (p=0.004) ja PEF:n (p=0.001) osalta sekä melkein tilastollisesti merkitsevä ero FVC:n osalta (p=0.078). VC:n osalta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä (p=0.213). Kuuden minuutin aikana kävellyt matkat tertiileittäin näkyvät taulukosta 9. Kun ikä otettiin mukaan kovariaatiksi, olivat erot tilastollisesti merkitseviä FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n osalta, mutta kun myös paino lisättiin kovariaatiksi, eivät erot olleet enää tilastollisesti merkitseviä FVC:n osalta. (Taulukko 9) Kun hengitysfunktion ja kävelymatkan välinen yhteys vielä vakioitiin maksimaalisella isometrisellä polven ojennusvoimalla, eivät ryhmien väliset erot olleet tilastollisesti merkitseviä minkään virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan osalta. Ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima olivat kaikissa analyyseissä tilastollisesti erittäin merkitseviä 6 minuutin kävelymatkan selittäjiä (p<0.001).

Taulukko 9 VC, FVC, FEV₁ sekä PEF tertiileittäin ja kuuden minuutin aikana kävelty matka. Keskiarvo (ka), keskihajonta (SD), 95 % luottamusvälit (95 % CI) sekä ryhmien välisen eron tilastollinen merkitsevyys, kun ikä on otettu huomioon (p1) ja kun sekä ikä että paino otettu huomioon (p2)

	6 minuutin aikana kävelty matka (m)			Ryhmien välinen ero (p-arvo)	
	ka	SD	95 % CI	p1	p2
VC					
Alin ryhmä	522	71	509 - 535	0.130	0.599
Keskiryhmä	529	78	515 - 544		
Ylin ryhmä	539	78	525 - 553		
FVC					
Alin ryhmä	519	72	506 - 532	0.035	0.185
Keskiryhmä	533	73	520 - 546		
Ylin ryhmä	541	81	526 - 556		
FEV₁					
Alin ryhmä	511	73	498 - 525	0.001	0.006
Keskiryhmä	537	70	524 - 551		
Ylin ryhmä	542	80	528 - 557		
PEF					
Alin ryhmä	512	77	497 - 526	0.001	0.002
Keskiryhmä	532	66	520 - 544		
Ylin ryhmä	549	79	523 - 564		

7.2.2 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien kuuden minuutin kävelytestin selitysosuudet lineaarisessa regressioanalyysissä

Lineaarisessa regressiomallissa selitettäessä 6 minuutin kävelymatkaa yhdellä ikä-vakioidulla virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla kerrallaan, vaihteli spirometrian selitysosuus 2,9 - 3,9 %:n välillä. Selitettäessä 6 minuutin kävelymatkaa kerrallaan yhdellä spirometriamuuttujalla ja iällä selityssasteet vaihtelivat 7,3 - 9,0 %:n välillä. Selitettäessä spirometriamuuttujalla sekä iällä ja painolla selityssasteet vaihtelivat 15,0 - 17,1 %:n välillä. Parhaiten spirometriamuuttujista 6 minuutin kävelytestiä selitti FEV₁ ja heikoiten VC, mutta erot eivät olleet suuria. (Taulukko 10) Kun regressiomalliin otettiin mukaan maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima, hävitti se VC:n, FVC:n, ja PEF:n selitysosuudet 6 minuutin kävelytestissä. Nämä muuttujat poissuljettiin kokonaan regressiomallista (p>0.100). Maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima, paino, ikä, ja FEV₁ selittivät yhdessä 26,7 % 6 minuutin aikana kävel-

lystä matkasta. FEV₁ mahtui mukaan regressiomalliin, mutta sen selitysosuudeksi 6 minuutin aikana kävellystä matkasta jäi vain 1 %.

Taulukko 10 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien selitysosuudet (%) kuuden minuutin kävelytestissä

	Ikä-vakioitu spirometria	Ikä + spirometria	Ikä + paino + spirometria
VC	2,9	7,3	15,0
FVC	3,8	8,9	16,2
FEV ₁	3,9	9,0	17,1
PEF	2,9	8,0	16,3

7.2.3 Kuuden minuutin aikana kävelty matka virtaus-tilavuusspirometriassa terveiksi ja sairaiksi luokitelluilla

Jaettaessa virtaus-tilavuusspirometriatulokset alle ja yli normaaliarvon puhaltaneisiin eli sairaisiin ja terveisiin, alle normaaliarvon puhaltaneita oli muuttujasta riippuen 6,9 -16,1 % (Taulukko 11).

Taulukko 11 VC, FVC, FEV₁ ja PEF. Alle ja yli normaaliarvon puhaltaneiden osuudet

	Normaaliarvon raja	n	%
VC	< 80 %	44	12,5
	> 80 %	307	87,5
FVC	< 80 %	24	6,9
	> 80 %	323	93,1
FEV ₁	< 80 %	41	11,9
	> 80 %	304	88,1
PEF	< 74 %	56	16,1
	> 74 %	291	83,9

Terveet koehenkilöt kävelivät 6 minuutin aikana keskimäärin pidemmän matkan kuin sairaiksi luokitellut. Kuuden minuutin kävelymatkassa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero terveiden ja sairaiden ryhmien välillä yksisuuntaisessa varianssianalyysissä FVC:n ($p=0.018$), FEV₁:n ($p=0.004$) ja PEF:n ($p=0.006$) osalta. VC:n osalta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä

($p=0.183$). Varianssianalyyssissä ikävakioiden ero 6 minuutin aikana kävellyssä matkassa oli tilastollisesti merkitsevä FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n osalta, ja VC:n osalta melkein tilastollisesti merkitsevä. Kun analyysissä otettiin huomioon iän lisäksi paino, olivat erot ryhmien välillä tilastollisesti merkitseviä FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n osalta, mutta eivät VC:n osalta. (Taulukko 12) Vakioitaessa hengitysfunktioiden ja 6 minuutin aikana kävellyn matkan yhteys maksimaalisella isometrisellä polven ojennusvoimalla eivät erot olleet enää tilastollisesti merkitseviä minkään virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan osalta.

Taulukko 12 VC, FVC, FEV₁, ja PEF. Alle ja yli normaaliarvon puhaltaneiden ryhmien keskimääräinen kuuden minuutin aikana kävelty matka (ka), keskihajonta (SD) ja 95 % luottamusväli (95 % CI) sekä ryhmien välisen eron tilastollinen merkitsevyys, kun ikä on otettu huomioon (p1) ja kun sekä ikä että paino otettu huomioon (p2)

	6 minuutin aikana kävelty matka (m)			Ryhmien välinen ero (p-arvo)	
	ka	SD	95 % CI	p1	p2
VC					
< 80 %	516	74	493 - 538	0.082	0.307
> 80 %	532	76	524 - 541		
FVC					
< 80 %	495	86	459 - 532	0.005	0.006
> 80 %	533	74	525 - 541		
FEV₁					
< 80 %	499	73	476 - 522	0.002	0.003
> 80 %	535	75	526 - 543		
PEF					
< 74 %	506	79	484 - 527	0.006	0.005
> 74 %	536	74	527 - 544		

7.3 Virtaus-tilavuusspirometrian ja maksimaalisen 10 metrin kävelyajan yhteys

Maksimaalisen 10 metrin kävelyajan ja VC:n, FVC:n, FEV₁:n sekä PEF:n välillä todettiin heikko negatiivinen, mutta tilastollisesti merkitsevä korrelaatio. Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika ei korreloinut FEV₁:n kanssa. (Taulukko 13)

Taulukko 13 Pearsonin korrelaatiokertoimet maksimaalisen 10 metrin kävelyajan sekä virtaus-tilavuusspirometriatulosten (% iän, sukupuolen ja pituuden mukaisesta viitearvosta) välillä

	VC	FVC	FEV ₁	FEV%	PEF
Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika	-0.173**	-0.172**	-0.162**	0.002	-0.188**
P	0.001	0.001	0.003	0.975	<0.001
N	351	347	345	345	347

** merkitsevä p=0.01 tasolla

7.3.1 Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika virtaus-tilavuusspirometriaterteileittäin

Kun tutkittavat jaettiin terteileihin virtaus-tilavuusspirometriamittausten VC:n, FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n suhteen, maksimaalisessa 10 metrin kävelyajassa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero yksisuuntaisessa varianssianalyysissä VC:n (p=0.044), FVC:n (p=0.022) FEV₁:n (p=0.021) ja PEF:n (p<0.001) osalta. Maksimaaliset 10 metrin kävelyajat terteileittäin näkyvät taulukosta 14. Kun ikä otettiin mukaan kovariaatiksi, olivat erot tilastollisesti merkitseviä edelleen kaikkien virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien osalta, mutta kun myös paino lisättiin kovariaatiksi, ero ei ollut enää tilastollisesti merkitsevä VC:n osalta. (Taulukko 14) Kun hengitysfunktion ja kävelyajan välinen yhteys vielä vakioitiin maksimaalisella isometrisellä polven ojennusvoimalla, eivät ryhmien väliset erot olleet tilastollisesti merkitseviä minäkään virtaus-tilavuusspirometriamuuttujan osalta. Ikä, paino ja maksimaalinen isometrisen polven ojennusvoima olivat kaikissa analyysissä tilastollisesti erittäin merkitseviä maksimaalisen 10 metrin kävelyajan selittäjiä (p<0.001).

Taulukko 14 VC, FVC, FEV₁ sekä PEF tertiileittäin ja maksimaalinen 10 metrin kävely aika. Keskiarvo (ka), keskihajonta (SD), 95 % luottamusvälit (95 % CI) sekä ryhmien välisen eron tilastollinen merkitsevyys, kun ikä on otettu huomioon (p1) ja kun sekä ikä että paino otettu huomioon (p2)

	Maksimaalinen 10 metrin kävelyaika (s)			Ryhmien välinen ero (p-arvo)	
	ka	SD	95 % CI	p1	p2
VC					
Alin ryhmä	6,1	1,0	5,9 - 6,3	0.019	0.113
Keskiryhmä	5,8	1,1	5,6 - 6,0		
Ylin ryhmä	5,8	1,1	5,6 - 6,0		
FVC					
Alin ryhmä	6,0	1,1	5,8 - 6,2	0.008	0.034
Keskiryhmä	5,9	1,1	5,7 - 6,1		
Ylin ryhmä	5,6	1,0	5,5 - 5,8		
FEV₁					
Alin ryhmä	6,1	1,1	5,9 - 6,3	0.009	0.030
Keskiryhmä	5,8	1,1	5,6 - 6,0		
Ylin ryhmä	5,7	1,0	5,5 - 5,9		
PEF					
Alin ryhmä	6,1	1,2	5,9 - 6,4	<0.001	0.001
Keskiryhmä	5,9	1,0	5,7 - 5,0		
Ylin ryhmä	5,6	1,0	5,4 - 5,8		

7.3.2 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien maksimaalisen 10 metrin kävelyaajan selitysosuudet lineaarisessa regressioanalyysissä

Lineaarisessa regressiomallissa selitettäessä maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa yhdellä ikävakiodulla virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla kerrallaan, vaihteli spirometrian selitysosuus 3,3 - 3,9 %:n välillä. Selitettäessä maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa kerrallaan yhdellä spirometriamuuttujalla ja iällä selitysasteet vaihtelivat 7,7 - 8,7 %:n välillä. Selitettäessä spirometriamuuttujalla sekä iällä ja painolla selitysasteet vaihtelivat 12,5 - 13,6 %:n välillä. Parhaiten spirometriamuuttujista maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa selitti FVC, mutta erot muuttujien välillä olivat erittäin pieniä. (Taulukko 15) Lisättäessä malliin maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima hävisivät kaikkien virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien selitysosuudet kävelytestituloksesta, joten ne poissuljettiin kokonaan regressiomallista ($p > 0.100$).

Taulukko 15 Virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien selitysosuudet (%) maksimaalisessa 10 metrin kävelyaikatestissä

	Ikä-vakioitu spirometria	Ikä + spirometria	Ikä + paino + spirometria
VC	3,6	7,7	12,5
FVC	3,9	8,7	13,2
FEV ₁	3,3	8,0	13,1
PEF	3,5	8,3	13,6

7.3.3 Maksimaalinen 10 metrin kävely aika virtaus-tilavuusspirometriassa terveiksi ja sairaiksi luokitelluilla

Jaettaessa virtaus-tilavuusspirometriatulokset alle ja yli normaaliarvon puhaltaneisiin alle normaaliarvon puhaltaneita oli muuttujasta riippuen 6,9 - 16,1 % (Taulukko 11). Terveet koehenkilöt kävelivät maksimaalisessa 10 metrin kävelyaikatestissä keskimäärin nopeammin kuin sairaiksi luokitellut. Maksimaalisessa 10 metrin kävelyajassa havaittiin tilastollisesti merkitsevä ero yksisuuntaisessa varianssianalyysissä FVC:n ($p=0.010$), FEV₁:n ($p=0.008$) ja PEF:n ($p=0.001$) osalta. VC:n osalta ero ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p=0.213$). Varianssianalyysissä ikävakioiden ero maksimaalisessa 10 metrin kävelyajassa oli tilastollisesti merkitsevä FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n osalta. Kun analyysissä otettiin huomioon iän lisäksi paino, olivat erot ryhmien välillä tilastollisesti merkitseviä edelleen FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n osalta. (Taulukko 16) Vakioitaessa hengitysfunktioiden ja maksimaalisen 10 metrin kävelyajan yhteys maksimaalisella isometrisellä polven ojennusvoimalla oli ero ryhmien välillä tilastollisesti merkitsevä enää vain PEF:n osalta ($p=0.037$).

Taulukko 16 VC, FVC, FEV₁, ja PEF. Alle ja yli normaaliarvon puhaltaneiden ryhmien keskimääräinen maksimaalinen 10 metrin kävely aika (ka), keskihajonta (SD) ja 95 % luottamusväli (95 % CI) sekä ryhmien välisen eron tilastollinen merkitsevyys, kun ikä on otettu huomioon (p1) ja kun sekä ikä että paino otettu huomioon (p2)

	Maksimaalinen 10 metrin kävely aika (s)			Ryhmien välinen ero (p-arvo)	
	ka	SD	95 % CI	p1	p2
VC					
< 80 %	6,1	1,1	5,7 - 6,4	0.102	0.298
> 80 %	5,8	1,1	5,7 - 6,0		
FVC					
< 80 %	6,4	1,3	5,8 - 7,0	0.003	0.003
> 80 %	5,8	1,0	5,7 - 5,9		
FEV₁					
< 80 %	6,3	1,1	5,9 - 6,6	0.005	0.007
> 80 %	5,8	1,1	5,7 - 5,9		
PEF					
< 74 %	6,3	1,2	6,0 - 6,6	0.001	0.001
> 74 %	5,8	1,0	5,7 - 5,9		

8 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa keuhkojen toiminnan ja kävelykyvyn välillä todettiin olevan yhteys. Huonomman virtaus-tilavuusspirometriatuloksen puhaltaneet naiset kävelivät 6 minuutin aikana keskimäärin lyhyemmän matkan kuin paremman spirometria-arvon saaneet naiset. Heikommin spirometriassa puhaltaneet myös kävelivät keskimäärin hitaammin 10 metrin matkan ja heidän maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima oli keskimäärin heikompi kuin paremmin puhaltaneilla naisilla. Varianssianalyyseissä iällä, painolla ja maksimaalisella isometrisellä polven ojennusvoimalla vakioiden erot eivät kuitenkaan olleet tilastollisesti merkitseviä muiden muuttujien kuin maksimaalisen 10 metrin kävelyajan ja PEF:n suhteen. Ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima olivat kaikissa analyyseissä tilastollisesti erittäin merkitseviä ($p < 0.001$) 6 minuutin aikana kävellyn matkan sekä maksimaalisen 10 metrin kävelyajan selittäjiä.

Linearisessa regressioanalyyseissä selitettäessä 6 minuutin kävelymatkaa kerrallaan yhdellä virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla ikä-vakioiden selitysasteet vaihtelivat 2,9 - 3,8 %:n välillä. Selitettäessä 6 minuutin kävelymatkaa kerrallaan yhdellä virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla ja iällä selitysasteet vaihtelivat 7,3 - 9,0 %:n välillä. Selitettäessä spirometriamuuttujalla sekä iällä ja painolla vakioiden selitysasteet vaihtelivat 15,0 - 17,1 %:n välillä. Parhaiten spirometriamuuttujista 6 minuutin aikana käveltyä matkaa selitti FEV₁ ja heikoiten VC, mutta erot eivät olleet suuria. Kun regressiomalliin otettiin mukaan vielä maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima, hävitti se VC:n, FVC:n, ja PEF:n selitysosuudet 6 minuutin kävelytestissä. Nämä muuttujat poissuljettiin kokonaan regressiomallista ($p > 0.100$). FEV₁ mahtui mukaan regressiomalliin, mutta sen selitysosuudeksi jäi vain 1 %.

Linearisessa regressiomallissa selitettäessä maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa kerrallaan yhdellä virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla ikä-vakioiden selitysasteet vaihtelivat 3,3 - 3,9 %:n välillä. Selitettäessä maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa kerrallaan yhdellä virtaus-tilavuusspirometriamuuttujalla ja iällä selitysasteet vaihtelivat 7,7 - 8,7 %:n välillä. Selitettäessä spirometriamuuttujalla sekä iällä ja painolla selitysasteet vaihtelivat 12,5 - 13,6 %:n välillä. Parhaiten spirometriamuuttujista maksimaalista 10 metrin kävelyaikaa selitti FVC, mutta

erot muuttujien välillä olivat erittäin pieniä. Lisättäessä malliin maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima hävisivät kaikkien virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien selitysosuudet.

Tämän tutkimuksen tulokset ovat samansuuntaisia Enrightin ym. (2003) kanssa, jotka totesivat tutkimuksessaan matalan FEV₁-arvon olevan yhteydessä 6 minuutin aikana käveltyyn matkaan sekä kävelynopeuteen ja käden puristusvoimaan iäkkäillä naisilla. Suomisen ym. tutkimuksessa regressiomallissa hengitysfunktioista tärkeimmiksi maksimaalisen hapenkulutuksen selittäjiksi tulivat FEV₁ ja PEF. Hengitysfunktiot korreloivat merkitsevästi maksimaalisen hapenkulutuksen kanssa, mutta toisaalta hengitysfunktioiden on kuitenkin arveltu rajoittavan fyysistä suorituskkyä vain äärimmäisissä olosuhteissa. (Suominen 1992, 82.) Tulosten perusteella tärkeä fyysistä suorituskkyä rajoittava tekijä on lihassmassan vähenemisestä johutuva lihasvoiman heikkeneminen ikääntyessä, mikä vaikuttaa myös Flegin ja Lakattan (1988) mukaan suuresti maksimaaliseen hapenottookykyyn. Tulosten perusteella keuhkofunktio selittää siis vain pienen osan vaihtelusta 6 minuutin aikana kävellyssä matkassa.

Useissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu kävelykyvyn ja keuhkojen toiminnan yhteyttä, esimerkiksi COPD:tä ja kystistä fibroosia sairastavilla, on mitattu spirometriamuuttujina FEV₁ ja FVC (Lake ym. 1990, Troosters ym. 2000, Frangolias ym. 2003). FEV₁-arvo on ollut useimmissa tutkimuksissa paras spirometriamuuttuja tutkittaessa yhteyttä kävelykykyyn (Bendstrup ym. 1997, Troosters ym. 2000). Tässä tutkimuksessa virtaus-tilavuusspirometriassa ainakin FVC- ja FEV₁-arvot olivat keskimäärin hieman korkeammat kuin aikaisemmissa tutkimuksissa suhteellisen terveillä koehenkilöillä (Knudson ym. 1983, Enright ym. 2004). Tämä voi johtua esimerkiksi mittausten suoritustavasta tai koehenkilöiden terveydentilasta.

Kyky saada aikaan suuria ilmapirtauksia keuhkoissa rasituksen aikana riippuu muun muassa rintakehän lihasten supistusvoimasta, rintakehän komplianssista, ilmäteiden vastuksesta ja ilmäteiden luhistumisesta. (Shephard 1997a, 108). Keuhkojen toiminnan (= spirometrinen arvojen) taso, joka rajoittaa fyysistä suorituskkyä, vaihtelee suuresti yksilöiden välillä (Johnson ja Dempsey 1991). Ikääntymiseen liittyy yleisesti suurempi FEV₁-arvon pieneneminen kuin VC:n pieneneminen. Ensimmäisen sekunnin aikana ulos puhallettava ilmamäärä vitaalikapasiteetista putoaa nuorten aikuisten 82-86 %:sta 75-79 %:iin 65 ikävuoteen mennessä. Tästä johtuen tässäkin tutkimuksessa FEV₁ voi olla parempi 6 minuutin aikana käveltyä matkaa selittävä tekijä kuin VC, mutta käveltyyn matkaan yhteydessä oleva tekijä onkin varsinaisesti ikä eikä keuhkofunktio. (Shephard 1997a, 109.)

Selitys 6 minuutin kävelymatkan ja FEV₁:n väliselle heikolle korrelaatiolle voi olla se, että kävelty matka ei riipu pelkästään hengityselimistön toimintakyvystä, vaan useista eri tekijöistä, kuten motivaatiosta, kestävyys suorituskyvystä, sydän- ja verenkiertoelimistön toiminnasta, neuromuskulaarisesta toiminnasta sekä perifeeristen lihasten kunnosta. Alaraajojen lihasvoiman on todettu olevan yhteydessä 6 minuutin aikana käveltyyn matkaan (Hulens ym. 2003). Myös tässä tutkimuksessa tuli esiin maksimaalisen isometrisen polven ojennusvoiman yhteys kävelytestituloksiin. Maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima korreloi tässä tutkimuksessa VC:n, FVC:n, FEV₁:n ja PEF:n kanssa. Lyhyen maksimaalisen 10 metrin kävelyaikatestin käyttämisessä vertailutestinä 6 minuutin kävelytestille voi ollakin ongelmana se, että hengitysfunktion heiketessä myös lihasvoima heikkenee, mikä rajoittaa suoriutumista molemmista kävelytesteistä. Iäkkäillä naisilla suoriutumista sekä 6 minuutin kävelytestistä että maksimaalisesta 10 metrin kävelyaikatestistä selittävätkin siis vahvasti samat asiat, lihasvoima pääasiassa.

Tässä tutkimuksessa 6 minuutin aikana kävelty keskimääräinen matka (530 m) ja keskimääräinen maksimaalinen kävelynopeus (1,69 m/s) ovat samansuuntaisia aikaisempien tutkimustulosten kanssa (esim. Bohannon 1997, Enright ja Sherrill 1998, Sakari-Rantala ym. 1998, Hulens ym. 2003, Steffen ym. 2002). Kuuden minuutin aikana kävelty matka (270-725 m) ja maksimaalinen 10 metrin kävelyaika (3,7-9,6 s) vaihtelivat koehenkilöiden välillä suuresti. Vaihtelua voivat selittää muun muassa koehenkilöiden pituus, paino, lihasvoima ja mahdolliset sairaudet. Kuuden minuutin aikana käveltyä matkaa on todettu selittävän muun muassa ikä, pituus, kehon BMI, lihasvoima, maksimaalinen hapenkulutus sekä koehenkilön henkinen tila (Troosters ym. 1999, Enright ym. 2003, Hulens ym. 2003), joten keuhkojen toiminnan osuus kävelymatkan selittäjänä ei voi ollakaan kovin suuri. Tämän tutkimuksen perusteella keuhkojen toiminnalla voi olla merkitystä kävelykyvyn kannalta, mutta tulosten tilastollinen merkitsevyys on pieni. Iän, sukupuolen ja lihasvoiman on todettu korreloivan kävelynopeuden kanssa (Basseyn ym. 1992, Bohannon 1997), joten maksimaalisen 10 metrin kävelyaikatestin tuloksia voivat selittää pääasiassa nämä tekijät, eivätkä virtaus-tilavuusspirometriasta saadut arvot. Esimerkiksi Basseyn ym. (1992) tutkimuksessa alaraajojen lihasvoima selitti 86 % kävelynopeuden vaihtelusta.

Monissa tutkimuksissa, joissa on tutkittu liikuntaharjoittelun vaikutusta keuhkojen toimintaan, on todettu, ettei liikunnalla ei ole vaikutusta keuhkojen toimintaan (mm. Troosters ym. 2000). Tutkimuksissa (mm. Cockcroft ym. 1981, Lake ym. 1990, Goldstein ym. 1994) on mitattu

spirometrialla keuhkojen toiminnan perusmuuttujia, kuten FEV₁-, FVC-, VC-, TLC-arvoja ennen liikuntainterventiota ja intervention jälkeen. Tutkimuksissa on pääosin todettu spirometria-arvojen pysyneen muuttumattomina harjoitusintervention seurauksena, vaikka fyysinen suorituskyky ja rasiuksensietokyky ovat parantuneet (mm. McGavin ym. 1977, Bendstrup ym. 1997, Wedzicha ym. 1998). Nämä löydökset puhuvat sen puolesta, ettei fyysisellä suorituskyvyllä ja keuhkojen toiminnalla ole näissä aineistoissa yhteyttä. Toisaalta edellä mainitut tutkimukset on tehty COPD:tä sairastaville, joten vaikutukset terveillä voivat olla erilaisia.

On otettava huomioon, että useimmat ikääntymisen vaikutuksesta keuhkojen toimintaan tehdyt tutkimukset ovat olleet poikkileikkaustutkimuksia, joten ne voivat yliarvioida keuhkofunktion heikkenemistä ikääntyessä. Lisää pitkittäistutkimuksia tarvittaisiin. Suurimmassa osassa tutkimuksia koehenkilöt ovat olleet miehiä, joten lisää tutkimuksia naisilla tarvitaan. Tutkimusten laatu ei myöskään aina ole paras mahdollinen. Yleensä koehenkilöt ovat vapaaehtoisia ja vapaaehtoisesti ilmoittautuneet koehenkilöt ovat todennäköisesti muutenkin aktiivisempia kuin ne, jotka eivät ole ilmoittautuneet tutkimuksiin. Tällöin huonokuntoisimmat ja vähiten aktiivisimmat koehenkilöt todennäköisesti puuttuvat tutkimusaineistoista. Tutkimusten raportointitarkkuus myös vaihtelee suuresti.

Ongelmana tässä, kuten muissakin keuhkojen toiminnan ja kävelykyvyn yhteyttä tutkivissa tutkimuksissa, on se, että aineistossa, josta sairaimmat eli ne jotka eivät olleet suorittaneet kävelytestejä, on otettu pois, hengitysfunktiolla ei voida selittää tuloksista kovin paljon. Tässäkin aineistossa 6 minuutin kävelytestin suorittaneet ovat todennäköisesti parempikuntoisia kuin ne, jotka eivät ole osallistuneet kävelytestiin. Heikkokuntoisten tai sairaiden poisjääminen kävelytestistä heikentää kävelykyvyn ja keuhkojen toiminnan yhteyttä.

Kun tutkitaan virtaus-tilavuusspirometriatulosten ja 6 minuutin kävelytestin sekä maksimaalisen 10 metrin kävelyaikatestin yhteyttä, tulee ottaa huomioon mahdolliset sekoittavat tekijät. Tässä tutkimuksessa on käytetty virtaus-tilavuusspirometriamuuttujien osalta iän, sukupuolen ja pituuden mukaisia prosentuaalisia osuuksia viitearvoista. Analyyseissa on otettu lisäksi huomioon keuhkojen toiminnan ja kävelytestitulosten yhteyttä tutkittaessa sekoittavina tekijöinä ikä, paino ja maksimaalinen isometrinen polven ojennusvoima. Tämän tutkimuksen osalta tulee ottaa myös huomioon tilastomenetelmien rajoitukset. Vaikka aineistona on kaksoaineisto, on se analysoitu kuten toisistaan riippumattomat yksilöt. Tällä voi olla vaikutusta

tilastollisiin tunnuslukuihin, jotka voisivat muuttua hieman, jos pareittainen vertailu otettaisiin huomioon. Tutkimuksen varsinaisiin tuloksiin se ei kuitenkaan vaikuta.

Heikkoutena tässä tutkimuksessa on se, että virtaus-tilavuusspirometriamittausten suoritustapa ei ollut täsmälleen suositusten mukainen. Tutkittava teki yleensä vain kaksi puhallussuoritusta, vaikka Euroopan ja Amerikan keuhkolääkäriyhdistysten suositusten mukaan niitä tulisi tehdä enemmän. Suoritustekniikan opetteluun ei ollut myöskään paljoa aikaa, ja 3 %:n sääntöä mittausten välillä ei käytetty eli vaikka tulokset olisivat eronneet toisistaan yli 3 %, lisämittauksia ei tehty ajanpuutteen vuoksi. Puhalluksen loppuosaa ei myöskään kontrolloitu, joten pienimpien hengitysteiden virtauksen tarkastelu ei onnistu, ja näin lievät mahdollisesti suorituskyykyyn vaikuttavat rajoitukset keuhkofunktiossa eivät tule esiin.

Tämän tutkimuksen perusteella keuhkojen toiminnalla ja kävelykyvyllä voidaan olettaa olevan yhteys. Se, rajoittaako keuhkofunktio iäkkäiden ihmisten kävelykykyä käytännössä, jää edelleen epävarmaksi. Tutkimuksessa käytettyjen mittareiden ja kyseessä olleen valikoituneen koehenkilöjoukon perusteella on vaikea tehdä yleistyksiä. Jotta saataisiin tietoa siitä, rajoittaako keuhkojen toiminta kävelykykyä tulisi tehdä virtaus-tilavuusspirometriamittaukset niin, että loppuvaiheen puhallus kontrolloitaisiin tarkasti. Tällöin voitaisiin arvioida paremmin pienten ilmatiehyiden virtausta ja siten keuhkofunktion heikentymisen vaikutusta kävelykykyyn.

Mahdolliset keuhkosairaudet tulisi tutkia, koska niillä voi olla vaikutusta tuloksiin. Tulevaisuudessa tulisi tehdä laajempia tutkimuksia, jossa 6 minuutin aikana kävellyn matkan ja maksimaalisen 10 metrin kävelyajan selittäjiä etsittäisiin monipuolisemmin kuin aikaisemmin. Tutkimuksissa tulisi analysoida laajasti tietoja muun muassa koehenkilöiden liikuntatottumuksista, harjoittelutavoista, sydän- ja verenkiertoelimistön kunnosta sekä tuki- ja liikuntaelinten ongelmista ja muista fyysiseen suorituskyykyyn mahdollisesti vaikuttavista tekijöistä. Edellä mainitsemiani tietoja on olemassa FITSA-projektin aineistossa, mutta en ole niitä käyttänyt tässä tutkielmassa. Tietojen käyttö olisi voinut tuoda lisäinformaatiota fyysisen suorituskyykyyn ja keuhkofunktion yhteydestä.

Vaikka keuhkojen toiminnan ja kävellyn matkan sekä kävelyajan välillä todettiin olevan yhteys, keuhkofunktio ei todennäköisesti ole tärkein kävelykykyä rajoittava tekijä. Todennäköisesti virtaus-tilavuusspirometriatulosten ja 6 minuutin aikana kävellyn matkan sekä maksi-

maalisen 10 metrin kävelyajan välinen yhteys selittyy muiden tekijöiden, kuten lihasvoiman kautta.

LÄHTEET

American Thoracic Society. 2002. ATS statement: guidelines for the six-minute walk test. *Am J Respir Crit Care Med* 166, 111-117.

Bassey EJ, Fiatarone MA, O'neill EF, Kelly M, Evans WJ, Lipsitz LA. 1992. Leg extensor power and functional performance in very old men and women. *Clinical Science* 82, 321-327.

Bendall MJ, Bassey EJ, Pearson MB. 1989. Factors Affecting Walking Speed of Elderly People. *Age Ageing* 18, 327-332.

Bendstrup KE, Jensen JI, Holm, S, Bengtsson B. 1997. Out-patient rehabilitation improves activities of daily living, quality of life and exercise tolerance in chronic obstructive pulmonary disease. *Eur Respir J* 10, 2801-2806.

Bohannon RW. 1997. Comfortable and maximum walking speed of adults aged 20-79 years: reference values and determinants. *Age Ageing* 26, 15-19.

Butland RJA, Pang J, Gross ER, Woodcock AA, Geddes DM. 1982. Two-, six- and 12-minute walking test in respiratory disease. *BMJ* 284, 1607-1608.

Cahalin L, Pappagianopoulos P, Prevost S, Wain J, Ginns L. 1995. The Relationship of the 6-Min Walk Test to Maximal Oxygen Consumption in Transplant Candidates with End-Stage Lung Disease. *Chest* 108, 452-459.

Chen H-I, Kuo C-S. 1989. Relationship between respiratory muscle function and age, sex, and other factors. *J Appl Phys* 66, 943-948.

Cockcroft AE, Saunders MJ, Berry G. 1981. Randomised controlled trial of rehabilitation in chronic respiratory disability. *Thorax* 36, 200-203.

Connolly MJ. 2003. Age-related changes in the respiratory system. In RC Tallis, HM Fillit (eds.) *Brocklehurst's Textbook of Geriatric Medicine and Gerontology*. 6th ed. London: Churchill Livingstone, 489-493.

Enright PL, Beck KC, Sherrill DL. 2004. Repeatability of Spirometry in 18,000 Adult Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 169, 235-238.

Enright PL, McBurnie MA, Bittner V, Tracy RP, McNamara R, Arnold A, Newman AB. 2003. The 6-min Walk Test. A Quick Measure of Functional Status in Elderly Adults. *Chest* 123, 387-398.

Enright PL, Sherrill DL. 1998. Reference Equations for the Six-Minute Walk in Healthy Adults. *Am J Respir Crit Care Med* 158, 1384-1387.

Estenne M, Yernault J-C, de Troyer A. 1985. Rib cage and diaphragm-abdomen compliance in humans: effects of age and posture. *J Appl Physiol* 59, 1842-1848.

- Fleg JL, Lakatta EG. 1988. Role of muscle loss in the age-associated reduction in VO_{2max} . *J Appl Physiol* 65, 1147-1151.
- Folkow B, Svanborg A. 1993. Physiology of Cardiovascular Aging. *Physiological Reviews* 73, 725-764.
- Frangolias DD, Holloway CL, Vedal S, Wilcox PG. 2003. Role of Exercise and Lung Function in Predicting Work Status in Cystic Fibrosis. *Am J Respir Crit Care Med* 167, 150-157.
- Goldstein RS, Gort EH, Stubbing D, Avendano MA, Guyatt GH. 1994. Randomized controlled trial of respiratory rehabilitation. *Lancet* 344, 1394-1397.
- Guyatt GH, Townsend M, Pugsley SO, Keller JL, Short HD, Taylor DW, Newhouse MT. 1987. Bronchodilators in chronic air-flow limitation. *Am Rev Respir Dis* 135, 1069-1074.
- Haug E, Sand O, Sjaastad OV, Toverud KC. 1995. *Ihmisen fysiologia*. Porvoo: WSOY.
- Himann JE, Cunningham DA, Rechnitzer PA, Paterson DH. 1988. Age-related changes in speed of walking. *Med Sci Sports Exerc* 20, 161-166.
- Hulens M, Vansant G, Claessens AL, Lysens R, Muls E. 2003. Predictors of 6-minute walk test results in lean, obese and morbidly obese women. *Scand J Med Sci Sports* 13, 98-105.
- Häkkinen K. 1990. *Voimaharjoittelun perusteet. Vaikutusmekanismit, harjoitusmenetelmät ja ohjelmointi*. Jyväskylä: Gummerus Oy.
- Häkkinen K, Mäkelä J, Mero A. 2004. *Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Voima*. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 251-292.
- Janssens JP, Pache JC, Nicod LP. 1999. Physiological changes in respiratory function associated with ageing. *Eur Respir J* 13, 197-205.
- Johnson BD, Dempsey JA. 1991. Demand vs. Capacity in the Aging Pulmonary System. *Exerc Sports Sci Rev* 19, 171-210.
- Johnson BD, Reddan WG, Pegelow DF, Seow KC, Dempsey JA. 1991. Flow Limitation and Regulation of Functional Residual Capacity during Exercise in a Physically Active Aging Population. *Am Rev Respir Dis* 143, 960-967.
- Järvinen K, Rekola M, Korhonen O. 1990. Spirometriatutkimus – voiko tulokseen luottaa. *Suom Lääkäril* 45, 2772-2773.
- Kallinen M. 2003. *Kestävyys*. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) *Gerontologia*. Helsinki: Duodecim, 110-116.
- Keskinen KL. 2004. *Kuormitusfysiologia. Hengitys- ja verenkiertoelimistö ja kuormitus*. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 73-96.

Knudson RJ, Lebowitz MD, Holberg CJ, Burrows B. 1983. Changes in the Maximal Expiratory Flow-Volume Curve with Growth and Aging. *Am Rev Respir Dis* 127, 725-734.

Korhonen M. 2003. Nopeus. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) *Gerontologia*. Helsinki: Duodecim, 117-122.

Lake FR, Henderson K, Briffa T, Openshaw J, Musk AW. 1990. Upper-Limb and Lower-Limb Exercise Training in Patients with Chronic Airflow Obstruction. *Chest* 97, 1077-1082.

Marin JM, Carrizo AJ, Gascon M, Sanchez A, Gallego B, Celli BR. 2001. Inspiratory Capacity, Dynamic Hyperinflation, Breathlessness, and Exercise Performance during the 6-Minute-Walk Test in Chronic Obstructive Pulmonary Disease. *Am J Respir Crit Care Med* 163, 1395-1399.

Masoro EJ. 2003. Physiology of Aging. In RC Tallis, HM Fillit (eds.) *Brocklehurst's Textbook of Geriatric Medicine and Gerontology*. 6th ed. London: Churchill Livingstone, 91-100.

McArdle WD, Katch FI, Katch VL. 1994. *Essentials of exercise physiology*. Philadelphia: Lea & Febiger.

McClaran SR, Babcock MA, Pegelow DF, Reddan WG, Dempsey JA. 1995. Longitudinal effects of aging on lung function at rest and exercise in healthy active fit elderly adults. *J Appl Phys* 78, 1957-1968.

McGavin CR, Gupta SP, Lloyd EL, McHardy GJR. 1977. Physical rehabilitation for the chronic bronchitis: results of a controlled trial of exercises in the home. *Thorax* 32, 307-311.

McGavin CR, Gupta SP, McHardy GJR. 1976. Twelve-minute walking test for assessing disability in chronic bronchitis. *BMJ* 1, 822-823.

Mero A. 2004a. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Taito ja tekniikka. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 241-250.

Mero A. 2004b. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Rentous. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 311-314.

Mero A, Helimäki E. 2004. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Taktiikka. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 371-376.

Mero A, Holopainen M. 2004. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Notkeus. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 364-369.

Mero A, Jouste P, Keränen T. 2004. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Nopeus. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) *Urheiluvalmennus*. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 293-310.

- Nummela A. 2004. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Nopeuskestävyys. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) Urheiluvalmennus. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 315-332.
- Nummela A, Keskinen KL, Vuorimaa T. 2004. Fyysisten ominaisuuksien harjoittaminen ja seuranta. Kestävyys. Teoksessa A Mero, A Nummela, K Keskinen, K Häkkinen (toim.) Urheiluvalmennus. Jyväskylä: VK-Kustannus Oy, 333-363.
- Oja P. 1999. Fyysinen kunto ja terveyskunto: mitä ne ovat ja miten niitä mitataan. Teoksessa I Vuori, S Taimela (toim.) Liikuntalääketiede. 2. painos. Vammala: Duodecim, 57-72.
- Ostrosky KM, VanSwearingen JM, Burdett RG, Gee Z. 1994. A Comparison of Gait Characteristics in Young and Old Subjects. *Physical Therapy* 74, 637-646.
- Pajala S, Sihvonen S, Era P. 2003. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) *Gerontologia*. Helsinki: Duodecim, 123-142.
- Pezzoli L, Giardini G, Consonni S, Dallera I, Bilotta C, Ferrario G, Cristina Sandrini M, Annoni G, Vergani C. 2003. Quality of spirometric performance in older people. *Age Ageing* 32, 43-46
- Pinto-Plata VM, Cote C, Cabral H, Taylor J, Celli BR. 2004. The 6-min walk distance: change over time and value as a predictor of survival in severe COPD. *Eur Respir J* 23, 28-33.
- Quanjer PH, Tammeling GJ, Cotes JE, Pedersen OF, Peslin R, Yernault J-C. 1993. Lung volumes and forced ventilatory flows. Report working party standardization of lung function tests European community for steel and coal. Official statement of the European Respiratory Society. *Eur Respir J* 6, S5-40.
- Rantanen T, Sakari-Rantala R. 2003a. Itsenäinen liikkumiskyky ja sen ylläpito vanhuudessa. Teoksessa A Hietanen, T-M Lyyra (toim.) *Iäkkään väestön terveyden ja toimintakyvyn ylläpitäminen ja edistäminen*. Sosiaali- ja terveystieteiden tutkimuskeskuksen selvityksiä 2003:2, 99-115. Helsinki: Edita Prima Oy.
- Rantanen T, Sakari-Rantala R. 2003b. Toimintatellit. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) *Gerontologia*. Helsinki: Duodecim, 280-286.
- Rantanen T, Viljanen A, Heikkinen E, Tiainen K, Pajala S, Alén M, Era P, Koskenvuo P, Suominen H, Kaprio J. 2003. Geneettisten ja ympäristötekijöiden merkitys toiminnanvajausten kehittymisessä – The Finnish Twin Study on Aging (FITSA). *Gerontologia* 1, 3-11.
- Redelmeier DA, Bayoumi AM, Goldstein RS, Guyatt GH. 1997. Interpreting Small Differences in Functional Status: The Six Minute Walk Test in Chronic Lung Disease Patients. *Am J Respir Crit Care Med* 155, 1278-1282.
- Robergs RA. 1997. Pulmonary Function and Adaptation to Exercise. In SO Roberts, RA Robergs, P Hanson (eds.) *Clinical Exercise Testing and Prescription. Theory and Application*. Boca Raton: CRC-press, 23-46.

- Sakari-Rantala R, Era P, Rantanen T, Heikkinen E. 1998. Associations of Sensory-Motor Functions with Poor Mobility in 75- and 80-Year-Old People. *Scand J Rehab Med* 30, 121-127.
- Shephard RJ. 1990. *Fitness in Special Populations*. Champaign: Human Kinetics.
- Shephard RJ 1997a. *Aging, Physical Activity, and Health*. Champaign: Human Kinetics.
- Shephard RJ. 1997b. Gender, Aging and Exercise. In SO Roberts, RA Robergs, P Hanson (eds.) *Clinical Exercise Testing and Prescription. Theory and Application*. Boca Raton: CRC-press, 71-89.
- Sherman CB, Kern D, Richardson ER, Hubert M, Fogel BS. 1993. Cognitive Function and Spirometry Performance in the Elderly. *Am Rev Respir Dis* 148, 123-126.
- Sipilä S, Rantanen T. 2003. Lihasvoima. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) *Gerontologia*. Helsinki: Duodecim, 99-109.
- Sovijärvi A, Malmberg P. 2003. Keuhkojen toimintakokeiden valinta. Teoksessa A Sovijärvi, A Ahonen, J Hartiala, E Länsimies, S Savolainen, V Turjanmaa, E Vanninen (toim.) *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Karisto Oy Hämeenlinna: Duodecim, 273-283.
- Sovijärvi A, Piirilä P. 2003a. Keuhkojen toimintakokeisiin valmistautuminen. Teoksessa A Sovijärvi, A Ahonen, J Hartiala, E Länsimies, S Savolainen, V Turjanmaa, E Vanninen (toim.) *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Karisto Oy Hämeenlinna: Duodecim, 167-169.
- Sovijärvi A, Piirilä P. 2003b. Ventilaatiokyvyn ja keuhkotilavuuksien mittaukset. Teoksessa A Sovijärvi, A Ahonen, J Hartiala, E Länsimies, S Savolainen, V Turjanmaa, E Vanninen (toim.) *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Karisto Oy Hämeenlinna: Duodecim, 170-187.
- Sovijärvi A, Piirilä P, Korhonen O, Louhiluoto E, Pekkanen L. 2004. Spirometria- ja PEF-mittausten suoritus ja arviointi. Suomen Kliinisen Fysiologian Yhdistyksen ja Suomen Keuhkolääkäriyhdistyksen suositus. *Moodi*. Erillisjulkaisu 6. 8. painos. Helsinki.
- Sovijärvi A, Salorinne Y. 2003. Hengityselimistön fysiologiaa ja patofysiologiaa. Teoksessa A Sovijärvi, A Ahonen, J Hartiala, E Länsimies, S Savolainen, V Turjanmaa, E Vanninen (toim.) *Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede*. Karisto Oy Hämeenlinna: Duodecim, 143-166.
- Spiriduso WW. 1995. *Physical Dimensions of Aging*. Champaign: Human Kinetics.
- Steffen TM, Hacker TA, Mollinger L. 2002. Age- and Gender-Related Test Performance in Community-Dwelling Elderly People: Six-Minute Walk Test, Berg Balance Scale, Timed Up and Go Test, and Gait Speeds. *Phys Ther* 82, 128-137.
- Suominen H. 1992. Kehon rakenteen ja hengitysfunktioiden mittaaminen. Teoksessa R-L Heikkinen, T Suutama (toim.) *Iäkkäiden henkilöiden toimintakyvyn ja terveyden arviointi*.

Ikivihreät-projekti osa 2. Sosiaali- ja terveysministeriön kehittämisosaston julkaisuja 1991:10. Helsinki: sosiaali- ja terveysministeriö, 70-82.

Suominen H. 1997. Kehon rakenteen ja fyysisen suorituskyvyn muutokset vanhetessa ja liikunta. Teoksessa P Era (toim.) Ikääntyminen ja liikunta. Liikunnan ja kansanterveyden julkaisuja 108. 3. painos. Jyväskylä: Likes-tutkimuskeskus, 17-48.

Suominen H. 2003a. Kehon rakenne ja koostumus. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) Gerontologia. Helsinki: Duodecim, 88-93.

Suominen H. 2003b. Luuston kunto. Teoksessa E Heikkinen, T Rantanen (toim.) Gerontologia. Helsinki: Duodecim, 94-98.

Troosters T, Gosselink R, Decramer M. 1999. Six minute walking distance in healthy elderly subjects. *Eur Respir J* 14, 270-274.

Troosters T, Gosselink R, Decramer M. 2000. Short- and Long-term Effects of Outpatient Rehabilitation in Patients with Chronic Obstructive Pulmonary Disease: A Randomized Trial. *Am J Med* 109, 207-212.

Uusitalo-Koskinen A. 2003. Fyysiset kuormitusvasteet, harjoittelun vaikutukset ja niiden arviointi. Teoksessa A Sovijärvi, A Ahonen, J Hartiala, E Länsimies, S Savolainen, V Turjanmaa, E Vanninen (toim.) Kliininen fysiologia ja isotooppilääketiede. Karisto Oy Hämeenlinna: Duodecim, 609-617.

Viljanen AA, Halttunen PK, Kreuz K-E, Viljanen BC. Spirometric studies in non-smoking, healthy adults. *Scand J Clin Lab Invest* 159, S5-20.

Vuori I. 1976. Fyysisen suorituskyvyn ja kunnan käsitteistä. Teoksessa I Vuori (toim.) Fyysisen kunnan mittaaminen. Helsinki: Suomen Kuntourheiluliitto r.y., 10-13.

Wedzicha JA, Bestall JC, Garrod R, Garnham R, Paul EA, Jones PW. 1998. Randomized controlled trial of pulmonary rehabilitation in severe chronic obstructive pulmonary disease patients, stratified with the MRC dyspnoea scale. *Eur Respir J* 12, 363-369.