

DYNAAMISET KEUHKOTOIMINNAT KILPAUMAREILLA  
MAALLA JA VEDESSÄ SEKÄ MAKSIMAALISEN  
UINTIKUORMITUKSEN YHTEYDESSÄ

Marja Päivinen

Jyväskylän Yliopisto  
Liikuntabiologian laitos  
Liikuntafysiologian pro gradu - tutkielma  
Kevät 2002  
Ohjaajina Kari Keskinen ja Heikki Tikkanen

## TIIVISTELMÄ

*Marja Päivinen Dynaamiset keuhkotoiminnot kilpauimareilla maalla ja vedessä maksimaalisen uintikuormituksen yhteydessä. Liikuntafysiologian pro gradu-tutkielma. Liikuntabiologian laitos. Jyväskylän Yliopisto.*

Hengitys on tärkeä osa kestävyysurheilusuoritusta. Uinnin hengitys eroaa maalla tehtävien lajien hengityksestä monin tavoin. Sisäänhengitys ja uloshengitys tapahtuvat käsivetorytmin mukaan, uloshengitys tapahtuu veden aiheuttamaa vastusta vastaan ja kehonasento on vaakatasossa. Lisäksi ympäröivä vesi puristaa elimistöä ja johtaa lämpöä tehokkaasti vaikuttaen uinnin aikaiseen hengitykseen.

Tässä tutkimuksessa selvitettiin pitkän uintiharjoitustaustan omaavien ja kokeneiden kilpauimareiden hengitystä (ventilaatiota) maalla ja vedessä. Mittauksia suoritettiin keuhkopuhalluskokeella (spirometria) levossa maalla ja vedessä sekä uinnin aikana suoritettuna ventilaation mittauksella. Saatuja lepo hengitysarvoja tarkasteltiin keskenään ennen ja jälkeen uintirasituksen. Lisäksi levossa mitattavista arvoista pyrittiin päättämään mahdollisia yhteyksiä uinninaikaiseen maksimaaliseen ventilaatioon.

Mittaukset suoritettiin altaan reunalla ja vedessä sekä 100 metrin maksimaalisen vapaauintin aikana Cosmed K4 b<sup>2</sup> laitteella, johon oli liitetty snorkkelityyppinen hengitysventtiili. K4b<sup>2</sup> mittasi hengitystä hengitys hengitykseltä (breath by breath) menetelmällä.

Uimareiden ventilaation arvot erosivat viitearvoista siten, että tilavuutta kuvaavat arvot olivat suurempia ja virtausnopeuteen liittyvät arvot pienempiä. Veteenmenolla oli alentava vaikutus spirometrian arvoihin. Vesiympäristön vaikutus oli mittauksissa pienempi kuin kirjallisuudessa on esitetty. Vedessä mitatut spirometrian arvot paranivat maksimaalisen uinnin vaikutuksesta. Uinnin jälkeen vedestä maalle nousu aiheutti spirometrian arvojen paranemisen. Maksimiventilaatio uinnin aikana oli noin 30 litraa pienempi naisuimareilla kuin miehillä. Tämä johtui erosta kertahengitystilavuudessa, sillä hengitystiheys oli miehillä ja naisilla samansuuruinen. Tarkastellessa ventilaation arvoja levossa ja uintikuormituksessa todettiin, että vedessä uintiasennossa mitatut ventilaation arvot korreloituivat parhaiten uintirasituksen aikaisen maksimaalisen ventilaation kanssa. Tutkimuksen johtopäätöksenä oli, että harjoitelleiden kilpauimareiden ventilaatiofunktio eroaa normaaliväestöstä. Tämä ero voi johtua uintiharjoittelun spesifisestä adaptaatiosta tai ominaisuuksista, jotka uinnin pariin valikoituneilla on jo luonnostaan. Koska uimareilla hengityksen virtausnopeuteen liittyvät puhallusarvot olivat keskiarvoa pienemmät, uimareiden ventilaatiofunktio tulisi tulevaisuudessa tutkia virtausnopeuksia paremmin kuvaavan virtaustilavuussilmukka-analyysin avulla.

Avainsanat: uinti, ventilaatio, spirometria.

## TEKSTISSÄ ESIINTYVÄT LYHENTEET:

CMVV	Laskennallinen arvioitu maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio (litraa·min <sup>-1</sup> )
EELV	Uloshengityksen lopputilavuus (end expiratory lung volume) (litraa)
EILV	Sisäänhengityksen lopputilavuus (end inspiratory lung volume) (litraa)
ERV	Uloshengityksen varatila (Expiratory reserve volume)
FEV <sub>1</sub>	Uloshengityksen sekuntikapasiteetti (litraa)
FEV%	Sekuntikapasiteetin ja nopean vitaalikapasiteetin suhde
FRC	Toiminnallinen residuaalikapasiteetti (litraa)
FVC	Nopea vitaalikapasiteetti, ulospuhallus (Forced Vital Capacity) (litraa)
IC	Sisäänhengityskapasiteetti (inspiratory capacity) (litraa)
IRV	Sisäänhengityksen varatila (inspiratory reserve volume)
MEF50	Maksimaalisen ulospuhalluksen virtausnopeus kun keuhkojen tilavuus on 50% FVC:stä
MEFL	Uloshengityksen maksimaalinen virtaustilavuussilmukka (maximal flow-volume envelope)
MMEF	Maksimaalisen keskivaiheen virtausnopeus (Mean maximal expiratory flow)
VE	Minuuttiventilaatio (Minute Ventilation) (litraa·min <sup>-1</sup> )
MVV	Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio (Maximal Voluntary Ventilation)(litraa·min <sup>-1</sup> )
PEF	Uloshengityksen huippuvirtaus (Peak Expiratory Flow)
PIF	Sisäänhengityksen huippuvirtaus (Peak Inspiratory Flow)
R <sub>f</sub>	Hengitystiheys (kertaa minuutissa)
RV	Jäännöstilavuus (Residual volume) (litraa)
TLC	Kokonaiskeuhkokapasiteetti (total lung capacity) (litraa)
VC	Hidas vitaalikapasiteetti (Vital Capacity) (litraa)
VE/MVV	Ventilatorinen reservi (litraa·min <sup>-1</sup> )
VE <sub>max</sub>	Rasituksessa saavutettu korkein minuuttiventilaatio (litraa·min <sup>-1</sup> )
VET	Ventilatorinen kynnyks (ventilatory threshold)
VT	Kertahengitystilavuus (tidal volume) (litraa)

# SISÄLLYSLUETTELO

## TIIVISTELMÄ

### TEKSTISSÄ ESIINTYVÄT LYHENTEET

1	JOHDANTO .....	6
2	KIRJALLISUUSKATSAUS .....	7
2.1	Keuhkojen rakenne ja toiminta .....	7
2.1.1	Keuhkotoiminnan tarkoitus .....	7
2.1.2	Keuhkojen anatomia .....	7
2.1.3	Keuhkojen fysiologia .....	10
2.2	Keuhkotoimintojen mittaaminen .....	12
2.3	Keuhkojen toiminta rasituksessa .....	20
2.3.1	Hengityksen säätely .....	20
2.4	Ventilaatio rasituksessa .....	22
2.5	Uinnin vaikutukset ventilaatioon .....	23
2.5.1	Kilpauimarin ominaisuudet .....	23
2.5.2	Olosuhteiden vaikutus hengitykseen .....	24
2.5.3	Uintiharjoittelun vaikutuksia keuhkotoimintaan .....	27
2.6	Yhteenveto .....	29
3	TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEESIT .....	31
4	MENETELMÄT .....	32
4.1	Tutkimuksen kohdejoukko .....	32
4.2	Tutkimusasetelma .....	33
4.3	Mittausmenetelmät .....	34
4.4	Analyysimenetelmät .....	37
5	TULOKSET .....	38
5.1	Uimareiden ventilaatiofunktiot levossa .....	38
5.1.1	Harjoitelleiden uimareiden spirometriatulokset verrattuna viitearvoihin .....	38
5.1.2	Dynaamiset ventilaatiomuuttujat maalla ja vedessä ennen ja jälkeen uintikuormituksen .....	39
5.2	Ventilaatio uintirasituksessa .....	43
5.3	Lepoventilaatiofunktioiden yhteys uinnin maksimaaliseen ventilaatioon .....	44
6	POHDINTA .....	51
6.1	Uimareiden ventilaatio levossa .....	51

6.2	Ventilaatio maalla ja vedessä.....	53
6.3	Ventilaatio uintirasituksessa.....	53
6.4	Uinnin maksimaalisen ventilaation arvioiminen lepomittauksilla.....	54
6.5	Yhteenveto ja johtopäätökset.....	56

## LÄHTEET

## LIITTEET

Liite 1: Hengitysmittausten aikataulu

Liite 2: Tiedote koehenkilöille

# 1 JOHDANTO

Urheilusuorituksessa lihasten hapensaanti on ensiarvoisen tärkeää. Tästä syystä urheilussa tulosten kannalta hengityksellä on suuri merkitys. Hapen kuljettaminen ympäröivästä ilmasta elimistöön tapahtuu keuhkotuuletuksen eli ventilaation avulla. Uudessa keuhkotuuletus ja hapensaanti on rajoittunut kasvojen ollessa suurimman osan aikaa vedessä. Hengitys tapahtuu uinnissa käsivetojen mukaan rytmittämällä uintiliikkeiden tahtiin. Uitavat kilpailumatkat ovat 50 metristä 1500 metriin ja niiden kesto vaihtelee paristakymmenestä sekunnista yli 15 minuuttiin. (www.fina.results) Koska useimmilla uintimatkoilla vaaditaan kestävyysominaisuuksia, on tehokkaalla hengityksellä merkittävä osuus uintisuorituksessa. Hengitystaktiikka kilpailuissa, ajoitus ja rytmitys, vaativat hengityselimistöltä parasta mahdollista toiminnallista kapasiteettia optimaalisessa uintisuorituksessa. Koska uinnissa sisäänhengitys määräytyy käsivetojen mukaan on siihen käytettävä aika lyhyt. Sisäänhengitys tapahtuu täyttämällä keuhkot nopeasti kun taas uloshengitys tapahtuu hitaasti veteen. (Maclisho 1993, 390-391)

Uinnin aikainen hengitys eroaa maalla tehtävien kestävyyslajien hengityksestä monella tavalla. Eroja aiheuttavat esimerkiksi vesiympäristö, uintiasento (Weiler-Ravell et al. 1983) ja uintisuorituksen vaatimukset ja uimarin harjoitustaso (Holmer 1972). Juoksun ja pyöräilyn maksimaalista ventilaatiota voidaan arvioida lepomittausten avulla. (Wasserman 1994, 123) Saman periaatteen toimivuutta uinnissa ei tietävästi ole aiemmin tutkittu.

Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella terveiden kilpauimareiden keuhkotuuletusta. Mielenkiinnon kohteena oli kuinka veteen meno sekä maksimaalinen uinti vaikuttivat uimareiden hengitykseen. Lepomittauksia ennen ja jälkeen maksimaalisen uinnin suoritettiin maalla ja vedessä. Huomio kiinnittyi myös maksimaalisen uinnin aikaiseen ventilaatioon ja siihen kuinka keuhkojen toimintaa kuvaavat mittaukset vastasivat maksimaalisen uintirasituksen aikana saavutettuja mittaustuloksia.

## **2 KIRJALLISUUSKATSAUS**

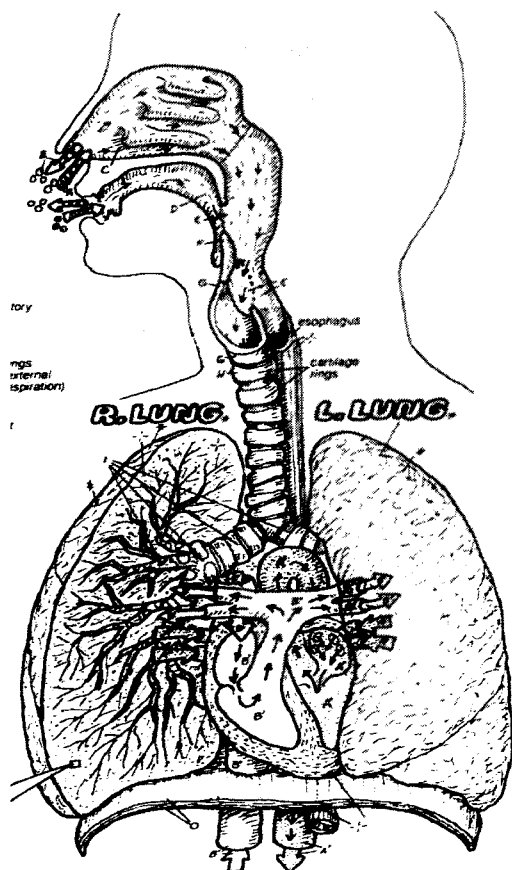
### **2.1 Keuhkojen rakenne ja toiminta**

#### **2.1.1 Keuhkotoiminnan tarkoitus**

Hengityksen tarkoituksena on kuljettaa kaasuja ympäristön ja elimistön solujen välillä. Keuhkojen pääasiallisena tehtävänä on kaasujen vaihto ulkoilman ja keuhkojen välillä. Toisinsanoen keuhkojen tehtävänä on muuttaa kudoksista tuleva vähähappinen laskimoveri kaasujen vaihdon avulla runsashappiseksi kudoksiin meneväksi valtimovereksi. Kaasujen vaihto tapahtuu keuhkorakkuloissa eli alveoleissa, joissa keuhkovaltimoista tulevan veren ja keuhkoputkista tulevan ilman välinen kalvo on äärettömän ohut ja optimaalinen kaasujenvaihdolle. (West 1995 21-31) Ilmanvirtausta alveoleihin ja niistä ulos kutsutaan keuhkotuuletukseksi (ventilaatio). Hengityksen lisäksi keuhkoilla on myös muita tehtäviä elimistössä kuten mm. toimia verivarastona ja suodattaa myrkyllisiä aineita.(West 1995, 1-11) Rasituksessa hapen tarve lisääntyy, ja silloin kaasujen vaihdon on myöskin lisääntyttävä, jotta hapen diffuusio alveoleista kapillaareihin ja hiilidioksidin siirtyminen kapillaareista alveoleihin tapahtuisi riittävän tehokkaasti. (Tikkanen H ja Peltonen 2001;West 1995,1-11)

#### **2.1.2 Keuhkojen anatomia**

Keuhkoihin vievät hengitystiet voidaan jakaa ylä- ja alahengitysteihin siten, että ylähengitysteihin kuuluvat nenän, suun, nielun sekä kurkunpään alueet. Kurkunpäästä jatkuvat alahengitystiet, joita ovat henkitorvi ja siitä edelleen jatkuvat keuhkoputket. (Kuva 1)



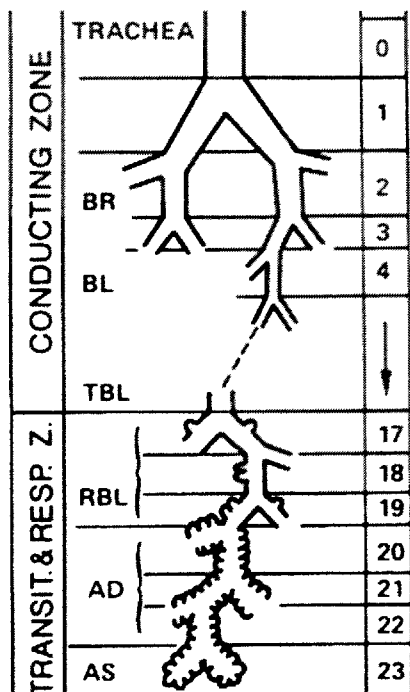
KUVA 1. Ylä- ja alahengitystiet (Kapit ym. 2000, 48).

Ilma virtaa hengittäessä suun, nenän, nielun ja kurkunpään kautta henkitorveen, josta hengitystiet jakaantuvat oikeaan ja vasempaan keuhkoon johtavaksi kahdeksi suureksi keuhkoputkeksi. Keuhkoputket haarautuvat pienemmiksi ja pienemmiksi keuhkoputkiksi, jotka johtavat ilman lopulta alveoleihin. Kulkiessaan hengitysteissä sisään hengitetty ilma puhdistuu epäpuhtauksista, lämpenee kehon lämpötilaan ja muuttuu kosteaksi ennen saapumistaan alveoleihin. (McArdle 1991, 235-252)

Henkitorvesta jakautuneet pääbronkukset jakautuvat edelleen pienemmiksi bronkuksiksi, joista ne haarautuvat edelleen pienemmiksi keuhkoputkiksi eli bronkioleiksi, kunnes keuhkoputkisto on jakaantunut 16 kertaa. Alveoleja sisältämättömät keuhkoputket ovat johtavia ilmäteitä kaasujen vaihto alueelle eli respiratoriseen yksikköön. Viimeisiä keuhkoputkia, joissa ei vielä ole alveoleja kutsutaan terminaalibronkioleiksi. Terminaalibronkioleista haarautuvat seuraavat kolme putkistohaaraamaa ovat nimeltään respiratorisia bronkioleja, jotka sisältävät alveoleja ja niissä tapahtuu kaasujen vaihtoa. Seuraavaksi haarautuvat putket ovat alveolaarisia käytäviä (alveolar ducts), jotka johtavat keuhkorakkulasäkkiin (alveolar sack), tilaan, joka on täynnä alveoleja. Alveoleja



sisältävä alue keuhkoissa, on kaasujenvaihto- tai keuhkotuuletusalue eli respiratorinen yksikkö. Alveoleja sisältämättömät keuhkoputket muodostavat johtavat ilmatiet kaasua vaihtaviin osiin. Johtavissa ilmateissä ei tapahdu kaasujen vaihtoa, ne muodostavat keuhkojen anatomisen kuolleen tilan. (Kuva 2)



KUVA 2. Keuhkoputkien rakenne (West 1995, 6).

Keuhkot koostuvat oikeasta ja vasemmasta keuhkosta, joista oikea on muodostunut kolmesta ja vasen kahdesta lohkosta. Lohkot jakaantuvat sidekudoksen avulla pienemmiksi jaokkeiksi, joita molemmissa keuhkoissa on kymmenen. Henkitorvesta jakautuneet kaksi pääkeuhkoputkea (bronkusta) jakaantuvat pienemmiksi keuhkoputkiksi siten, että jokaiseen jaokkeeseen kulkee oma keuhkoputken haaransa. Keuhkoputket haaroittuvat johtaen lopulta alveoleihin, joista keuhkokudos pääasiassa muodostuu. Hiussuonisto ympäröi alveoleja, joissa kaasujen vaihto tapahtuu. (West 1995, 1-11)

Molempia keuhkoja ympäröi keuhkopussi (pleura), joka on sileäpintainen kaksilehtinen kalvo. Sisempi lehdistä on kiinni keuhkon pinnassa ja ulompi rintaontelon sisäseinämässä, pallean yläpinnassa ja välikarsinassa. Sisemmän ja ulomman lehden väliin jäävä tila on keuhkopussiontelo eli pleuraontelo. Pleuraontelo on tiivis tila, joka pitää keuhkopussin lehdet kiinni toisissaan. (West 1995, 1-11)

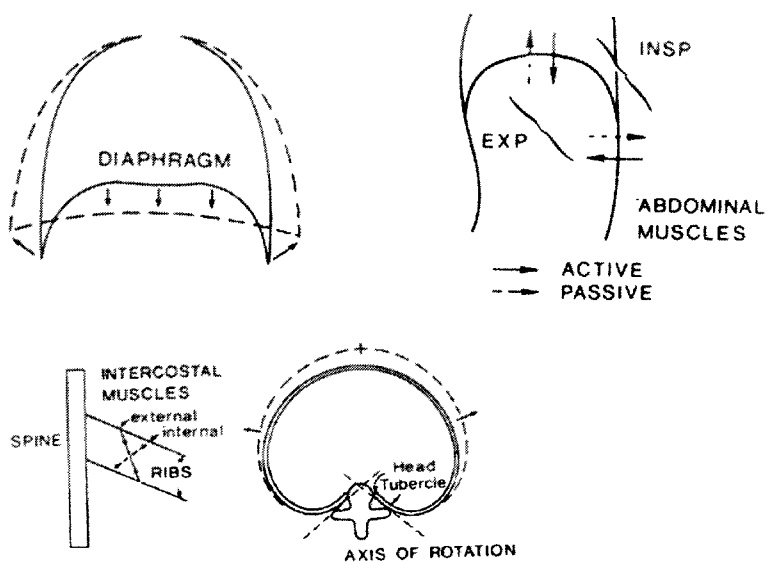
### 2.1.3 Keuhkojen fysiologia

Hengitys tapahtuu rintakehän laajentumisen ja supistumisen avulla. Keuhkoja ja rintakehää toisissaan kiinni pitävät keuhkopussit saavat keuhkot noudattamaan rintakehän liikkeitä. Keuhkot laajentuvat ja supistuvat kahdella tavalla, pallean ylös alas liikkeen avulla sekä kylkiluiden kohoamisella ja laskeutumisella. (West 1995, 89-116)

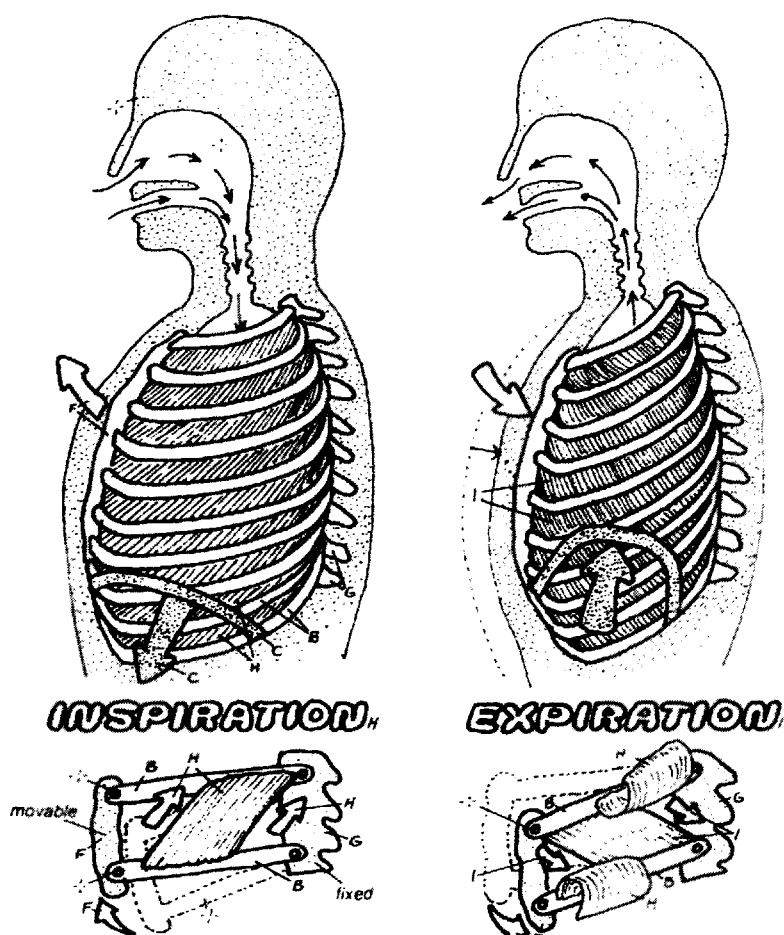
Hengittämiseen osallistuvat useat rintakehän alueen lihakset. Hengityslihakset toimivat keuhkojen ja rintarangan elastisen rakenteen, kudosten viskositeetin- sekä hengitysteiden virtauksen vastusta vastaan. Levossa hengitystoiminta vie 3-5% elimistön koko energiantarpeesta. Hengityslihakset voidaan jakaa sisään- ja uloshengityslihaksiin. Tärkeimmät hengityslihakset ovat pallea ja kylkiluuvälilihakset. (Green ja Moxham 1985)

Sisäänhengityslihaksina toimivat pääosin rintaontelon laajentamiseen osallistuvat lihakset. Pallea supistuessaan lisää rintaontelon tilavuutta alaspäin. Voimakkaassa sisäänhengityksessä mukana ovat myös päännökökkääjälihas, sahalaitaunenlihas sekä kylkiluun kannattajalihakset. Ulkoiset kylkivälilihakset toimivat sisäänhengityksessä nostamalla kylkiluita ja rintalastaa samanaikaisesti sivulle ja eteenpäin. (Green ja Moxham 1985) (Kuvat 3 ja 4)

Uloshengityslihaksia ovat ne lihakset, jotka laskevat ja supistavat rintaonteloa eli suora vatsalihas ja sisemmät kylkivälilihakset (Green ja Moxham 1985) Voimakkaassa hengityksessä suoran vatsalihaksen ja sisempien kylkiluuvälilihasten lisäksi hengitykseen osallistuvat ulommat vinot vatsalihakset. Pallean relaksaation osuus uloshengityksessä on keuhkokudoksen painaminen ylöspäin rintaontelon sisällä pallean palautuessa takaisin kuperaan muotoonsa. (Green ja Moxham 1985) (Kuvat 3 ja 4)



KUVA 3. Hengityslihakset ja niiden aikaansaama liike rintakehässä edestä sivulta ja yläpuolelta kuvattuna. (West 1995, 90-91)..



KUVA 4. Palleen ja kylkililijhasten toiminta sisäänhengityksessä (inspiration) ja ulos hengityksessä (expiration) (Kapit ym. 2000, 49).

## 2.2 Keuhkotoimintojen mittaaminen

Yksinkertaisin menetelmä tutkia ventilaatiofunktioita on uloshengityksen huippuvirtauksen mittaaminen (Peak Expiratory Flow, PEF). Siinä mitataan ulospuhalluksen maksimaalinen vähintään 10 millisekuntia kestävä virtauspiikki. Koska virtauspiikki saavutetaan puhalluksen alkuvaiheessa mittaukseen riittää nopea lyhyt maksimaalisella voimalla suoritettu ulospuhallus, joka tapahtuu, kun keuhkot on ensin vedetty täyteen ilmaa. Jotta mittaustulos olisi luotettava puhallus suoritetaan vähintään kolme kertaa. Mittaustulokseen vaikuttaa koehenkilön hengityselinvoima sekä oikea puhallustekniikka. PEF- arvot ovat riippuvaisia iästä, kehon koosta ja sukupuolesta ja niitä tarkastellaan viitearvojen mukaan. PEF- mittausta käytetään yleisimmin seurattessa astmapotilaiden ventilaatiokyvyn muutoksia. (Sovijärvi 1988, 30) PEF-mittauksessa on ensiarvoisen tärkeää että puhallus suoritetaan oikein. Yleisiä virheitä ovat liian pitkä tai voimaton ulospuhallus. PEF-arvossa kahtena päätekijänä ovat hengityselinvoima ja keuhkojen tilavuus huippuvirtaus vaiheessa.(Kinnula, 1997, 202) Vastaavasti voidaan tutkia sisäänhengityksen huippuvirtausta (Peak Inspiratory Flow PIF), jossa maksimaalinen nopea sisäänhengitys tapahtuu heti maksimaalisen uloshengityksen jälkeen.

Spirometriatutkimuksella mitataan ja kuvataan graafisesti keuhkotuuletuksen osatekijöitä. Spirometriamittaus keskittyy mittaamaan hengityksen kapasiteetteja ja virtauksia eli hengityksen paljetoimintaa. Spirometriassa ei mitata hengityksen kaasujen vaihtoa. Virtaus-tilavuus spirometrin avulla voidaan mitata sisään- ja uloshengityksen tilavuuksia ja virtauksia. Staattisessa spirometriassa mitataan pelkästään hengitystilavuuksia. Dynaamisessa spirometriassa mitataan hengitystilavuuksien lisäksi ilman virtausnopeuksia. Spirometrian avulla voidaan havaita mahdollisia häiriöitä ilmanvirtauksessa keuhkoputkissa.

Standardoidussa spirometriamittauksessa koehenkilö istuu sopivan korkuisella tuolilla hyvässä tukevassa asennossa ryhdikkäänä selkä suorana ja jalat tuettuna maassa. Nenä suljetaan nenäpuristimella puhallusten ajaksi tai mittauksissa käytetään nenäsuumaskia. Suukappaleen on oltava tiiviisti suussa kun mittaus suoritetaan. Luotettavuuden takia on mittauksista saatava vähintään kolme yhteneväistä tilavuus-aika käyrää, jotka on puhallettu oikealla tekniikalla. Tämän jälkeen käyrästä analysoidaan sekuntikapasiteetti

(Forced Expiratory Volume in one second, FEV<sub>1</sub>) ja nopea vitaalikapasiteetti (Forced Vital Capacity, FVC) joiden kahden suurimman arvon erotus ei saa olla yli 4% jotta mittaus on luotettava. (Sovijärvi 1988, 29-49) Ennen mittauksia koehenkilölle ilmoitetaan hyvissä ajoin etukäteen kuinka valmistautua mittauksiin. Ennen mittausten alkamista koehenkilöllä on oltava vahvan aterian ja piristävien juomien nauttimisesta vähintään kaksi tuntia aikaa ja alkoholin nauttimisesta vähintään 24 tuntia. (Sovijärvi 1988, 29-49). Lisäksi ennen mittauksia toimintaohjeiden antamiseen koehenkilölle on varattava aikaa.

Terveen aikuisen ihmisen keuhkot ovat ilmatilavuudeltaan noin neljä litraa riippuen henkilön iästä koosta ja sukupuolesta. Anatomisen kuolleen tilan osuus on noin 1,5 litraa. Normaalin yksittäisen hengityksen ilmamäärä, joka hengitetään sisään ja ulos on kertahengitystilavuus (tidal volume, VT). Terveillä henkilöillä VT on levossa normaalisti noin puolesta litrasta yhteen litraan. Kun normaalin hengityksen jälkeen hengitetään sisään maksimaalisesti, hengitettyä ilmamäärää kutsutaan sisäänhengityksen varatilaksi (IRV inspiratory reserve volume) IRV on yleisimmin 2,5 litrasta 3,5 litraan.

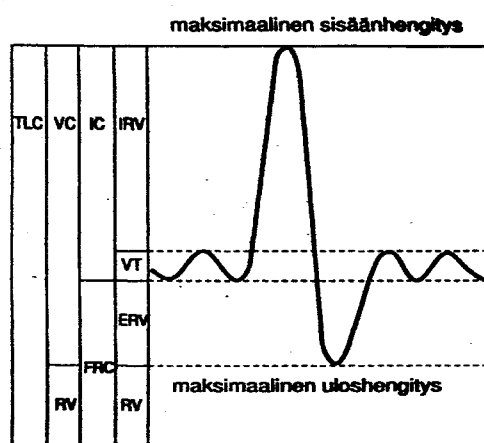
(Sovijärvi 1988, 29-49)

Kun normaalin hengityksen jälkeen hengitetään maksimaalisesti ulos, mitattua ilmamäärää kutsutaan uloshengityksen varatilaksi (ERV expiratory reserve volume). ERV on normaalisti yhdestä litrasta puoleentoista litraan. Maksimaalista sisäänhengitystä seuraavan maksimaalisen uloshengityksen tilavuutta nimitetään nopeaksi vitaalikapasiteetiksi (FVC, forced vital capacity). FVC on miehillä keskimäärin neljästä viiteen litraan ja naisilla kolmesta neljään litraan. Huippu-urheilijoilla on raportoitu jopa seitsemän tai kahdeksan litran FVC arvoja. Suurien staattisten keuhkokapasiteettien taustalla kirjallisuudessa uskotaan olevan enemmän geneettiset syyt kuin harjoittelun aiheuttamat muutokset. (Guyton 1996, 482-485) Kuitenkin kauan harjoitelleiden urheilijoiden FVC on selkeästi laajempi verrattuna tavallisiin ihmisiin. Kokonaiskapasiteetin suurentumisessa ei tutkimuksissa ole havaittu johdonmukaista eroa urheilijoiden ja tavallisten ihmisten välillä. (Åstrand ym., 222-240)

Maksimaalisen ulospuhalluksen jälkeen keuhkoihin jäävä ilmatilavuus on jäännöstilavuus eli residuaalivolyyymi (residual volume, RV). RV on miehillä yleensä keskimäärin 1,2 litrasta 1,4 litraan ja naisilla yhdestä litrasta 1,2 litraan, eli noin 25% VC:stä. RV:n

merkitys keuhkoissa on, että sen ”ansiosta” alveoleissa on jatkuvasti ilmaa kaasujen vaihtoa varten riippumatta sisään ja uloshengityksestä ja niiden syvyydestä. Residuaalivolyyymi saattaa olla hetkellisesti suurentunut välittömästi rasituksen jälkeen. Residuaalivolyyymi RV yhdessä vitaalikapasiteetin FVC kanssa muodostaa kokonaiskeuhkokapasiteetin (total lung volume, TLC). (Wilmore 1969)

Tavallisessa hengityksessä uloshengityksen jälkeen keuhkoihin jäävän ilman tilavuus on funktionaalinen residuaalikapasiteetti FRC (functional residual capacity, FRC). (Guyton 1996, 483) esitetty kuvassa 5.

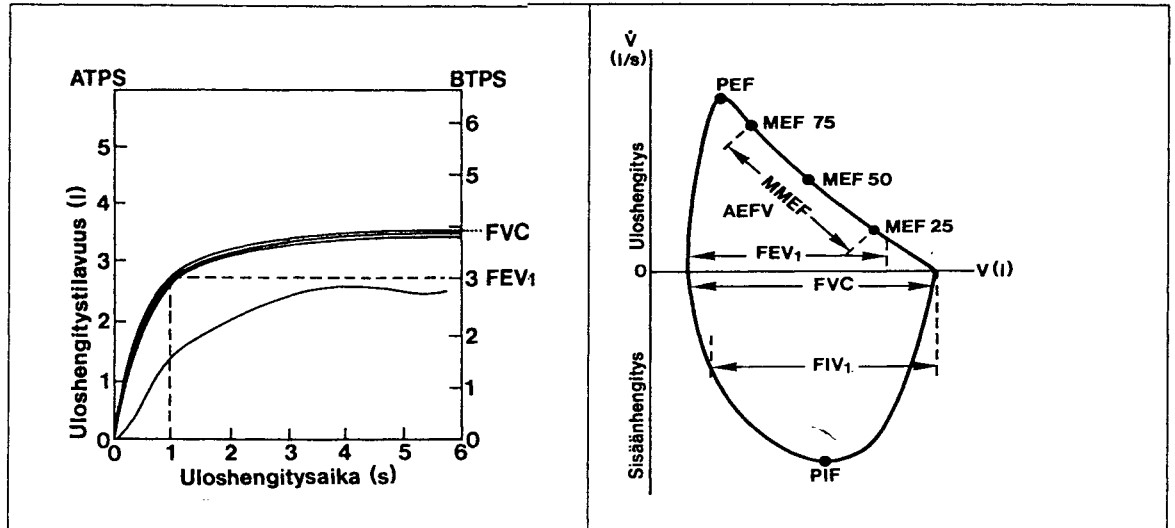


- TLC = kokonaiskapasiteetti
- VC = hidas vitaalikapasiteetti
- RV = jäännöstilavuus
- IC = sisäänhengityskapasiteetti
- FRC = toiminnallinen jäännös kapasiteetti
- IRV = sisäänhengityksen varatila
- VT = lepo hengitystilavuus
- ERV = uloshengityksen varatila

KUVA 5. Keuhkojen staattiset kapasiteetit (Uusitalo 1988, 31).

Spirometrin avulla staattisista keuhkotilavuuksista voidaan mitata hidas vitaalikapasiteetti (Vital Capacity, VC), kertahengitystilavuus (Tidal Volume, VT) uloshengityksen varatila (Expiratory reserve volume, ERV), sisäänhengityksen varatila (Inspiratory Reserve Volume, IRV) sekä sisäänhengityskapasiteetti (Inspiratory Capacity, IC), joka on VT:n ja IRV:n summa. Residuaalivolumen eli jäännöstilavuuden RV, toiminnallisen jäännöstilavuuden FRV ja kokonaiskapasiteetin TLC määrittämisessä voidaan käyttää muita menetelmiä, kuten esimerkiksi helium -menetelmää. (Sovijärvi 1988, 31)

Dynaamisen spirometrian arvoista  $FEV_1$ , kuvaa maksimaalista ventilaatiokykyä parhaiten. Nopea vitaalikapasiteetti (Forced Vital Capacity, FVC) kuvaa keuhkojen toiminnallista tilavuutta parhaiten.  $FEV_1$  ja FVC voidaan mitata virtaus-tilavuus spirometrin avulla. Voimistetussa maksimaalisessa uloshengityksessä tulos rekisteröidään joko uloshengitettyinä tilavuutena ajan funktiona eli tilavuus-aika kuvaajana tai uloshengitysvirtauksena ulos hengitetyn tilavuuden funktiona eli virtaus-tilavuus kuvaajana, kuva 6. (Sovijärvi 1988, 38)



KUVA 6. Tilavuus-aika-kuvaaja (Sovijärvi 1988, 31) ja virtaus-tilavuuskuvaaja (Sovijärvi 1988, 31).

Terveillä henkilöillä  $FEV_1$ :n prosenttiosuus eli  $FEV_1\%$  on noin 80% FVC:stä. PEF kertoo maksimaalisen ulospuhalluksen alun korkeimmasta virtauspiikistä. Muita dynaamisen spirometrian suureita ovat maksimaalisen puhalluksen keskivaiheen virtausnopeus (Maximal mid-expiratory flow, MMEF), ja maksimaalisen puhalluksen virtausnopeus kun keuhkojen tilavuus on 50% FVC:stä ( $MEF_{50}$ )

Virtaus-tilavuus spirometrin avulla voidaan myös seurata virtausdynamiikkaa puhalluksen eri vaiheissa ulos- ja sisäänhengityksen aikana. Maksimaalisen puhalluksen alkuvaiheen tuloksiin kuten PEF ja  $MEF_{75}$  arvoihin vaikuttavat suurten hengitysteiden läpimitta ja puhallukseen käytetty lihasvoima.  $MEF_{75}$  kuvaa virtauksen määrää kun keuhkojen tilavuus on 75% FVC:stä. Lihasvoiman merkitys virtaukselle vähentyy selvästi kun noin 40% tilavuudesta on puhallettu. Näin ollen virtausarvot  $MEF_{50}$  ja  $MEF_{25}$  ovat riippuvaisia pääosin keskisuurten ja pientenhengitysteiden läpimitasta ja kimmoisuudesta. (Uusitalo 1988, 29-49) Puhalluskäyrästä voidaan myös laskea

flow). Laskeminen tapahtuu siten, että otetaan kahden keskimmäisen tilavuusneljänneksen ja niiden puhaltamiseen käytetyn ajan suhde. MMEF:stä voidaan päätellä ilman virtauksen helppoutta keskisuurissa ja pienissä hengitysteissä.

Ventilaation arvoihin vaikuttavat henkilön ikä, sukupuoli ja koko. Näiden muuttujien avulla on spirometrian mittauksia varten laadittu viitearvot, joilla voidaan määrittää mahdollinen ventilaation poikkeavuus. Mikäli rasituksen jälkeinen FEV<sub>1</sub>:n lasku on suurempi kuin 6% tai PEF:n lasku yli 17% voitaisiin tulosta pitää poikkeavana (Tikkanen H.O. 1996). Muita mittaustuloksiin vaikuttavia tekijöitä ovat hengityselinten toiminta sekä hengitystekniikka, keuhkojen elastisuusominaisuudet, rakenteelliset seikat kuten rintarangan jäykkyys sekä asento, jossa henkilö puhaltaa.

Keuhkotuuletus eli ventilaatio ilmoitetaan litroina minuutissa. Kokonaisventilaatio (total ventilation) koostuu kertahengityksistä (tidal volume, VT) ja niiden lukumäärästä minuutissa eli hengitystiheydestä (respiratory frequency, Rf). Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio (maximal voluntary ventilation, MVV) kuvaa suurinta ilmamäärää, jota hengitetään levossa mahdollisimman nopeasti sisään ja ulos ajan funktiona. Rasituksen aikana saavutettua suurinta ventilaatiota kutsutaan maksimaaliseksi ventilaatioksi VEmax (l·min<sup>-1</sup>).

Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio, MVV kuvaa ilmamäärää, jonka henkilö tahdonalaisesti pystyy toistuvasti maksimaalisesti hengittämään sisään ja ulos. MVV mittauksessa koehenkilö hengittää maksimaalisesti sisään ja ulos 10-15 sekuntia, tulos ilmoitetaan litroina minuutissa (l·min<sup>-1</sup>). (Miller 1987) Mittauksissa henkilö saa itse valita hengitystiheyden. Joissakin tilanteissa se voidaan myös määrätä kuten esim. 40 krt·min<sup>-1</sup> jolla hän pystyy hengittämään sisään ja ulos suurimman mahdollisen ilmamäärän mahdollisimman nopeasti. (Sovijärvi 1988, 29-49) MVV:n mittauksen onnistuminen on riippuvainen koehenkilön motivaatiosta ja panostuksesta suorittaa maksimaalisen sisään ja ulos hengitys. Jos MVV mittauksen suorittaminen on testattavalle vaikeaa, vaadittaessa oikeaa suoritustekniikkaa ja täyttä panostusta, voidaan apuna käyttää laskennallisesti arvioitua MVV:tä (Wasserman 1999, 124).



MVV on normaalisti noin 25% suurempi kuin rasituksen aikainen maksimaalinen venilaatio (McArdle 1991, 423). Huippukestävyysurheilijoilla on mittauksista saatu korkeita MVV arvoja. Esimerkiksi mieshiihtäjältä on mitattu lähes kahden ja puolen sadan  $l \cdot \text{min}^{-1}$  :n arvoja (Hanson 1973).

MVV voidaan arvioida myös laskennallisesti laskentakaavojen avulla kun tiedetään koehenkilön  $FEV_1$  tai  $FEV_{0.75}$  tulos kuten taulukossa 1 on esitetty.

TAULUKKO 1. MVV:n määrittämiseen käytettävissä olevia laskenta kaavoja (Wasserman 1994, 124)

$MVV = FEV_1 * 35$	(Gandevia 1957)
$MVV = FEV_{0.75} * 40$	(Cotes 1975),
$MVV = 36,8 * FEV_1 - 2.8$	(Cotes 1975)
$MVV = FEV_1 * 41$	(Miller 1959)
$MVV = FEV_1 * 40$	(Wasserman 1994, 124)
$MVV = FEV_{0.75} * 46$	(Miller 1959)

Yleisimmin laskennallisesti arvioidun MVV:n määrittämiseen käytetään kaavaa, jossa  $FEV_1$  kerrotaan 35 tai 40:llä (Wasserman 1994, 124). MVV mittauksella saadaan viitteitä sisään ja uloshengityksen mahdollisista dynaamisista rajoituksista sekä muista rajoittavista tekijöistä kuten hengitysilhasten heikkoudesta ja rintaontelon jäykkyydestä (Sovijärvi 1988, 29-49).

MVV arvoa tarvitaan mm. kun halutaan arvioida hengitysreservin suuruus, joka on rasituksessa saavutetun  $VE_{\text{max}}$ :n ja MVV:n suhde. Koska  $FEV_1$ :n ja MVV:n välillä on esitetty olevan yhteys voidaan MVV määrittää arvioimalla laskennallisesti  $FEV_1$ :n avulla.

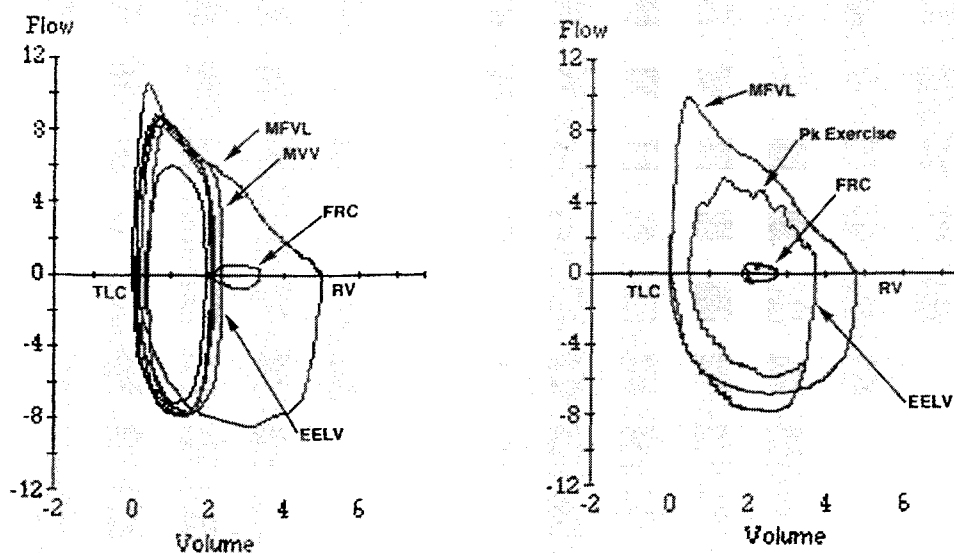
Rasituksen aikaisen  $VE_{\text{max}}$ :n ja MVV:n välistä suhdetta kutsutaan hengitysreserviksi (**Breathing reserve**  $VE/MVV$ ). Sen avulla voidaan kuvata keuhkojen toimintakykyä ja arvioida keuhkojen kapasiteetin riittävyttä rasituksessa. Esimerkiksi henkilöillä, joilla on virtauksen rajoittuneisuus  $FEV_1$  ja MVV ovat laskeneet samassa suhteessa.

Hengitysreservi on terveellä henkilöllä 15-20 litraa minuutissa tai 10-20% MVV:stä. Alhainen hengitysreservi osoittaa, että koehenkilön suorituskyky voi olla rajoittunut hänen ventilaatiokapasiteettinsa takia (Wasserman 1994, 123). Reservin laskun neljä yleisintä syytä ovat valtimoveren vähähappisuus eli arteriaalinen hypoxemia,

valtimoveren happamoituminen eli laktaattikonsentraation noususta aiheutuva arteriaalinen asidoosi, suoritukseen liittyvät pelkotilat ja epävarmuus sekä riittämätön suoritus halutulla rasitustasolla. (Levine 1999). Edellä mainittujen ilmiöiden taustalla hengitysreservin alhaisuuden syynä saattaa olla jokin keuhkosairaus. Myös terveillä henkilöillä saattaa ilmetä suorituskykyä laskevaa hengityksen rajoittuneisuutta. Tähän ilmiöön vaikuttavat mekanismit eivät ole täysin selvillä. (Babb ym. 1997)

Hengityksen virtausta hengitys hengitykseltä (breath by breath, BxB) menetelmällä voidaan kuvata sekä levossa, että rasituksessa virtaustilavuussilmukan (flow volume loop) avulla. Mittaamalla rasiushengityksen virtaustilavuussilmukoita ja paikantamalla ne uloshengityksen lopputilavuuden (End expiratory lung volume, EELV) avulla maksimaalisen hengityksen virtaus-tilavuussilmukan sisään saadaan tarkempaa tietoa ilman virtauksesta keuhkoissa. Virtaustilavuussilmukan avulla voidaan määrittää mahdollinen hengityksen rajoittuneisuus tarkemmin kuin perinteisellä MVV:stä VEmax:sta määritettävällä hengitysreservimenetelmällä. Rasituksen aikaisen virtausrajoittuneisuuden määrittäminen virtaus-tilavuussilmukan avulla tapahtuu mittaamalla kuinka suurelta osin rasituksen aikainen virtaustilavuussilmukka saavuttaa tai ylittää maksimaalisen uloshengityksen virtauskäyrän. Määrä ilmoitetaan tilavuusprosenttina VT:stä (Johnson ym. 1999)

Rasituksen aikaisen VT:n kasvu johtuu EELV:n pienenemisestä ja sisäänhengityksen lopputilavuuden (End Inspiratory Lung Volume, EILV) suurenemisestä. EELV on terveillä henkilöillä noin 75-90% TLC:stä kovassa rasituksessa. Virtaustilavuus silmukka myös kertoo millä keuhkojen osilla hengitys tapahtuu. Esimerkkinä ilman virtaus keuhkoissa kovassa rasituksessa ja MVV mittauksessa.



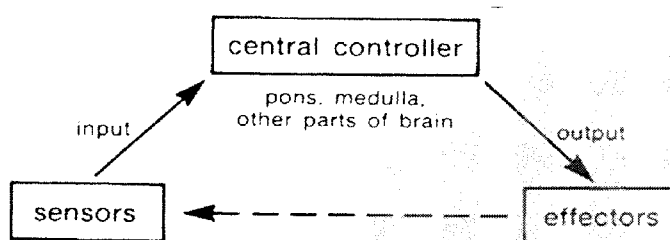
KUVA 7. VEmax ja MVV virtaustilavuussilmukalla esitettyinä (Johnson ym. 1999).

Virtaustilavuussilmukkamenetelmän heikkoutena on rasituksen aikaisten virtaustilavuussilmukoiden paikantaminen oikein, jotta virhearviointia ei tapahtuisi. Myös poikkeaman eli ”drift:in” korjaus voi olla ongelmallista. (Johnson ym. 1999)

## 2.3 Keuhkojen toiminta rasituksessa

### 2.3.1 Hengityksen säätely

Hengityksen säätelyn tarkoituksena on muuttaa hengitystiheyttä ja hengityksen syvyyttä vastaamaan elimistön aineenvaihdunnallisia tarpeita. Hengityksen säätely tapahtuu kolmen eri päätekijän avulla; hengityskeskusten, sensoreiden ja efektoreiden. Hengityskeskukset vastaanottavat informaation, jonka sensorit tuovat. Tämän jälkeen hengityskeskukset lähettävät efektoreiden kautta käskyn hengitysilhaksille. (West 1995 117-133)



KUVA 8. Hengityksen säätely: hengityskeskukset (central controller) ja informaatiota vievät (effectors) ja tuovat (sensors)hermot (West 1995, 118).

Aivojen hengityskeskukset (sisään- ja uloshengityskeskus) sijaitsevat aivorungossa ja ne säätelevät hengityksen rytmiä ja syvyyttä lähettämällä ajoittaisia impulsseja hengitysilhaksille. (West 1995, 117-133)

Hengityksen säätely tapahtuu elimistön kemiallisten muutosten kautta (humoraalinen säätely). Sentraaliset kemoreseptorit aivoissa reagoivat veren hiilidioksidin ja vetyionien konsentraatioiden muutoksiin, jolloin hengityskeskukset vastaavat lisäämällä tai vähentämällä hengityksen syvyyttä ja tiheyttä. Perifeeriset reseptorit aortan kaareissa ja kaulavaltimon haaraumassa reagoivat veren happiosapaineen sekä myöskin hiilidioksidiosapaineen ja vetyionien tason muutoksiin. Näistä humoraalisen säätelyn stimuluksista merkittävin on hiilidioksidin osapaineen muutos. Hiilidioksidin osapaine ( $PCO_2$ ) noustessaan aiheuttaa hiilihapon muodostumista. Hiilihappo dissosioituu vapauttaen vetyioneita ja aiheuttaen veren happamoitumista, eli pH:n laskua. Kohonnut  $PCO_2$  stimuloi sisäänhengityskeskusta lisäämään hengitystä, poistaakseen liian  $CO_2$ :n elimistöstä ja minimoidakseen pH:n muutokset elimistössä. Mikäli happitasot laskevat suhteessa muihin kaasuihin, kemoreseptorit viestittävät

tiedon hengityskeskukseen, joka vastaa lisäämällä hengitystä. (McArdle 1991, 235-252; Willmore 1994 202-212)

Humoraalisen säätelyn lisäksi hengitystä säädellään myös neuraalisesti. Hengitysteissä ja keuhkoputkien seinämissä sijaitsevat venytysreseptorit lähettävät informaation uloshengityskeskukseen, joka vastaa lyhentämällä sisäänhengityksen kestoa estääkseen liian suuren sisäänhengityksen keuhkoihin (Hering-Breuer refleksi). (Willmore 1994, 202-212; McArdle 1991, 235-252)

Edellä kuvattua säätelyä kutsutaan autonomiseksi säätelyksi. Autonomisen säätelyn lisäksi hengityksessä käytetään myös tahdonalaista säätelyä, joka tapahtuu motorisen aivokuoren kautta. Tarvittaessa autonominen hengityksen säätely ohittaa tahdonalaisen esimerkiksi silloin kun yritetään tahdonalaisesti pidättää hengitystä. (Willmore 1994, 202-212)

Rasituksen aikaisen hengityksen säätelyn uskotaan tapahtuvan useiden tekijöiden yhteistoiminnasta, joka perustuu neuraalisiin ja kemiallisiin ärsykkeisiin. Rasituksen alkaessa neuraalisessa säätelyssä motorinen aivokuori aktivoituu ja kuljettaa impulssin sisäänhengityskeskukseen, joka reagoi lisäämällä hengitystä. Tämä tapahtuu jo ennen kuin rasitus on alkanut. Lisäksi aktiivisissa lihaksissa ja jänteissä olevat liikereseptorit lähettävät palautteen hengityskeskukseen. Elimistön lämmön nousu aiheuttaa hengityksen lisääntymistä. Lihastyöstä aiheutunut lämmön nousu aiheuttaa myös muutoksia ventilaatiossa, mutta sen vaikutuksen osuus hengityksen säätelyssä rasituksen aikana on muihin tekijöihin nähden pieni. Hengityksen kemiallinen säätely rasituksessa perustuu edellä käsiteltyihin kemiallisiin muutoksiin. (McArdle 1991, 235-252; Willmore 1994, 202-212)

## 2.4 Ventilaatio rasituksessa

Rasituksessa ventilaatio lisääntyy lähes lineaarisesti suhteessa hapenkulutukseen, joka puolestaan pääsääntöisesti kasvaa lineaarisesti suhteessa ulkoiseen työkuormaan. Hengityksen minuuttitilavuus kasvaa fyysisen rasituksen mukana aluksi samassa suhteessa fyysisen rasituksen kanssa. Kun hengityksen kaasujen vaihto ei enää vastaa lisääntyneen fyysisen rasituksen vaatimuksia, veren pH laskee. Samanaikaisesti veren puskurointijärjestelmät aktivoituvat ja sen seurauksena CO<sub>2</sub> tuotto lisääntyy ja hengityksen minuuttitilavuus kasvaa (Willmore 1994, 202-212)

Rasituksen alkuvaiheessa ja kevyemmässä rasituksessa hengityksen minuuttitilavuuden kasvu tapahtuu pääosin VT:n kasvusta ja sen jälkeen Rf:n lisääntymisestä. Hengityslihasten työ kasvaa rasituksessa merkittävästi esimerkiksi pallean ylösalainen liike on levossa noin 1 cm kun rasituksessa se voi olla jopa 10 cm. Rasitushengitykseen osallistuu myös muitakin lihaksia, jotka eivät osallistu lepo hengitykseen.

Kertahengitystilavuus VT kasvaa kovassa rasituksessa tasaisesti kunnes se on noin 50-60% vitaalikapasiteetista (McArdle 1991, 270-277). Uinnissa tilanne voi kuitenkin olla toinen, koska hengitys on rajoitettu käsivetojen mukaan. Uudessa kovassa rasituksessa sisäänhengityksessä pyritään täyttämään keuhkot mahdollisimman nopeasti ja täydemmiksi, kuin normaalissa hengityksessä maalla samalla rasitustasolla. (Gordain&Stager 1988)

Kun rasitetaan lisääntyvällä kuormituksella maksimiin asti VT voi kasvaa lepotilan noin 0.5 litrasta 6 litraan. Terveillä nuorilla aikuisilla ventilaatio voi maksimissaan kasvaa noin 25 kertaiseksi verrattuna lepotasoon (Uusitalo 1988, 79). Hengitytaajuus (hengitysfregvenssi) voi hyvin harjoitelleella urheilijalla kovassa rasituksessa kasvaa noin kymmenkertaiseksi (esimerkiksi noin 60-70krt/min)(McArdle 1991, 271-277) Huippu-urheilijoilla on saatu tuloksia, joissa ventilaatio on kohonnut kovassa rasituksessa yli 200 litraan minuutissa (Willmore 1994, 202-212). Uinnin aikana saavutetut VEmax tulokset ovat tutkimuksissa olleet alhaisempia kuin maan päällä saavutetut.

Hengityksen minuuttitilavuuden (VE) (ventilaation) ja samanaikaisen hapenkulutuksen suhdetta ( $VE/VO_2$ ) kutsutaan hapen hengitysekvivalentiksi ( $EQO_2$ ) Hengitysekvivalentti on yleensä 25-30. Terveillä nuorilla aikuisilla suhde on yleensä noin 25 ja 1, joka tarkoittaa 25 hengitettyä ilma litraa kohden elimistö käyttää 1 litran happea. Ventilatorinen ekvivalentti on progressiivisesti korkeampi lapsilla. Esimerkiksi 6 -vuotiailla lapsilla se on noin 32.

Sub-maksimaalisessa rasituksessa  $EQO_2$  on 20-30 kun taas raskaassa fyysisessä kuormituksessa  $EQO_2$  on 30 – 40. Uinnin aikana  $EQO_2$  on huomattavasti alhaisempi kaikilla energian kulutuksen tasoilla. (McArdle 1991, 278-281; Åstrand 1986, 543-545; MacLisho 1993, 38-43)

## **2.5 Uinnin vaikutukset ventilaatioon**

### **2.5.1 Kilpauimarin ominaisuudet**

Kilpauimareilla on esitetty olevan suurempia keuhkokapasiteetteja kuin normaaliväestöllä tai muiden kestävyyslajien urheilijoilla. Syiksi uimareiden suurille keuhkokapasiteeteille on esitetty vesiympäristön vaikutusta, uintiharjoitteluun liittyviä tekijöitä sekä tietyn tyyppisten henkilöiden valikoitumista uinnin pariin. (Magel ym. 1975)

Huippu-uimarin ominaisuudet voidaan jakaa rakenteellisiin, fysiologisiin, taidollisiin, sekä psyykkisiin ominaisuuksiin. Osa ominaisuuksista on luontaisia eikä niitä voida harjoittelun avulla lisätä tai parantaa. Osa ominaisuuksista kehittyy uintiharjoittelun ohessa ja avulla. Jotkut näistä ominaisuuksista helpottavat uinnissa kehittymistä, ja jotkut edesauttavat lajiin valikoitumista tai siitä poisjäämistä.

Hengitysarvoihin vaikuttavia rakenteellisia seikkoja, kuten esimerkiksi keuhkoputkien läpimittaa ei tietävästi voitaisi uintiharjoittelun avulla muuttaa. Toisaalta uintiharjoittelun on esitetty parantavan hengitysilhasten toimintaa ja rintarangan liikkuvuutta, jotka vaikuttavat hengitysarvojen suuruuteen. Lisäksi on esitetty, että lapsuus-nuoruusiässä tehty harjoittelu edesauttaisi rintakehän kasvua suuremmaksi. (Holmer 1974) Uintia on myös käytetty kuntoutusmuotona keuhkosairauksien hoidossa uinnin alhaisen astmogeneisyyden, eli alhaisen astman oireita esille tuovan ominaisuuden takia. (Bar-Or ja Inbar 1992)

Vertaillen harjoitteleita uimareita ja saman ikäisiä harjoittelemattomia terveitä henkilöitä havaittiin uimareiden olevan rakenteeltaan keskimäärin pidempiä ja painavan enemmän kuin heidän harjoittelemattomat ikätoverit (Magel ym. 1975; Armour ym. 1993)

Hengitysfysiologisia ominaisuuksia vertailtaessa uimareita harjoittelemattomiin samanikäisiin nuoriin havaittiin, että staattisista keuhkotilavuuksista vitaalikapasiteetit ja kokonaiskapasiteetit olivat uimareilla noin litran suurempia ja FRC noin puoli litraa ja RV noin puoli desilitraa suurempi uimareilla kuin harjoittelemattomilla ikätovereilla. Funktionaalisista keuhkokapasiteeteista FEV<sub>1</sub> oli uimareilla keskimäärin lähes litran suurempi ja sekä MVV että Vmax olivat keskimäärin lähes 50 litraa·min<sup>-1</sup> suurempia uimareilla kuin harjoittelemattomilla ikätovereilla. (Magel ym. 1975; Armour ym. 1993)

Tutkimuksissa uimareilla on todettu suhteellisesti suurempia keuhkokapasiteetteja kuin muilla kestävyyslajien urheilijoilla. (Cordain ja Stager 1988; Armour ym. 1993) Syiksi suurentuneeseen keuhkokapasiteettiin uimareilla on esitetty lajiin valikoitumista ja uintiharjoittelun seurauksena tapahtuneita adaptaatioita keuhkoissa. Henkilöt, joilla on luontaisesti suuret keuhkokapasiteetit kehittyvät ja menestyvät uinnissa ja päinvastoin ne, joilla ei tätä ominaisuutta ole, eivät myöskään todennäköisesti uinnissa menesty ja valikoituvat pois. Tällä tavoin suurilla keuhkotilavuuksilla lienee yhteys uintimenestykseen. Toisaalta uimareille ominaista suurta keuhkotilavuutta ei voida ainoastaan laskea valikoitumisen varaan. Monet tutkijat ovat esittäneet uintiharjoittelussa olevan mekanismeja, jotka aiheuttaisivat adaptaatiota, joka johtaisi keuhkojen laajentumiseen, jollaista ei tapahdu maalla tehtävässä harjoittelussa.

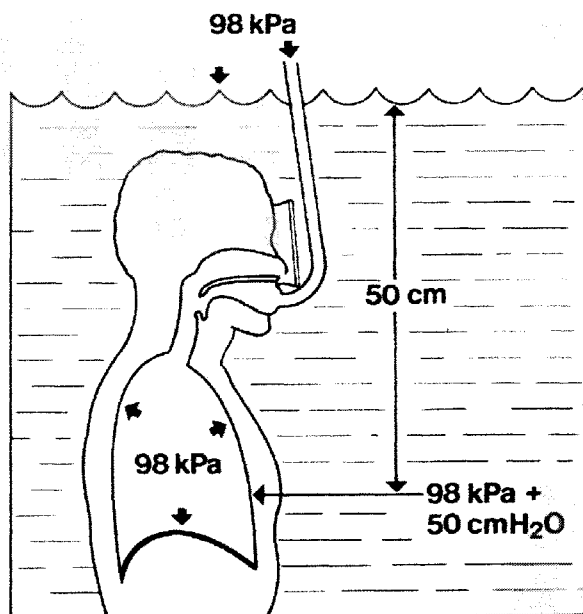
### **2.5.2 Olosuhteiden vaikutus hengitykseen**

Elimistöön kohdistuvien olosuhteiden osalta uinti poikkeaa monella tavalla maalla tehtävistä lajeista, koska uinti tapahtuu horisontaalisessa asennossa, hengitys on rajoitettu, ympäröivä paine on suurempi sekä lämmönjohtuminen on suurempi vedessä. (Holmer 1974)

Uudessa hengitystyötä lisäävät uloshengitys veteen ja kehoa ympäröivän veden rintakehän ympärille aiheuttama hydrostaattinen paine. Ympäröivän veden ”puristuksen” vaikutuksesta verenkierto keskittyy ääreisosista rintakehän sisäpuolelle, mikä aiheuttaa keuhkoille ahtaamman tilan ja samalla vitaalikapasiteetin pienenemisen. Immersiossa eli

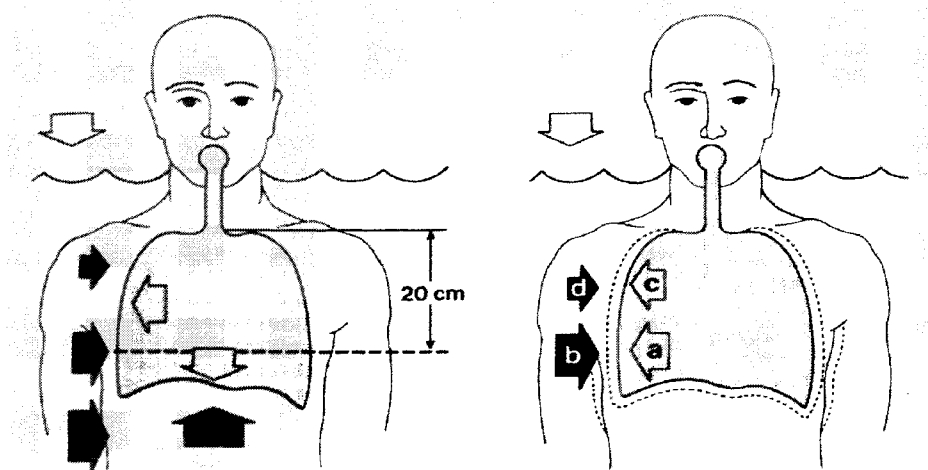


upoksissa vedessä paineen vaikutuksesta keuhkot painuvat kasaan. Kuvassa 10 on esitetty hydrostaattisen paineen vaikutus keuhkoihin.



KUVA 9. Keuhkoissa vallitseva paine veden alla (Laitinen 1990, 635).

Maalla lepotilassa hengitysilhakset työskentelevät vain sisään hengityksessä, koska uloshengitys tapahtuu passiivisena prosessina keuhkojen ja rintakehän elastisuuden aiheuttamana kokoon puristumisena (Epstein 1976). Veteen hengittämisessä joudutaan tekemään työtä myös uloshengityksessä. Uloshengityksessä veden aiheuttama vastus on suurempi kuin ilman. Tällöin myös ilman saamiseksi ulos keuhkoista, joudutaan keuhkoihin muodostamaan suurempi paine kuin kuivalla tapahtuvassa hengityksessä. Toisaalta veden ympäröivä paine avustaa uloshengityksessä rintakehän supistamista ja samalla ulospuhallusta.



KUVA 10. Keuhkojen tilan pieneneminen vedessä. (Laitinen 1990, 303)

Kehoa ympäröivän veden aiheuttaman paineen vaikutuksesta keuhkot painuvat kasaan. Myöskin verenkierto keskittyy puristuksen ansiosta ääreisosista rintakehän sisäpuolelle ja aiheuttaa keuhkojen tilan pienenemisen ja samalla myös vitaalikapasiteetin pienenemisen. Vesiympäristön vaikutuksesta vitaalikapasiteetti laskee eri lähdetietojen mukaan noin 6-11%:ia (Agostoni ym. 1966; Laitinen 1990, 302).

Veden aiheuttama paine vaikuttaa myös ääreisosien mikroverenkiertoon.

Vedessä lämmön johtuminen elimistöön on noin 25 kertainen verrattuna ilmaan. Elimistö reagoi veden lämpötilaan muuttamalla verenkiertoa ja sydämen lyönti taajuutta. Esimerkiksi Houstonin tutkimuksen mukaan kun uidaan tunti tasaisesti submaksimaalisella tasolla, syke nousee tasaisesti altaan veden 27°C:n lämpötilassa. Kolmessa eri vesi lämpötilassa vakioidulla intensiteetillä tapahtuneessa tunnin kestoisessa submaksimaalisessa uinnissa viimeisellä minuutilla otetut sykkeet olivat 33°C:ssa 16 sykäystä korkeammat kuin 21°C:ssa (Houston M. E. 1982). Maksimaalisessa työssä vedessä havaittiin sykearvojen jäävän noin 10 lyöntiä alhaisemmiksi kun vertailtiin samaa räsitusta maalla huonelämpötilassa ja vesiympäristössä 25°C:ssa. Sen sijaan henkilöillä, joilla oli suurempi rasvakerros vastaavaa sykkeen muutosta suhteessa veden lämpötilaan ei havaittu.

Uinnissa hengitystä rytmitetään käsivetojen mukaan. Hengityksen tarve sanelee hengitystiheyden. Lyhytkestoisilla uintimatkoilla hengitystiheys on pienempi. Esimerkiksi uintiteknikan taloudellisuussyistä 50 metrin vapaauintin kilpailusuorituksessa hengitetään vain kerran tai kahdesti. Pidemmällä matkoilla kuten 400, 800 tai 1500 metrin matkoilla uimari

hengittää joka toisella tai joka kolmannella vedolla. Uimarilta vaadittavat aineenvaihdunnalliset ominaisuudet vaihtelevat kilpailtavan uintimatkan ja uintilajin mukaan. (Maclisho 1993, 432-433)

### **2.5.3 Uintiharjoittelun vaikutuksia keuhkotoimintaan**

Uintiharjoittelun avulla keuhkokapasiteettien suurenemisen uskotaan vaikuttavan uinnin aikana tapahtuvasta keuhkojen toistuvasta laajenemisesta kokonaiskapasiteettiin (total lung capacity, TLC), negatiivisesta paineesta sisään hengittäessä, pitkittyneestä uloshengityksestä uinnin aikana, kehon asennosta vaakatasossa sekä jo nuorella iällä aloitettavasta intensiivisestä harjoittelusta (Cordain ja Stager 1988). Lisäksi keuhkojen täyttämässä sisäänhengitysilhakset joutuvat tekemään ylimääräistä työtä laajentaessaan rintakehää veden kokoon painavaa vastusta vastaan (McArdle 1991, 582).

Uinnin vaikutuksia ventilaatioon on tutkittu ja tuloksia on verrattu maalla tehtäviin lajeihin. Tutkimuksissa uinnin aikana saavutetut VEmax:t olivat alhaisempia kuin maalla saavutetut. Samansuuntaisia tuloksia on saatu sekä kilpauimareilla että kuntoilijoilla. Toisaalta uimareilla uinnin aikaiset adaptaatiot olisivat kuitenkin merkittävämpiä ja he saivat uimalla enemmän irti kuin uintia harjoittelemattomat, mikä osoittaa uintisuorituksen spesifisen vaativuuden. Nuoret kuntoilevat opiskelijat, kävivät läpi kymmenen viikon uintiharjoitusjakson, jolloin he harjoittelivat kolme kertaa viikossa tunnin ajan. Heiltä ennen ja jälkeen harjoitusjakson mitattujen juoksu ja uintimittausten mukaan VEmax kasvoi uinnissa puolitoista kertaa enemmän kuin juoksussa. (Magel ym. 1975)

Kaksosilla tehdyssä tutkimuksessa, joissa molemmilla oli uinti tausta, mutta vain toinen oli jatkanut uintiharjoittelua viimeisten kolmen vuoden aikana ennen suoritettuja mittauksia VEmax oli uintiharjoittelua jatkaneella kaksosella korkeampi. Tutkimuksessa korostui uintiolosuhteiden ja uintiharjoittelun vaikutukset, koska tutkittavien perimä oli samanlainen. (Eriksson ym. 1975)

Lajien välisessä vertailututkimuksessa mitattaessa liikunnan opettajiksi opiskelevia nuoria kuntoilevia miehiä samansuuruisella rasiuksella uinnissa, juoksussa, pyöräilyssä ja hiihdossa VEmax oli alhaisin uinnissa. (Åstrand 1961; Holmer ym. 1974) Uimareilla (ja muilla kuntoilijoilla yksi ryhmistä) mitatuissa uinnin ja juoksun välillä VEmax oli

alhaisempi uinnissa (Holmer 1972) Kilpauimareilla maalla ja vedessä tehdyissä rasismittauksissa havaittiin, että vesiympäristön vaikutuksesta rasisuksen aikainen ventilaatio oli alhaisempi (Lopategui Corsino ym. 1994). Harjoitteleilla kilpauimareilla tehdyissä 4 minuutin aikana maksimiin kovenevassa rasismittauksissa uiden ja kävelen VEmax oli alhaisempi uinnissa.(McArdle ym. 1971). Harjoitelleet uimarit suorittivat rasisustestit uiden, juosten ja pyöräillen. Ventilaatiossa uinnin aikaiset VEmax arvot olivat uimareilla korkeammat. Uinnin jälkeiset VT:t olivat korkeammat ja Rf:t alhaisemmat.(Rodriguez 2000)

Kilpauimarit harjoittelevat vedessä useita tunteja päivässä, jolloin he ovat osittain tai kokonaan upoksissa vedessä kun samanaikaisesti ilma heidän keuhkoissaan pysyy ilmakehän paineen vaikutuksessa. Tilanne aiheuttaa rintakehälle (keuhkoihin) jatkuvan paineen, jonka on arvioitu olevan 10cm H<sub>2</sub>O eli 7.4mm Hg. Niinpä rintakehää ympäröivä vesi aiheuttanee lisäkuormitusta sisäänhengityslihaksille. Useissa tutkimuksissa keuhkokapasiteetit ovat vaihdelleet harjoituskauden aikana, jolloin hengityskapasiteettien suurentuminen olisi yhteydessä hengityslihaksiston kuntoon. (Cordain ja Stager 1988)

Uinnille on tyypillistä nopea sisään hengitys ja hidas loppua kohti kiihtyvä ulospuhallus veteen. Tutkimuksessa verratessa hengityslihasten elektromyograafista aktiivisuutta havaittiin nopealla uloshengityksellä olevan merkittävästi vaikutusta sisäänhengityslihasten aktivaatioon. Tulosten perusteella on esitetty että hengityslihaksilla olisi samanlainen agonisti antagonistin vaikutus kuin luurankolihasilla. (Zakyntinos ym. 1999)

Tutkimuksissa (Fanta ym. 1983) on havaittu, että harjoittelu, jossa hengitetään sisään voimakkaasti kokonais- keuhkokapasiteettiin ja pidätetään hengitystä noin 10 sekuntia, saisi aikaan merkittävää lisäystä vitaalikapasiteettiin. On myös esitetty, että toistuva laajeneminen kokonaiskapasiteettiin kevyen tai raskaan uintirasisuksen aikana olisi stimuluksena kasvaneeseen vitaalikapasiteettiin. Uimarit joutuvat pidättämään hengitystä uintiliikkeiden mukaan. Niinpä uidessaan he hengittävät sisään suuremmille keuhkotilavuuksille kuin esimerkiksi juoksijat, jotka voivat suorituksessa hengittää vapaammin.

Uudessa vartalon asento on horisontaalinen. Vastakohtana pystyasennolle, uintiasento aiheuttaa optimaalisen yhtenäisen keuhkojen perfuusion ja tuottaa korkeimman mahdollisen keuhkojen diffuusiokapasiteetin.(Rahn 1964)

Maalla tehdyissä mittauksissa on havaittu asennolla olevan merkittävä vaikutus mitattuihin hengitysarvoihin sekä levossa, että rasituksessa. (Weiler-Ravell ym. 1983) Maalla asentoa käsittelevässä tutkimuksessa istuallaan ja päänmakuulla mitatut spirometrian arvot laskivat merkittävästi (Meysman ja Vincken 1998). Kehon asentoa koskevassa tutkimuksessa harjoittelemattomilla naisilla maalla ja vedessä tehdyssä punnitustutkimuksessa istuen ja päänmakuulla tehdyissä mittauksissa, todettiin maalla istuessa hengitysarvojen olevan suuremmat kuin päänmakuulla, samoin vedessä istuen hengitysarvot olivat suuremmat kuin makuulla. Immersiossa tehdyissä mittauksissa huomattiin selkeä lasku veden päällisiin verrattuna. FRC:ssa, VC:ssa, ERV:ssa ja TLC:ssa, mutta RV ja TV eivät merkittävästi muuttuneet vaan pysyivät itseasiassa samana. (Bondi ym. 1976; Etheridge 1978)

Vaakatasossa vatsallaan uudessa myös kasvot ovat uinnin aikana vedessä. Kasvojen laittamisen veteen on uskottu aiheuttavan muutoksia elimistön toiminnassa. Immersiossa eli vedessä ollessa ihmisen elimistössä ilmenee sukellusrefleksi, jonka myötä syketaso laskee. Tutkimuksissa on kuitenkin todettu, että sykkeen lasku, kun ollaan maalla vaaka-asennossa ja pelkästään kasvot ovat vedessä, ei poikkeaisi tavallisissa oloissa tehdystä hengityksen pidättämisestä (Brick 1966). Näin ollen ympäröivällä vedellä on myös oltava vaikutusta ventilaatioon muutenkin kuin pelkästään kasvojen alueella.

Poiketen monista muista lajeista uimarit harjoittelevat runsaasti jo nuorella iällä. Tutkimuksen mukaan uimarit aloittivat intensiivisen harjoittelun jo noin kymmenenvuotiaina kun juoksijat aloittavat sen vasta noin 14 -vuotiaina. (Cordain ja Stager 1988)

## **2.6 Yhteenveto**

Maalta veteen siirtyminen ja vedessä liikkuminen vaikuttavat hengityselimistöön monella tapaa jotka eroavat maalla tehdystä hengityksestä. Veden vaikutuksista hengitykseen on tehty monia tieteellisiä tutkimuksia, mutta selkeää kattavaa kuvaa veteen menon ja

pitkakestoisen uintiharjoittelun vaikutuksista hengityksen dynaamisiin funktioihin ei tiettävästi ole olemassa. Niinpä tämän tutkimuksen tarkoituksena oli pyrkiä selvittämään niitä tekijöitä ja vaikutuksia, joita veteen menolla vedessä olemisella ja uintikuormituksella on keuhkotoimintojen dynaamisiin muuttujiin hyvin harjoitelleilla kokeneilla kilpauimareilla.

### 3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA HYPOTEEESIT

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli tutkia vesiympäristön ja uimisen vaikutuksia hyvin harjoitelleiden kokeneiden kilpauimareiden hengitystoimintaan. Näiden lisäksi tutkimuksessa oli tarkoitus selvittää voitaisiinko lepomittauksilla arvioida uintirasituksen aikaista maksimaalista ventilaatiota sadan metrin vapaauintin kilpailunomaisessa suorituksessa.

Tutkimuksen tarkoituksesta johdetut yksilöidyt tutkimusta ohjaavat ongelmat olivat seuraavat:

1. Mitä uimarin ventilaatiossa tapahtuu levossa kun hän siirtyy maalta veteen ja vedestä maalle takaisin maalle maksimaalisen uinnin jälkeen.
2. Mitä uimarin ventilaatiossa tapahtuu 100metrin maksimaalisen uintirasituksen aikana.
3. Mitkä käytettävistä analyysimenetelmistä soveltuisivat parhaiten käytettäväksi hyvin harjoitelleilla kokeneilla kilpauimareilla tehtävissä hengitysmuuttujien mittauksissa.

## 4 MENETELMÄT

### 4.1 Tutkimuksen kohdejoukko

Mittauksiin osallistui yhteensä 14 uimaria , 7 nais- ja 7 miesuimaria. Uimareiden keskimääräinen ikä oli 18 vuotta (SD 1.6). Mittauksiin osallistui alunperin 15 koehenkilöä, mutta yhden koehenkilön tulokset jouduttiin hylkäämään teknisesti epäonnistuneen mittauksen takia.

Taulukko 1 Koehenkilöiden tiedot (SD)

Koehenkilöt	N	Pituus cm	Paino kg
Naisuimarit	7	168 (5)	62 (5)
Miesuimarit	7	184 (6)	75 (5)
Yhteensä	14	176 (10)	69 (8)

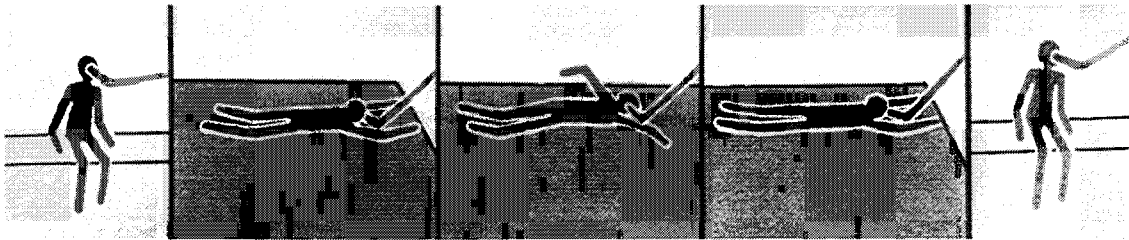
Koska tutkimuksessa haluttiin selvittää kokoneiden kilpauimareiden ventilaatiossa tapahtuvia muutoksia, koehenkilöiden yhtenä valintaperusteena oli riittävän pitkä harjoitustausta ja kokemus uimissa, jotta koehenkilöjoukko edustaisi riittävän kauan harjoitellutta ja kokenutta uimariyhmää. Valintakriteerinä oli, että uimari oli osallistunut Suomenmestaruuskilpailuihin eli alittanut jollakin uintimatalla osallistumiseen vaadittavan aikarajan. Uimarit valittiin tutkimukseen aiemmin suoritetun kyselyn perusteella. Uimarit olivat harrastaneet kilpauintia keskimäärin 9 vuotta ja olivat harjoitelleet keskimäärin 9 kertaa viikossa edeltävän vuoden aikana. Toisena koehenkilöiden valintaperusteena oli, että uimarit olivat terveitä ja että heillä ei ollut aiemmin ilmennyt hengitysoireita uintirasituksessa.

Tutkimuksen eettisten näkökohtien arvioimiseksi tutkimussuunnitelma ja koehenkilön tiedote- ja suostumuslomake lähetettiin Jyväskylän Yliopiston Eettiselle komitealle. Tiedotteessa käytiin läpi mittausten kulku, suoritusohjeet sekä koehenkilön oikeudet. Suostumuslomakkeita oli kaksi samanlaista kappaletta, jotka allekirjoitettiin ennen mittausten alkamista, toinen kappale tutkijalle ja toinen koehenkilölle. (Katso liite 2.) Jyväskylän Yliopiston Eettinen Komitea käsitteli tutkimussuunnitelman ja katsoi lausunnossaan käytettävien menetelmien olevan eettisesti soveltuvia.



## 4.2 Tutkimusasetelma

Tutkimus suoritettiin Mäkelänrinteen Uintikeskuksessa allastiloissa normaaleissa uintiolosuhteissa. Mittaukset suoritettiin ensin maalla istuma-asennossa, sen jälkeen samat mittaukset toistettiin uintiasennossa kasvot vedessä (Kuva 11). Uintirasituksessa ventilaatiota mitattiin sadan metrin kilpailuvauhtisen vapaauintin ajalta, jolloin hengitysanalysilaitetta kuljetettiin uimarin mukana altaanreunalta käsin. (Kuva 13) Uinnin jälkeen lepomittaukset toistettiin vedessä ja maalla samaan tapaan kuin ennenuintia. Mittausten kulku katso liite 1.



KUVA 11 Mittausasetelma. perus mittaus maalla, lepomittaus uintiasennossa altaassa (myös kasvot vedessä), mittaus uintikuormituksessa ja lopuksi mittaukset levossa ensin mittaus vedessä uintiasennossa ja sitten maalla.

Laitteiston toimintavalmiudesta huolehdittiin ennen kalibrointia. K4 b2 hengitysanalysaattori käynnistettiin vähintään 60 minuuttia ennen kunkin testin alkua. Noin 30 minuuttia käynnistyksen jälkeen suoritettiin kalibrointi. Turbiinin virtausmittarin kalibroinnissa käytettiin 3 litran pumppua.

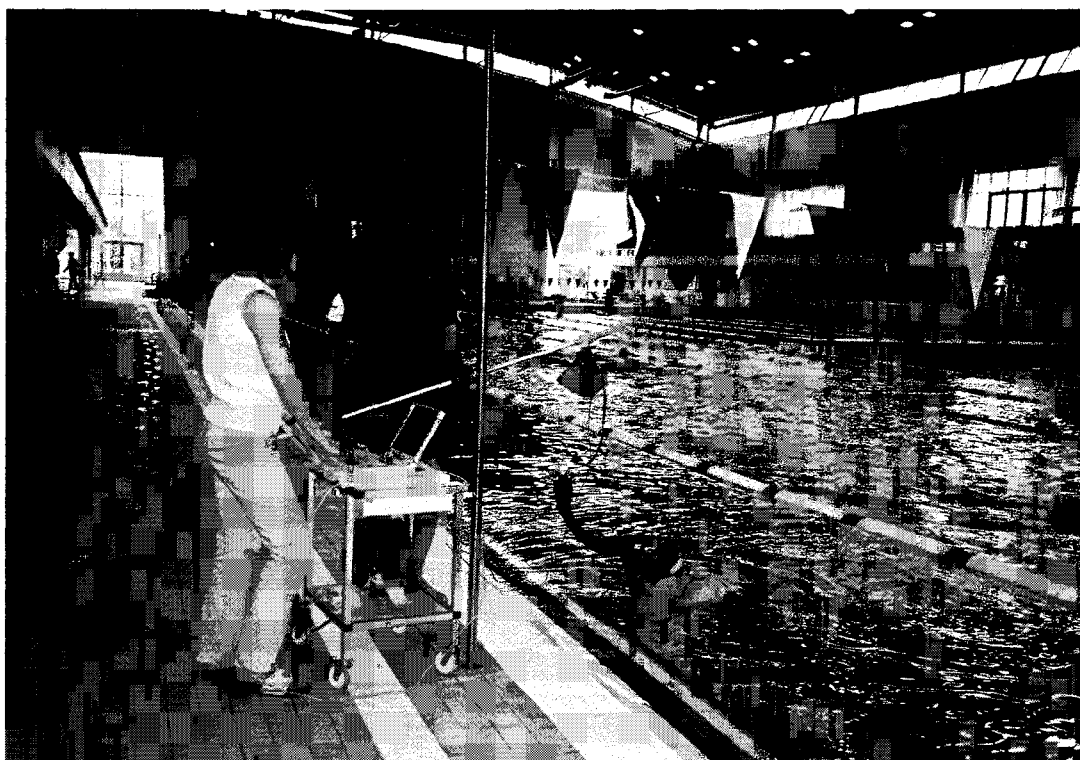
Lepomittauksissa vedessä koehenkilö kellui uintiasennossa vatsallaan. Mittauspuhalluksia tehdessään koehenkilö piti käsin kiinni altaan reunassa olevasta tangosta. Koehenkilöllä oli jaloissa kelluke (pullis), jotta jalat pysyivät pinnalla ilman uintiliikkeitä.

Uintimittaukset suoritettiin vedessä suoritettujen lepomittausten jälkeen. Uimarilla oli 10 minuuttia aikaa omatoimisesti verrytellä rasiustasoltaan kilpavauhtista 100 metrin vapaauintia varten. Verrytellessä uimari sai uida halutessaan snorkkelin kanssa totutellakseen uintimittauksessa tapahtuvaan hengitykseen. Verryttelyn jälkeen koehenkilölle asetettiin snorkkelityyppinen hengitysventtiili, johon hän hengitti mittausten aikana. Hengitysventtiili oli kytketty hengitysputkien kautta hengitysanalysaattoriin, joka oli liitetty kaapelilla tietokoneeseen (Keskinen ym.2000).

Koehenkilö ui rasiukseltaan ja vauhdinjaltaan 100 metrin vapaauintin kilpailusuoritusta vastaavan suorituksen. Uimari ui aluksi 50 metriä vapaauintia noin 80-90% teholla, jonka jälkeen hän kääntyi ja ui 50 metriä vapaauintia maksimaalisesti. 100 metriä vapaauintia valittiin uintimatkaksi, koska se on yleisimmin uitu kilpailumatka. Koehenkilöiden taito-ominaisuuksien vaikuttaminen suoritukseen eliminoitiin valitsemalla mittauksiin lajiksi vapaauinti, koska sitä osataan uida teknisesti uintilajeista parhaiten ja harjoituksissa sitä uidaan tavallisesti eniten.

### 4.3 Mittausmenetelmät

Lepomittauksissa uimareilta määritettiin uloshengityksen sekuntikapasiteetti  $FEV_1$ , nopea vitaalikapasiteetti  $FVC$ , Nopean vitaalikapasiteetin ja sekuntikapasiteetin suhde  $FEV/FVC\%$ , uloshengityksen huippuvirtaus  $PEF$ , sekä maksimaalinen virtaus 50%:n tasolla vitaalikapasiteetista  $MEF50\%$ .  $FEV_1$ :n perusteella arvioitiin laskennallinen maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio  $cMVV$  kolmen eri laskentakaavan avulla. Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio  $MVV$  mitattiin myös suoralla menetelmällä 12 sekunnin ajalta.



KUVA 12. Spirometrimittaukset vedessä.



KUVA 13. Ventilaationmittaus maksimaalisen uinnin aikana.

(Hausswirth ym. 1997). Ennen testiä suoritettiin viivekalibrointi, koska kaikki mittaukset suoritettiin erityisen uintiin soveltuvan snorkkelityyppisen hengitysventtiilin ja siihen liitettyjen hengitysputkien kautta (Keskinen ym. 2000; Toussaint ym. 1987) Katso kuva. Kalibroinnin jälkeen laitteisto koottiin hyvissä ajoin ennen testin alkua ja varmistettiin, että kaikkien mittaamiseen tarvittavien laitteiden kuljettaminen altaan reunalla sujuisi maksimaalista vauhtia uivan uimarin mukana ongelmitta. Uintisuoritus kesti keskimäärin noin 60 sekuntia. Aineenvaihdunnallisesti suoritus tapahtui 25% nonaerobisen-, 65% anaerobisen -ja 10% glukoosiaineenvaihdunnan avulla (Maclisho 1993). Uintikuormituksen aikaiset hengitysmittaustulokset siis myös vastaavat sadan metrin matkalla saavutettavia tuloksia.

Lepomittaukset suoritettiin Cosmed K4b<sup>2</sup> hengitysanalyysilaitteen spirometriaohjelman avulla. Koehenkilö suoritti mittauspuhalluksia uintimittauksissa käytettävän snorkkelisuukappaleen kautta istuen tukevassa asennossa ryhdikkäänä ja nenä suljettuna.

Spirometrimittauksissa maalla ja vedessä koehenkilö puhalsi vähintään kolme maksimaalista ulospuhallusta vedettyään ensin keuhkot täyteen. Mittausten luotettavuuden takia vähintään kolmen virtaustilavuus käyrän tuli olla yhteneviä. MVV mittauksessa koehenkilö hengitti yhtäjaksoisesti maksimaalisesti mahdollisimman paljon

ilmaa sisään ja ulos 12 sekunnin ajan. Tulos ilmoitettiin litroina minuuteissa. FEV<sub>1</sub>:n avulla määritettiin cMVV kolmella eri menetelmällä; kertomalla FEV<sub>1</sub> 40:llä, kertomalla FEV<sub>1</sub> 38,8:llä ja vähentämällä 2,8:llä sekä kertomalla FEV<sub>1</sub> 35:llä (Wasserman 1994). Mittaukset suoritettiin samalla tavalla ennen ja jälkeen uintirasituksen (kuva 12).

Uintirasituksessa mitattiin VEmax, rasituksen aikainen kertahengitystilavuus, VT ja rasituksen aikainen hengitystiheys, Rf. Uintirasituksen tuloksista, VEmax määritettiin 12 sekunnin keskiarvolla, koska siten MVV oli myös määritetty. VT määritettiin ja Rf määritettiin VEmax:n mukaan.

Mittaukset suoritettiin Cosmedin K4 b<sup>2</sup> hengitysanalyysilaitteella (Cosmed, Italy) (kuva 14), joka mittaa hengitystä sykli sykliltä (breath by breath, BxB) menetelmällä. K4b<sup>2</sup>:n hengityspotkiin oli liitetty snorkkelityyppinen hengitysventtiili uinnin aikana tehtäviä mittauksia varten. Hengityspotkien muodostama kuollut tila 710ml koostui uloshengityspotkesta 480ml, suukappaleesta 40ml, yhdyskappaleesta 190ml. K4b<sup>2</sup> liitettiin kaapelilla tietokoneeseen, joka oli pyörillä liikkuvalla pöydällä. Laitteistoa liikutettiin uimarin mukana uintimittausten aikana altaanreunalta käsin (kuva 13).



KUVA 14. Cosmed K4b<sup>2</sup> hengitysanalysointilaitteisto, hengityspotket ja hengitysventtiili.

K4b<sup>2</sup>:n virtausmittarissa on kaksisuuntainen turbiini ja valoelektroninen muunnin. Turbiini on tehty putkesta jossa ilma pääsee kulkemaan kahdelta puolelta pienikitkaiseen roottoriin. Valoelektrisessä muuntimessa on kolme infrapunadiodi paria, joista jokainen

pari toimii ympyrässä 120 asteessa turbiinin keskustasta katsottuna. Kun ilma kulkee turbiinin läpi se aiheuttaa spiraaliliikkeen, joka saa aikaan roottorin pyörimisen ja pyörivä lapa katkaisee diodeista lähtevän infrapunavalon. Virtausmittarin avulla K4b2 laskee minuuttiventilaation BTPS –olosuhteissa (Bicard 1995) Mittauksissa käytetyn Cosmed K4b<sup>2</sup> laitteen aiemmasta versosta K2:sta tehdyssä luotettavuustutkimuksessa laitteen tulosten toistettavuus oli hyvä ja tulokset olivat yhdenpitäviä ja täsmällisiä. Mittausvirhe oli vähemmän kuin 2%. K2:lla ja Douglasbag:illa saatuja tuloksia vertailtaessa, tulosten välillä ei ollut merkittävää eroa. (Kawakami ym. 1992)

#### 4.4 Analyysimenetelmät

Suomalaisten koehenkilöiden ventilaatiokykyä arvioidessa spirometrian avulla mittauksissa suositellaan käytettäväksi viitearvoiksi Viljasen viitearvoja lääkäreille ja terveys- ja testausasemille osoitetun suomalaisen laboratoriotutkimusten laadunarviointiin erikoistuneen Labqualityn julkaisun Moodin (6/2001) mukaan. Kullekin koehenkilölle määritettiin ikää pituutta ja sukupuolta vastaavat spirometrian viitearvot Viljasen laskentakaavojen avulla. (Viljanen ym. 1982)

Tutkimuksessa käytettävien mittausten toistettavuus on 3-5%. Tässä tutkimuksessa kahta eri menetelmää verrattaessa, kun tulosten ero oli yli 10%, niiden ero määriteltiin tilastollisesti merkittäväksi. Kun oletettiin rasituksen aikaisen ventilaation olevan 150 litraa minuutissa ja arvioidun tai mitatun MVV:n olevan 200 litraa minuutissa (Magel 1969), voitiin tutkimuksen tilastollisen merkitsevyyden tasolla  $\alpha < 0.05$  ja koehenkilömäärällä  $N=14$  saavuttaa tutkimuksen tilastollinen voimataso 80 % (Glantz 1977)

Mittaustulokset koottiin taulukko tiedostoksi josta ne siirrettiin tilasto-ohjelmaan analysointia varten. Tilastollinen analyysi tehtiin Statistica 6.0 tilasto-ohjelman avulla (Statistica basic statistics and tables-ohjelma). Kahta muuttujaa samalla koehenkilöllä vertailtaessa tilastoanalyysit suoritettiin käyttämällä parittaista t-testiä. Kun tutkittiin kahden muuttujan lineaarista yhteyttä, voimakkuutta ja suuntaa käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa (Glantz 1977, 251-251) . Lisäksi tulosten käsittelyssä käytettiin hyväksi regressioanalyysiä sekä 95%:n luottamusvälien laskentaa. (Glanz 1977 238-245,187) Tulosten kuvaamisessa käytettiin hyväksi myös Method Validator ohjelmaa ja Bland ja Altman menetelmää (Bland ja Altman 1986)

## 5 TULOKSET

### 5.1 Uimareiden ventilaatiofunktiot levossa

#### 5.1.1 Harjoitelleiden uimareiden spirometriatulokset verrattuna viitearvoihin

Lepospirometrialla tarkasteltujen viiden muuttujan tulokset suhteutuivat ikää kokoa ja sukupuolta vastaaviin viitearvoihin eritavoin. Taulukosta 2 käy ilmi, että tilavuutta kuvaavat arvot FEV<sub>1</sub> ja FVC olivat viitearvoja suuremmat kun taas kuten virtausta kuvaavat PEF, FEV%, ja MEF<sub>50</sub> olivat viitearvoja alhaisempia.

Keskimäärin FEV<sub>1</sub> arvot olivat 4.6 litraa (SD 0.7) ja 115% (SD 17) viitearvosta. Naisuimareilla FEV<sub>1</sub> keskimäärin oli 4.0 litraa (SD 0.6) ja miesuimareilla FEV<sub>1</sub> oli keskimäärin 5.1 litraa (SD 0.4).

TAULUKKO 2. Spirometrian tulokset maalla tehdyistä mittauksista sekä prosenttiosuudet ikää kokoa ja sukupuolta vastaavasta viitearvosta. (SD).Ero merkitsevä\*

	<i>Lepo mittaukset maalla</i>			<i>%:ia viitearvosta</i>		
	kaikki	Naiset	miehet	kaikki	Naiset	miehet
FEV <sub>1</sub>	4,7 (0,6)	4,1 (0,5)	5,2 (0,4)	107,2 (8,4)	112 (6,4)	102 (7,6)
FVC	5,5 (1,0)	4,6 (0,5)	6,5 (0,4)	113,1* (7,9)	110,5* (9,7)	114* (7,4)
PEF	7,7 (1,4)	7,0 (1,3)	8,5 (1,2)	84,0* (13,3)	90,9 (13,8)	91 (10,8)
FEV%	85,5 (9,0)	89,8 (6,8)	81,1 (9,32)	95,3 (10,1)	89,3* (13,6)	77* (9,3)
MEF 50%	5,0 (0,9)	4,7 (0,7)	5,3 (1,07)	85,9* (18,2)	91,4* (17,5)	76* (17,7)

Absoluuttiset spirometrian arvot olivat naisilla miesten arvoja pienemmät, mutta hengityksen kulun helppoutta kuvaava FEV% oli naisuimareilla suurempi kuin

miesuimareilla. Lisäksi viitearvoihin suhteutettuna FEV<sub>1</sub>, FVC ja PEF eivät eronneet, mutta naisten FEV% sekä MEF50 olivat miesten arvoja suuremmat, kuten taulukko 2 osoittaa.

Vedessä maksimaalisen uinnin jälkeen mitatut arvot olivat suuremmat tai saman suuruiset kuin ennen maksimaalista uintia - katso taulukko 3

### 5.1.2 Dynaamiset ventilaatiomuuttujat maalla ja vedessä ennen ja jälkeen uintikuormituksen

TAULUKKO 3. Spirometrian mittaustulokset vedessä mitattuna ennen ja jälkeen maksimaalisen uinnin.(SD).Ero merkitsevä\*

	<i>Vedessä ennen uintia</i>			<i>Vedessä uinnin jälkeen</i>		
	Kaikki	Naiset	Miehet	Kaikki	Naiset	Miehet
FEV <sub>1</sub>	4,3 (0,7)	4,3 (0,6)	4,8 (0,4)	4,3 (0,7)	4,4 (0,6)	4,9 (0,4)
FVC	5,3 (1,0)	5,3 (1,0)	6,0 (0,6)	5,3 (1,0)	5,4 (1,0)	6,2 (0,5)
PEF	7,6 (1,4)	7,6 (1,4)	8,5 (1,2)	7,6 (1,4)	7,6 (1,2)	8,3 (1,0)
FEV%	82,2 (8,8)	82,1 (8,8)	79,5 (11,27)	82,2 (8,8)	82,4 (8,3)	79,3 (10,27)
MEF 50%	4,6 (0,9)	4,6 (0,9)	4,69 (1,01)	4,6 (0,9)	4,8 (1,0)	4,80* (1,02)
MVV	158,0 (25,6)	139,7 (14,9)	176,2 (23,0)	165,0 (25,8)	147,7 (15,0)	182,4 (24,9)
cMVV 40	173,1 (24,4)	155,5 (21,0)	190,8 (14,8)	176,8 (25,9)	157,5 (18,5)	196,0 (15,3)
cMVV38, 6-2,8	164,2 (24,4)	147,2 (20,2)	172,7 (13,6)	167,8 (24,1)	149,2 (18,2)	186,4* (14,7)
cMVV 35	151,5 (22,1)	136,1 (18,3)	167,0 (12,9)	154,6 (22,6)	133,9 (11,5)	171,6 (13,3)

TAULUKKO 4. Uimareiden lepo hengitysarvot maalla ennen ja jälkeen maksimaalisen uinnin.

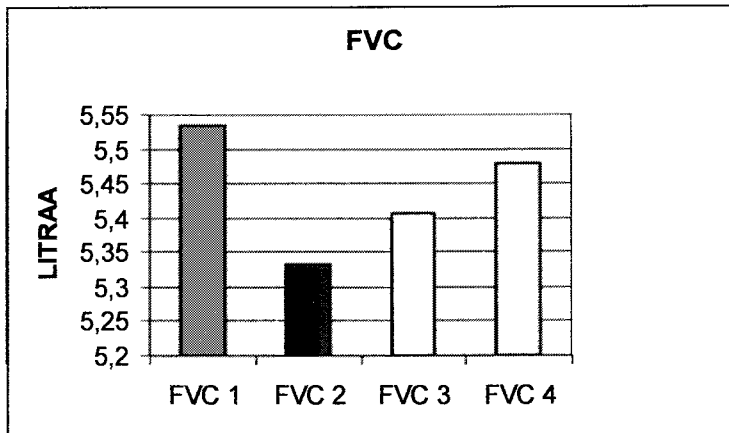
(SD). Ero merkitsevä\*

	<i>Maalla ennen uintia</i>			<i>Maalla uinnin jälkeen</i>		
	Kaikki	Naiset	Miehet	Kaikki	Naiset	Miehet
FEV <sub>1</sub>	4,7 (0,6)	4,1 (0,5)	5,2 (0,4)	4,6 (0,6)	4,6* (0,6)	5,0 (0,5)
FVC	5,5 (1,0)	4,6 (0,5)	6,5 (0,4)	5,5 (0,9)	5,4* (0,1)	6,2 (0,5)
PEF	7,7 (1,4)	7,0 (1,3)	8,5 (1,2)	7,9 (1,4)	7,6 (1,2)	8,8 (0,9)
FEV%	85,5 (9,0)	89,8 (6,8)	81,1 (9,32)	85,2 (8,3)	82,4 (8,3)	81,7 (9,92)
MEF 50%	5,0 (0,9)	4,7 (0,7)	5,3 (1,07)	4,9 (0,9)	4,8 (1,0)	5,00 (1,04)
MVV	167,5 (28,2)	148,3 (19,7)	186,7 (24,7)	170,0 (31,4)	147,0 (18,9)	192,9 (26,9)
cMVV 40	186,4 (26,2)	165,5 (19,0)	207,1 (15,3)	183,5 (26,4)	163,9 (17,0)	203,0 (18,2)
cMVV38,6- 2,8	168,7 (24,1)	149,6 (17,5)	187,8 (14,1)	174,3 (25,5)	155,4 (16,4)	193,1 (17,6)
cMVV 35	163,0 (22,9)	144,9 (16,6)	181,2 (13,4)	160,6 (23,1)	143,5 (14,9)	177,7 (15,9)

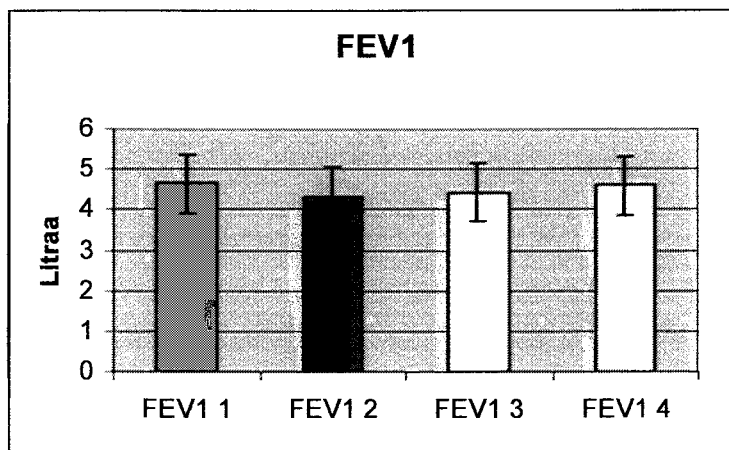
Maalla mitatut spirometrian arvot laskivat maksimaalisen uinnin vaikutuksesta hieman. Katso taulukko 4. Tämän voisi selittää johtuvan vedessä olon neuraalisilla vaikutuksilla

Tarkastellessa ventilaation eri dynaamisia muuttujia peräkkäin maalla ja vedessä ennen ja jälkeen uintikuormituksen. Tuloksissa havaittiin muutoksia ennen uintia maalla ja vedessä tehdyissä mittauksissa, vedessä ennen ja jälkeen uintikuormituksen sekä uinnin jälkeen maalle siirryessä. Selkeimmät erot mittauksissa havaittiin FVC:n ja MEF50:n tuloksissa. myös muissa muuttujissa näkyi samanlaisia muutoksia vaikkakin lievempänä. Katso kuvat 15-18.

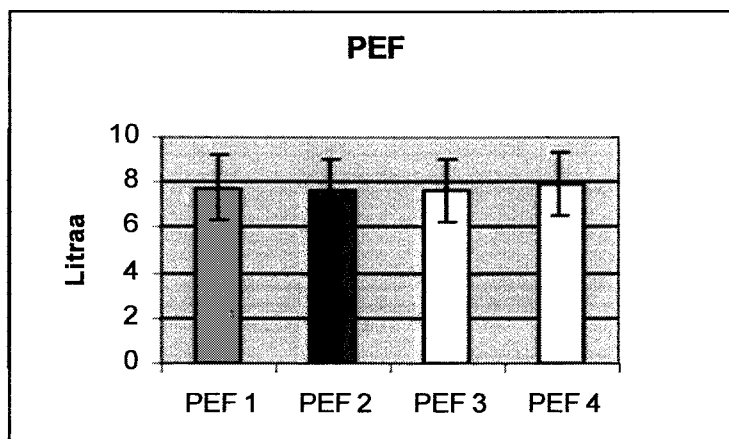




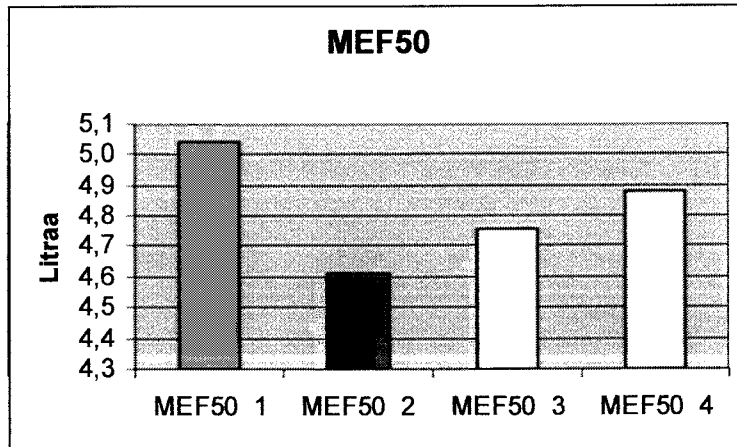
KUVA 15. FVC tulos maalla ja vedessä ennen ja jälkeen maksimaalisen uinnin (FVC1=mittaustulokset maalla, FVC2=mittaustulokset vedessä, FVC3=mittaustulokset vedessä uinnin jälkeen, FVC4=mittaustulokset maalla uinnin jälkeen).



KUVA 16. FEV1 tulos (FEV1 1=mittaustulokset maalla, FEV1 2=mittaustulokset vedessä, FEV1 3=mittaustulokset vedessä uinnin jälkeen, FEV1 4=mittaustulokset maalla uinnin jälkeen).



KUVA 17. PEF tulos (PEF 1=mittaustulokset maalla, PEF 2=mittaustulokset vedessä, PEF 3=mittaustulokset vedessä uinnin jälkeen, PEF 4=mittaustulokset maalla uinnin jälkeen).



KUVA 18. MEF50 tulos (MEF50 1=mittaustulokset maalla, MEF50 2=mittaustulokset vedessä, MEF50 3=mittaustulokset vedessä uinnin jälkeen, MEF50 4=mittaustulokset maalla uinnin jälkeen).

Veteen siirtyminen aiheutti uimareilla kaikissa spirometrian arvoissa laskun 1%:stä 6%:iin. Maksimaalinen 100metrin vapaauinti aiheutti 0%:sta 3%:iin kasvua spirometrian arvoissa. Vedestä maalle siirryttyä spirometrian arvot nousivat 1%:sta 4%:iin. Uimisen vaikutus lepospirometrian arvoihin uimareilla oli vaihteleva. Keskimäärin FEV<sub>1</sub>, FVC ja MEF<sub>50</sub> heikkenivät FEV% pysyi samana ja PEF parani. Sukupuolten välillä muutoksissa oli eroa. Katso taulukot 5 ja 6.

TAULUKKO 5. Veden ja uintiasennon vaikutus ventilaatiofunktioissa.(SD).Ero merkitsevä\*.

	<i>Mittaus maalla</i>			<i>Veden ja uintiasennon vaikutus %:ia</i>		
	Kaikki	Naiset	Miehet	Kaikki	Naiset	Miehet
FEV <sub>1</sub>	4,7 (0,7)	4,14	5,2	-7	-6,1	2,8
FVC	5,5 (1,0)	4,6	6,5	-4	-0,1	2,6
PEF	7,7 (1,4)	6,7	8,5	-2	-3,0	-1,6
FEV%	85,4 (9,0)	89,8	81,1	-4	-5,5	-0,3
MEF <sub>50</sub> %	5,0 (0,9)	4,8	5,3	-8,5	-5,4	2,2

TAULUKKO 6. Uinnin vaikutus ventilaatiofunktioihin vedessä.(SD).Ero merkitsevä\*.

	<i>Mittaus vedessä</i>			<i>Uinnin vaikutus vedessä %:ia</i>		
	Kaikki	Naiset	Miehet	Kaikki	Naiset	Miehet
FEV <sub>1</sub>	4,3 (0,7)	4,3 (0,6)	4,8 (0,4)	2,1	1,3	2,8
FVC	5,3 (1,0)	5,3 (1,0)	6,0 (0,6)	1,4	-0,2	2,6
PEF	7,6 (1,4)	7,6 (1,4)	8,5 (1,2)	0,1	2,3	-1,6
FEV%	82,2 (8,8)	82,1 (8,8)	79,5 (11,27)	0	0,7	-0,3
MEF <sub>50</sub> %	4,6 (0,9)	4,6 (0,9)	4,69 (1,01)	3,0	4,0	2,2

TAULUKKO 7. Uinnin vaikutus ventilaation funktioihin maalla.(SD).Ero merkitsevä\*.

	<i>Mittaus maalla</i>			<i>Uinnin vaikutus maalla %:ia</i>		
	Kaikki	Naiset	Miehet	Kaikki	Naiset	Miehet
FEV <sub>1</sub>	4,7 (0,7)	4,14	5,2	-1	-1,0	-1,8
FVC	5,5 (1,0)	4,6	6,5	-1	3,2	-3,9
PEF	7,7 (1,4)	6,7	8,5	2	0,5	3,6
FEV%	85,4 (9,0)	89,8	81,1	0	-1,3	0,7
MEF <sub>50%</sub>	5,0 (0,9)	4,8	5,3	-3	-0,7	-5,6

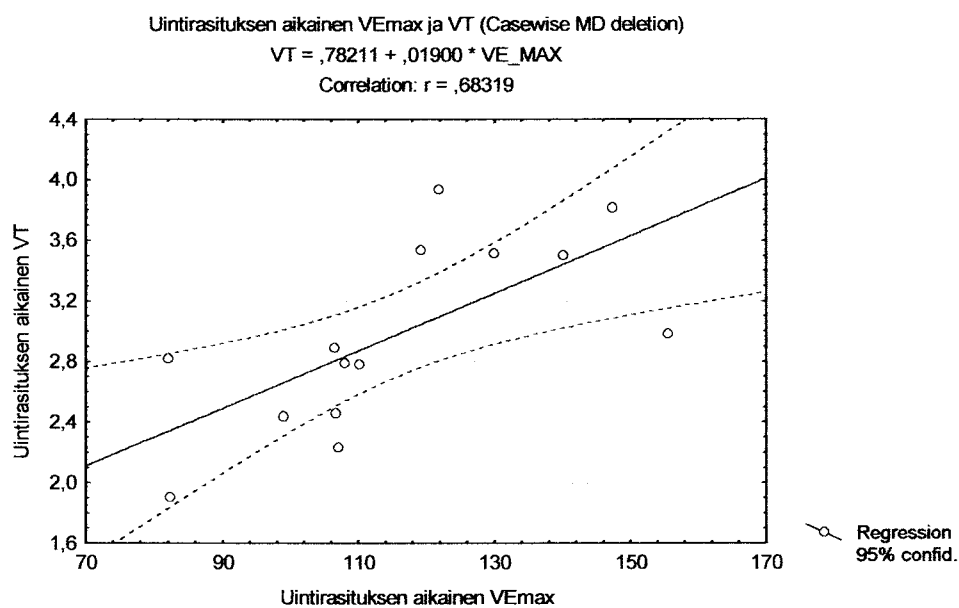
Mitatun tahdonalaisen maksimaalisen hengityskapasiteetin (MVV) muutoksia uimareilla kun siirrytään tavanomaisesta normaalista mittauksesta altaan reunalta veteen uintiasentoon, jonka jälkeen maksimaalisen uinnin aikainen ventilaatio ja rasituksen jälkeinen maksimaalinen hengityskapasiteetti MVV vedessä sitä seuraava normaalisti mitattu MVV altaan reunalla.

## 5.2 Ventilaatio uintirasituksessa

Uintirasituksen aikana saavutettu maksimaalinen ventilaatio VEmax, oli koehenkilöryhmällä keskimäärin 116 l·min<sup>-1</sup> (SD 21). Naisuimareilla keskimäärin 99 l·min<sup>-1</sup> (SD12) ja miesuimareilla keskimäärin 132 l·min<sup>-1</sup> (SD 16). Miesuimareilla maksimaalisen uintirasituksen VEmax oli keskimäärin 33 litraa suurempi kuin naisuimareilla. Kertahengitystilavuus oli naisuimareilla 0.9 litraa pienempi maksimaalisessa uinnissa sen sijaan hengitystiheys oli mies- ja naisuimareilla sama, katso taulukko 8.

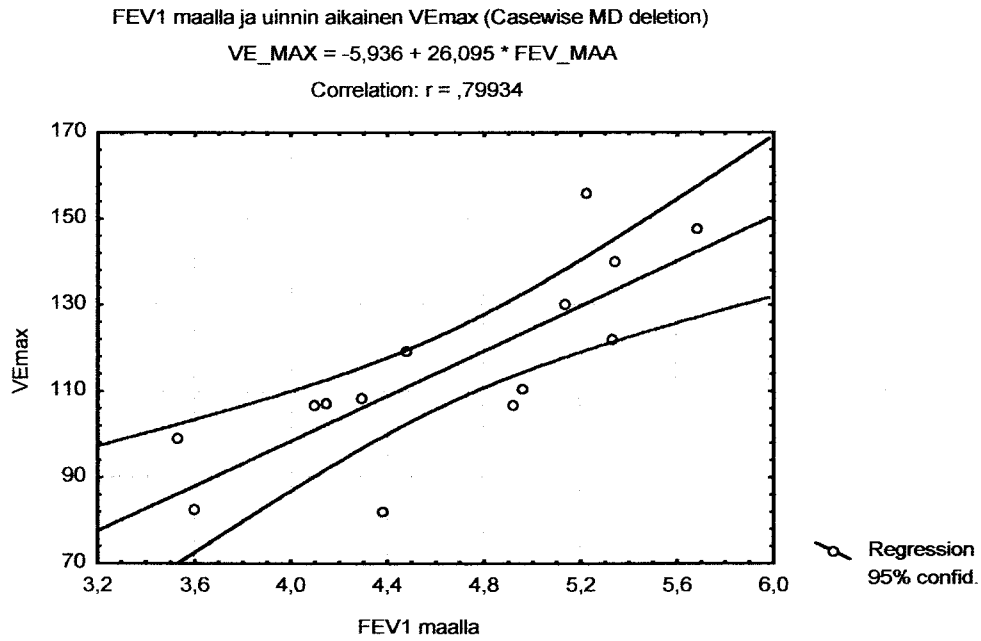
TAULUKKO 8. Uinnin maksimaalinen ventilaatio, kertahengitystilavuus ja hengitystiheys.(SD).

	Uimarit (N=14)	Naisuimarit (N=7)	Miesuimarit (N=7)
Vemax ( $l \cdot \text{min}^{-1}$ )	116 (21)	99 (12)	132 (16)
VT (l)	3,0 (0,6)	2,5 (0,4)	3,4 (0,4)
Rf (krt/min)	54 (9)	54 (11)	53 (8)

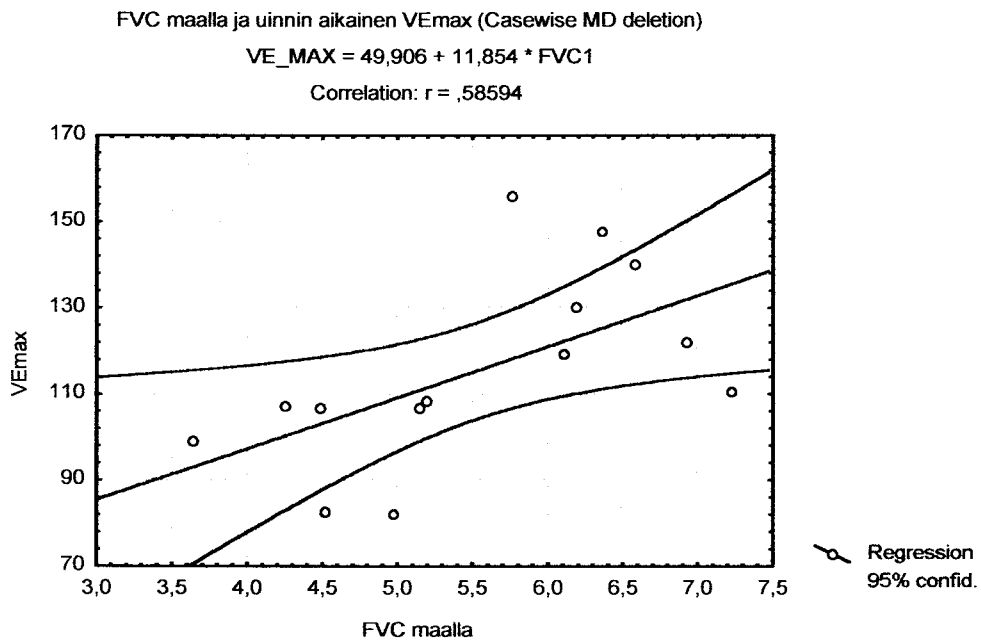
KUVA 19. Uinnin aikainen kertahengitystilavuuden regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaaliseen ventilaatioon  $p < 0,001$ .

### 5.3 Lepoventilaatiofunktioiden yhteys uinnin maksimaaliseen ventilaatioon

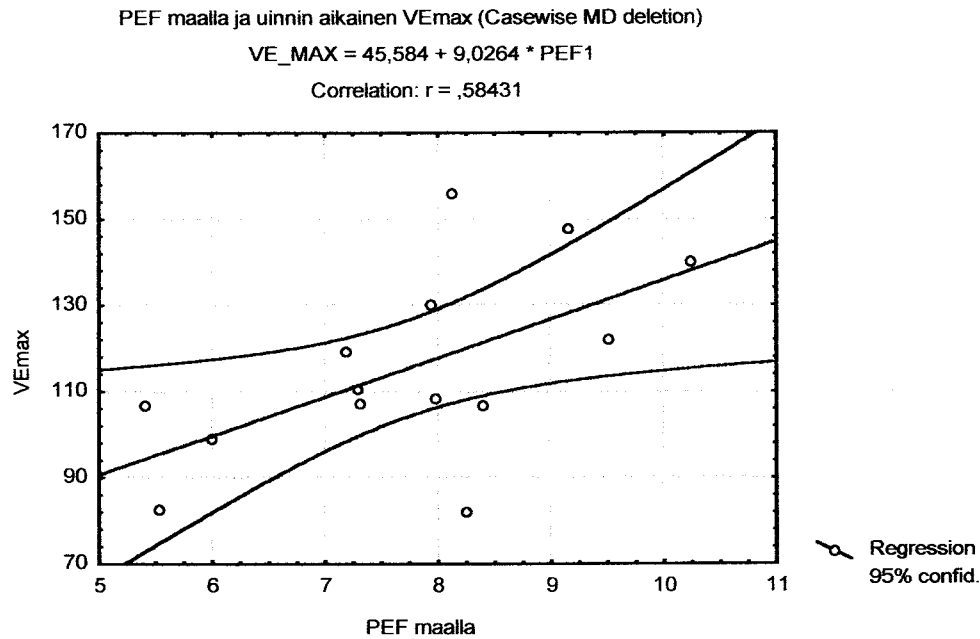
Maalla levossa mitattujen spirometrian arvojen korrelaatiokuvat ja 95%:n luottamusvälit uinnin aikaisen maksimaalisen ventilaation kanssa ovat kuvissa 20 - 23.



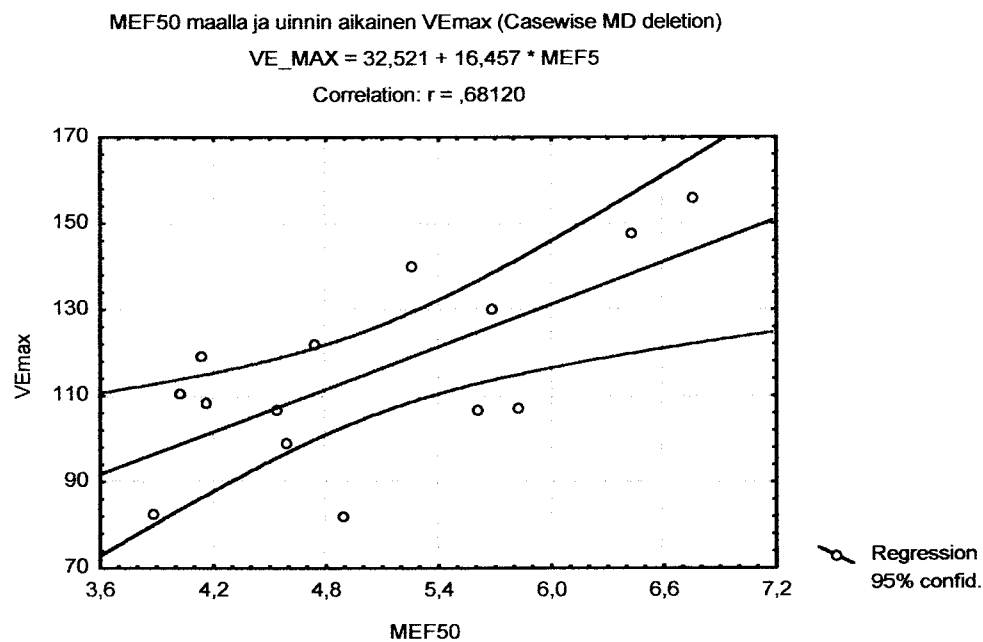
KUVA 20. Maalla mitatun FEV<sub>1</sub> :n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaalisen ventilaatioon  $p < 0,001$ .



KUVA 21. Maalla mitatun FVC:n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaalisen ventilaatioon  $p < 0,05$ .



KUVA 22. Maalla mitatun PEF:n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaalisen ventilaatioon  $p < 0,05$ .



KUVA 23. Maalla mitatun MEF50:n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaalisen ventilaatioon  $p < 0,01$ .

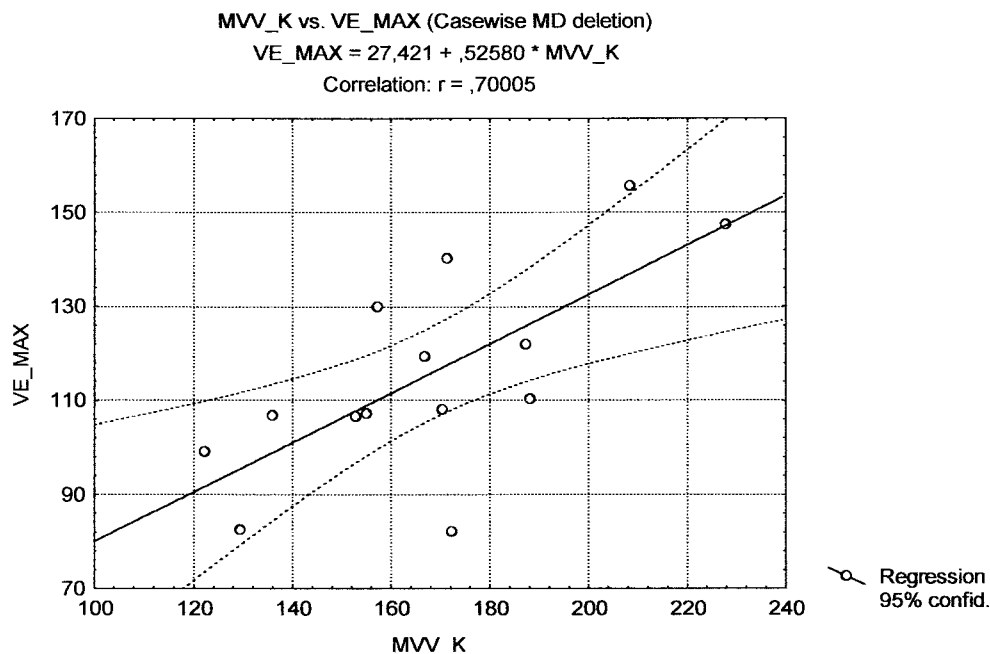
Korrelaatiot mitatun MVV:n ja uintirasituksen aikaisen VEmax:n välillä (kuva 23) olivat tilastollisesti merkittäviä  $r_s = 0,66$  ( $p < 0,01$ ). Arvioidun cMVV40:n ja uintirasituksen aikaisen VEmax:n väliset korrelaatiot olivat myös merkittäviä  $r_s = 0,79$  ( $p < 0,001$ ) Vedessä

mitattu MVV korreloi parhaiten uinnin aikaisen maksimaalisen ventilaation kanssa. Eri menetelmillä määritettyjen MVV:n tulokset korreloituivat uinnin aikaiseen maksimaaliseen ventilaatioon samoissa olosuhteissa samalla tavoin (taulukko 9).

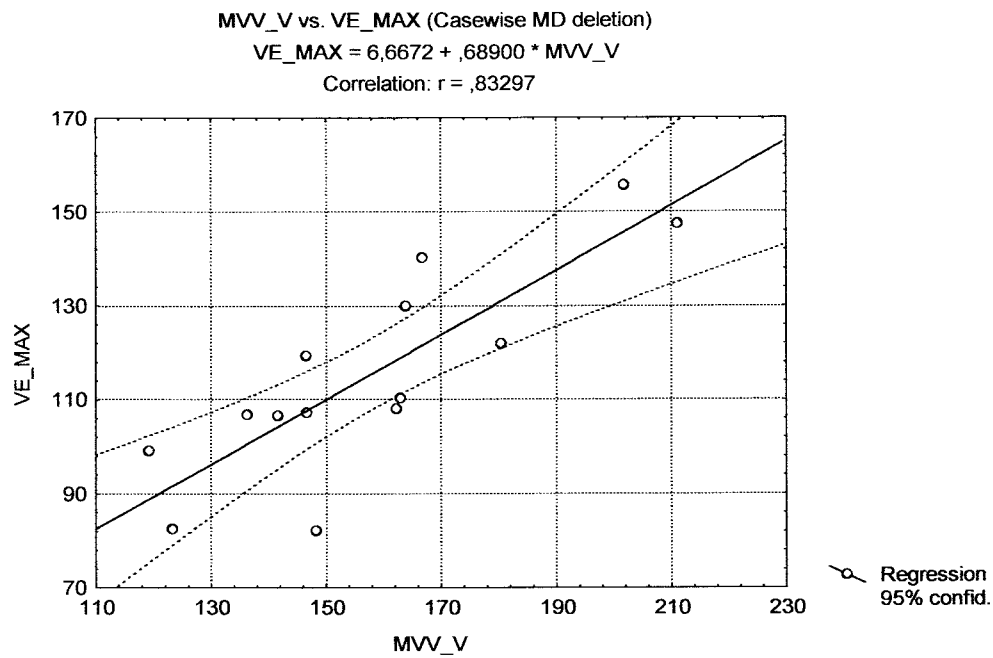
TAULUKKO 9. Uintirasituksen aikaisen maksimaalisen ventilaation ja eri tavoin määritetyn maksimaalisen tahdonalaisen ventilaation korrelaatio maalla ja vedessä mitattuna.(SD).Ero merkitsevä\*.

	MVV mittaus altaan reunalla	Mittaus vedessä uinti asennossa	Mittaus vedessä uinnin jälkeen	Mittaus altaan reunalla uinnin jälkeen
MVV	0,70	0,83	0,78	0,76
cMVV 40	0,79	0,82	0,84	0,81
cMVV 38.6-2,8	0,79	0,82	0,84	0,81
cMVV 35	0,79	0,82	0,84	0,81

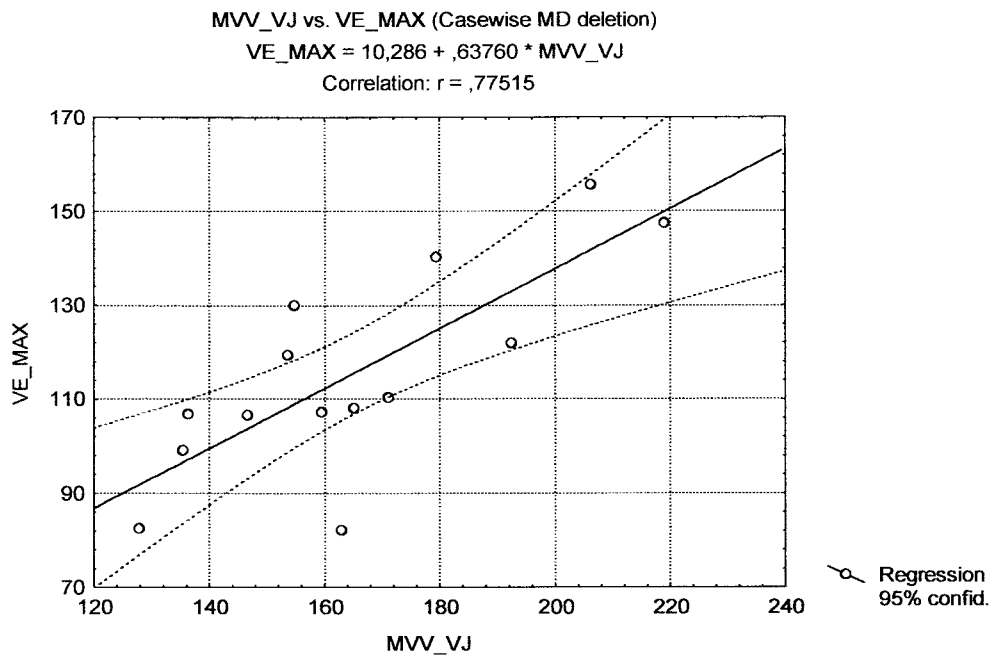
Korrelaatiokaavioista (kuvat 24, 25, 26 ja 27) käy ilmi koehenkilöjoukon yksittäisten uinnin Vemax:n ja MVV:n tulosten riippuvuus kun MVV mittauksia suoritettiin maalla ja vedessä ennen ja jälkeen maksimaalisen uintikuormituksen. Parhaiten uinnin VEmax:n kanssa korreloitui vedessä ennen uintia mitattu MVV.



KUVA 24. Maalla mitatun MVV:n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaaliseen ventilaatioon  $p < 0.01$ .

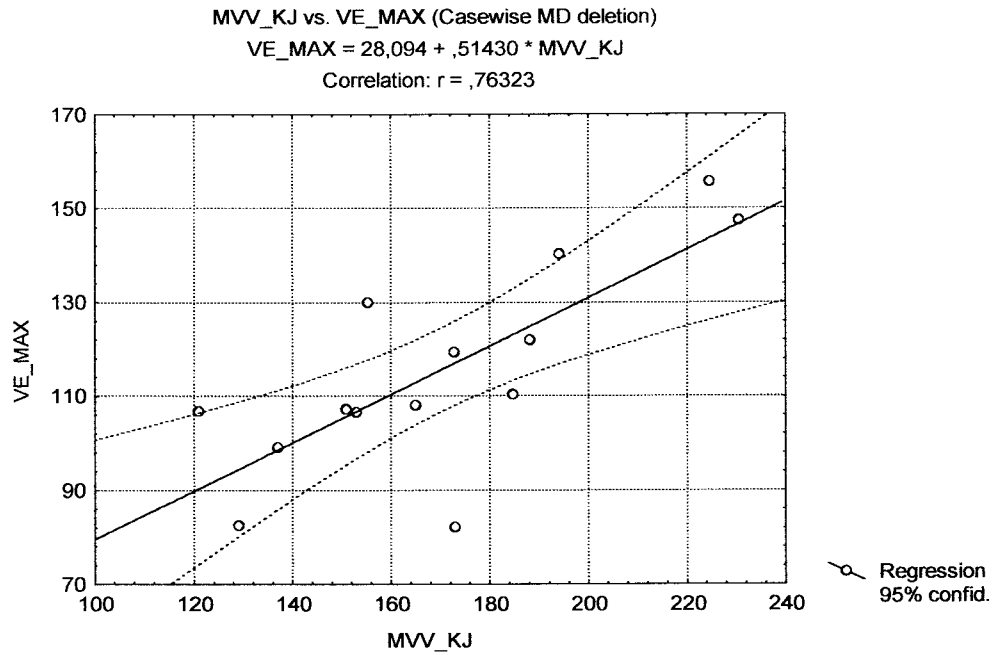


KUVA 25. Vedessä mitattu MVV:n regressiokaaviot ja korrelaatiot maksimaalisen uintirasituksen aikaiseen maksimaalisen ventilaatioon  $p < 0.001$ .



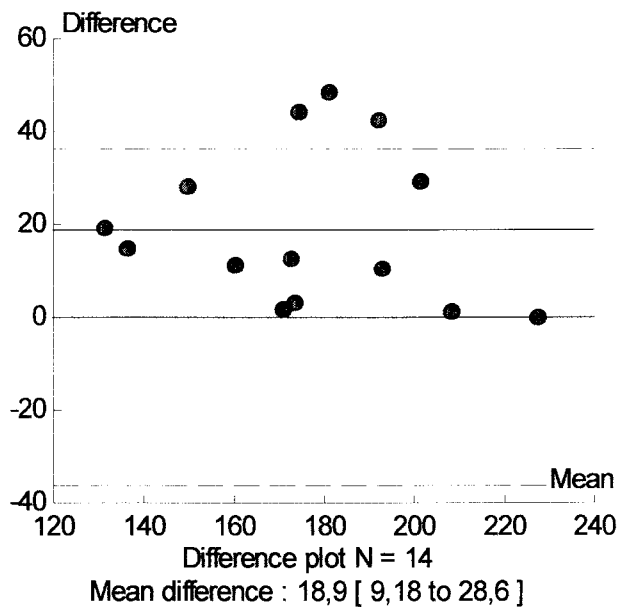
KUVA 26. Vedessä uinnin jälkeen mitattu MVV ja uintirasituksen aikainen VE<sub>max</sub>  $p < 0.001$ .



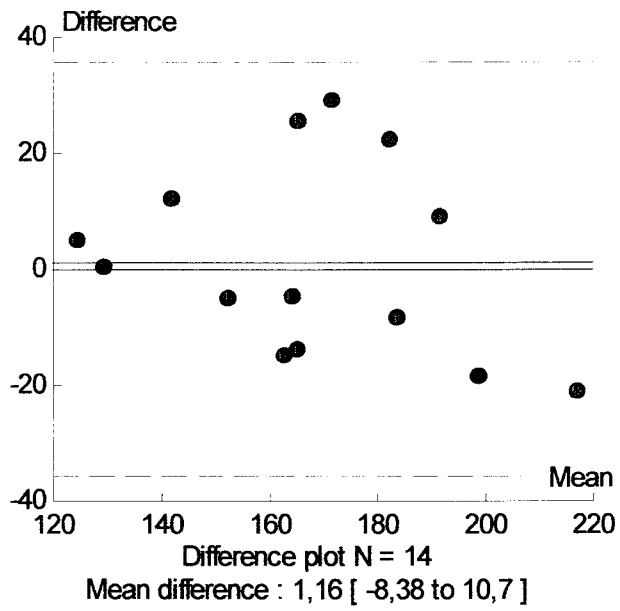


KUVA 27. Uinnan jälkeen maalla mitattu MVV ja uintirasituksen VEmax  $p < 0.001$ .

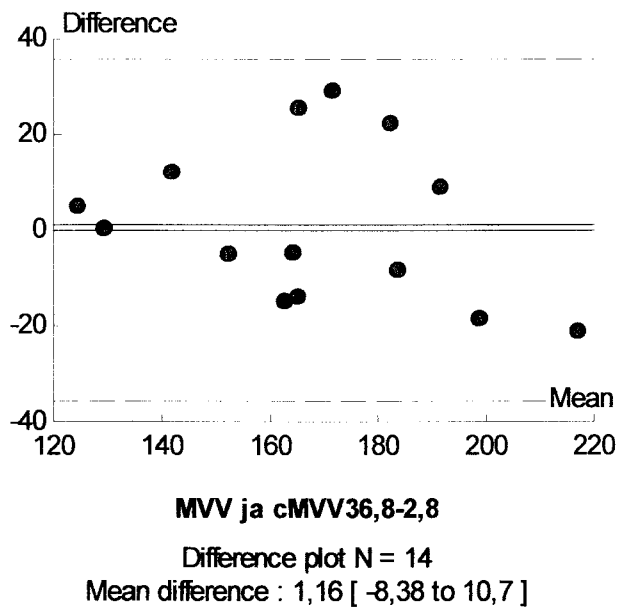
Tarkastellessa mitattua maksimaalista tahdonalaista ventilaatiota ja eri tavoin arvioituja cMVV:ta havaittiin, että joukon keskiarvot olivat lähellä toisiaan mutta yksittäisissä tapauksissa hajonta oli suuri (kuvat 28, 29 ja 30). Tällöin menetelmä soveltuu suurten joukkojen tutkimiseen yksittäisten tapausten sijasta.



KUVA 28. MVV ja cMVV40 keskiarvo ja luottamusväli.



KUVA 29. MVV ja cMVV35 Keskipoikkeama ja luottamusvälit.



KUVA 30. MVV ja cMVV38,6-2,8 Keskipoikkeama ja luottamusvälit.

## 6 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli tutkia ventilaatiossa tapahtuvia ilmiöitä harjoitelleilla kilpauimareilla veteen mennessä ja uinnin yhteydessä spirometrian mittausten avulla. Mittausten suorittaminen onnistui suunnitelman mukaisesti. Laitteiston käyttö ja tekninen toiminta sujuivat ongelmitta ja mittasuureet saatiin tulostettua luotettavasti. Koehenkilöiden suoritukset olivat ohjeiden mukaisia ja mittaukset tapahtuivat turvallisesti. Koehenkilöt eivät raportoineet ongelmista mittausten aikana.

### 6.1 Uimareiden ventilaatio levossa

Tutkimuksessa saadut lepospirometrian tulokset suhteutuivat koehenkilöiden ikää, kokoa ja sukupuolta vastaaviin viitearvoihin (Viljanen 1982) verrattuna eri tavoin. Uinnissa hengitetään ulos hitaasti veden vastusta vastaan, näin ollen olisi myös oletettavaa, että nopeaan ilman kulkuun keuhkoista perustuvat hengitysarvot kuten PEF ovat uimareilla viitearvoja alhaisempia. Uinnin hengityksessä olevien hitaiden ja nopeiden vaiheiden toistuminen paljon harjoittelevilla uimareilla voisi mahdollisesti aiheuttaa edellä kuvattuja ilmiöitä ventilaatiofunktioissa. Tällöin voisi olettaa myös uinnin aikana tapahtuvan hengityksen aiheuttavan hengitysilihaksissa hetkellistä ja mahdollisesti pidempiaikaista adaptaatiota, joka ilmenisi uimareiden ventilaation arvojen erilaisina suhteutumisena spirometrian eri viitearvojen välillä. Tässä tutkimuksessa keuhkojen toiminnan dynamiikkaa kuvaavat FEV<sub>1</sub> ja FVC olivat viitearvoja suuremmat kuten kirjallisuudessakin on esitetty, johtuen todennäköisesti uintiharjoitteluun liittyvistä tekijöistä tai lajin in valikoitumisesta. Puhalluksen alkuvaiheen huippuvirtausta kuvaava PEF oli uimareilla selkeästi alle viitearvojen samoin kuin ilmankulun helppoutta kuvaava FEV% sekä ilman virtausta kun tilavuus on 50% vitaalikapasiteetista ilmaiseva MEF<sub>50</sub>. Nämä tulokset voitaisiin ehkä mahdollisesti selittää uintiharjoittelun avulla saaduksi hengityksen adaptoitumiseksi tai ominaisuudeksi, joka uintiin valikoituneilla henkilöillä on luonnostaan..

Maksimaalista sisään- ja uloshengitystä kuvaava maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio MVV oli yksittäiseen puhallukseen perustuvalla menetelmällä määritettynä uimareilla merkittävästi korkeampi, kuin suoraan mitattavalla menetelmällä, jossa hengitetään maksimaalisesti 12 sekuntia jatkuvasti sisään ja ulos. Niinpä suorassa MVV:n mittauksessa sisään ja ulos hengitysilhasten täytyy toimia jatkuvasti toisiinsa nähden, kun uudessa hengitys

on yksittäistä ja tauotettua. Näin ollen sekä spirometrian arvojen erilainen suhteutuminen viitearvoihin ja laskennallisen ja suoraan mitatun maksimaalisen ventilaation erot voisivat mahdollisesti osoittaa uintiharjoittelun aiheuttamasta adaptaatiosta hengitykseen hyvin harjoitelleilla uimareilla.

Terveillä henkilöillä  $FEV_1$  kuvaa noin 80-90% kokonaistilavuudesta, kun vitaalikapasiteetti FVC kuvaa myös keuhkojen koko tilavuutta, ilmamäärää joka hengitetään maksimaalisesti ulos. Uinnissa sisäänhengitys tapahtuu nopeasti ja täydemmille keuhkoille hengityksen pidättämisen vuoksi. Eli näyttäisi siltä että uinnissa käytetään suurempia keuhkotilavuuksia Pitkäaikaisen uintiharjoittelun seurauksena on mahdollisesti FVC:n ja  $FEV_{1:n}$  kasvu. Koska hengittämiseen tarvittava työmäärä on uudessa suurempi kuin maan päällä tällöin hengitysilihasten kunto olisi tärkeänä tekijänä uimarin hengityksessä. Mahdollinen harjoittelun vaikutus näkyikin uimareilla viitearvoa suurempana FVC:n ja  $FEV_{1:n}$  arvoina.

Tutkimukseen osallistuneiden terveiden kilpauimareiden  $FEV_1$  oli keskimäärin 7% suurempi kuin heidän viitearvonsa (Viljanen 1982), joka vastaa heidän ikää kokoa ja sukupuolta. Aiemmissä tutkimuksissa Magel työtovereineen (1969) sai samansuuntaisia tuloksia kun hän vertasi nuoria harjoitelleita uimareita samanikäisiin harjoittelemattomiin nuoriin. Heidän tutkimuksissaan uimareiden  $FEV_1$  oli keskimäärin 0.79 litraa suurempi kuin harjoittelemattomien (Magel ym. 1969). Koska uimareiden maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio, MVV, on riippuvainen sekuntikapasiteetista,  $FEV_1$ :stä, silloin oli luonnollista, että sekä mitatun, MVV:n, että laskennallisen maksimaalisen tahdonalaisen ventilaation, cMVV:n, arvot olivat myöskin suuret.

Sukupuolten välisiä eroja tarkastellessa naisten spirometrian arvot olivat miesten arvoja pienemmät. Hengityksen kulun helppoutta kuvaava  $FEV\%$  oli naisuimareilla suurempi kuin miesuimareilla. Tulos tarkoittaisi sitä, että naisuimarit pystyivät tyhjentämään keuhkonsa nopeaan vitaalikapasiteettiin nähden tehokkaammin sekunnin aikana kuin miesuimarit. Sama ilmiö näkyi myös viitearvoprosenteissa, joissa miesten  $FEV\%$  on alhainen. Katso taulukot

Tässä tutkimuksessa cMVV:n ja MVV:n välinen ero oli suuruudeltaan 12% ja se oli tilastollisesti merkittävä. Koska tulosten perusteella cMVV oli mitattua MVV:tä suurempi, se voisi osoittaa, että uimareilla yksittäiseen hengitykseen cMVV:n vaadittava mittaustapa eli yksittäisen puhalluksen mittaaminen ja siitä maksimaalisen ventilaation arvioiminen antaa parempia ventilaation tuloksia siksi, että se on yhtenevämpi uinnihengityksen tyyppiselle hengitystoiminnalle, jossa joudutaan pidättämään hengitystä käsivetojen rytmityksen mukaan. Tällöin yksittäiseen voimakkaaseen ulohengitykseen perustuva cMVV noudattaa enemmän uinnin vaatimuksia, mitatun MVV:n jatkuva hengittäminen ei ole uinnissa luonteen omaista.

## **6.2 Ventilaatio maalla ja vedessä**

Mittauksista saadut tulokset veden vaikutuksista hengitykseen osoittivat, että veteen siirtyminen pienentäisi uimareiden hengitysarvoja. Tulokset tukivat kirjallisuudessa esitettyjä immersion vaikutuksia ventilaatioon. Kirjallisuudessa ympäröivän veden vaikutuksesta vitaalikapasiteetti pienenee 6%-11% (Agostoni ym. 1966; Laitinen 1990, 302). Tässä tutkimuksessa veteen tottuneilla terveillä kilpauimareilla vitaalikapasiteetin lasku oli hieman pienempi 3,7%. Tämä saattaisi mahdollisesti johtua uimareiden harjaantuneesta ja veteen tottuneesta hengitystoiminnasta. Lisäksi tulokset voivat myös kertoa, että sellaiset yksilöt joilla on jo valmiiksi luontaisesti pienempi vitaalikapasiteetin lasku veteen mennessä, jatkaisivat uintiharrastusta myös helpommin. Vastaavasti yksilöt joilla ventilaation lasku vedessä on suurempi mahdollisesti valikoituisivat pois. Maalla mitatut spirometrian arvot laskivat maksimaalisen uinnin vaikutuksesta hieman. Katso taulukko 3. Tämän voisi mahdollisesti selittää johtuvan vedessä olon neuraalisilla vaikutuksilla

## **6.3 Ventilaatio uintirasituksessa**

Tutkimuksessa saadut uimareiden maksimaalisen uinnin aikana saavuttamat VEmax tulokset olivat lähestulkoon yhteneviä Magelin tutkimuksissa Michiganin Yliopiston uimareilla mitatut tulokset (Magel ym.1967). Uintirasituksessa nais- ja mies uimareiden VEmax:n välillä oli keskimäärin 30 litran ero. Tämä aiheutuu erosta uintikuormituksen kertahengitystilavuudessa. Vaikka uimarit saivat vapaasti valita hengitys rytmin,

hengitystiheys oli nais- ja mies uimareilla lähes sama. Tämä ilmiö voisi myös osoittaa uintiharjoittelun aiheuttamaa uintispesifistä hengityksen adaptoitumista.

#### **6.4 Uinnin maksimaalisen ventilaation arvioiminen lepomittauksilla**

Tässä tutkimuksessa levossa tehtävistä mittauksista uintirasituksen maksimaalisenventilaation kanssa parhaiten korreloituivat vedessä uintiasennossa mitatut arvot. Olemassa olevilla mittausmenetelmillä levossa ei vielä näyttäisi voitavan luotettavasti levossa tehtävillä mittauksilla arvioida uinnin aikaista maksimaalista ventilaatiota. Mittausmenetelmän tutkiminen ja kehittäminen olisi merkityksellistä varsinkin uinnissa, koska hengityselimistön kunto on suorituksen kannalta oleellinen ja keuhkotoiminnan vaatimukset ovat spesifisiä.

Koska uinnissa ventilaatiokyvyn merkitys on suuri voisi nuorten urheilijoiden suorituskykytesti antaa suuntaa antavia tuloksia nuoren urheilijan tulevaisuutta ajatellen. Tällöin lahjakkuusominaisuuksia kartoitettaessa hengityselimistön toiminta ja ventilaatiokyky olisi yksi tärkeä tekijä muiden uinnissa vaadittavien tärkeiden ominaisuuksien joukossa. Jos nuorilta uimareilta haluttaisiin lahjakkuus seulontaa, olisi paikallaan testata muiden ominaisuuksien lisäksi myös keuhkofunktiot. Uinnilla (uintiharjoittelulla) on esitetty olevan yhteys paikallisia vaikutuksia verenkiertoon sekä aineenvaihduntaan (Magel ym. 1975). ja kirjallisuuden mukaan uintiharjoittelun vaikutuksesta VEmax kehittyä uintispesifisti, joka tarkoittaa, että uinnissa saavutetaan erisuuruisia VEmax arvoja verrattuna muihin lajeihin samalla henkilöllä. Myös on esitetty, että maalla tehdyt mittaukset eivät kertoisi tutkittavan mahdollisesta uinnin aikaisesta suorituskyvystä VEmax:sta, VO<sub>2</sub>max:sta eikä maksimi sykkeestä. Samanlaisia ilmiöitä on havaittu sekä harjoitteleilla uimareilla että harjoittelemattomilla kuntoilijoilla. Uimareilla on aiemmin todettu korkeampia ventilaation arvoja kuin esimerkiksi verratessa saatuja tuloksia maratoonareilta mitattuihin tuloksiin. (Mahler ym. 1982)

Tämän tutkimuksen perusteella kuitenkin tilastollisten analyysien perusteella levossa suoritetuista mittauksista FEV<sub>1</sub> ja FVC mittaukset antaisivat lähimmän arvion uimarin ventilaatiokyvystä uintirasituksessa, kun kyseessä on useita vuosia harjoitellut kokenut kilpauimari.

Mitatun ja laskennallisen tahdonalaisen maksimaalisen ventilaation, MVV cMVV:n, ja rasiituksen aikaisen maksimaalisen ventilaation, VEmax:n, välillä oli hyvä korrelaatio. Absoluuttisissa arvoissa oli kuitenkin selvä tasoero. Tästä syystä niiden käyttöön hengityksen reservin ja ventilaation rajoittuneisuuden osoittajana tulisi suhtautua erityisellä tarkkuudella.

Uintirasituksessa hengitysreserviä jäi tavallista (20-30%) runsaammin. (Wasserman 1994, 124) Tässä tutkimuksessa käytetyillä menetelmillä ventilaatio ei näyttäisi olevan suoritusta rajoittavana tekijänä tutkimillamme kilpauimareilla. Tutkimuksessa nyt käytettyjen menetelmien lisäksi tukena analysoinnissa ja kuvaavampaa tietoa antaisi rasiituksen aikainen virtaustilavuus silmukka-analyysi (Johnsson 1999). Sen avulla voitaisiin tarkemmin määrittää uinnin aikaista ventilaatiofunktioita; kertahengityksen tilavuutta sekä virtausnopeutta hengityssyklin eri vaiheissa. Hengitysreservin suuruuteen uimareilla on uintisuorituksessa myös voinut vaikuttaa snorkkelityyppiseen suukappaleeseen hengittäminen. Mikäli mittauksia olisi toistettu useammin, snorkkeliin hengittäminen ja sen kanssa uiminen olisi voinut muuttua ja aiheuttaa muutoksia tuloksiin. Uimarit olisivat ehkä pystyneet uimaan vapautuneemmin ja uskaltaneet ottaa itsestään enemmän uinnissa irti, jolloin heidän uinnin aikaiset VEmax tuloksensa olisivat mahdollisesti olleet suuremmat ja lähempänä MVV ja cMVV arvoja.

Tässä tutkimuksessa koehenkilöiden ominaisuudet oli tarkoin rajattu. Tutkimustulokset olivat odotettuja ja ne noudattelivat aiemmin tehtyjen tutkimusten tuloksia. Mittauksiin osallistuneet uimarit olivat Suomen kansallista huipputasoa. Yleensä kilpauintia harrastavilla tai tavallisilla uimareilla tulokset olisivat voineet olla erilaisia. Kaikki koehenkilöt olivat nuoria, joten heillä ei vielä voinut ilmetä iän mukana tapahtuvaa ventilaatiokapasiteetin laskua. Lisäksi mittauksiin valittiin ainoastaan terveitä uimareita ja tästä syystä uimareilla ei tässä tutkimuksessa ilmennyt hengityksen rajoittumista käytössä olleilla menetelmillä mitattuna. Tutkimusasetelma oli rakennettu sellaiseksi, että mitatuille uimareille kuuluikin jäädä runsaasti reserviä hengityksessä. Tulevaisuudessa olisi mielenkiintoista tutkia hengitysfunktioita uintirasituksessa sekä terveillä uimareilla että uimareilla, joilla on todettu ventilaation funktion vajuus.

## 6.5 Yhteenveto ja johtopäätökset

Tässä tutkimuksessa havaittiin uimareiden lepospirometrian arvojen eroavan suhteessa henkilökohtaisiin viitearvoihin (Agostoni 1966, 302; Viljanen ym. 1982) ja muuttuvan vesiympäristön ja uinnin vaikutuksesta. Tämä mahdollisesti osoittaisi uintiharjoittelulla olevan spesifiä vaikutusta ventilaatioon ja aiheuttavan hengitysadaptaatiota. Aiemmin esitettyihin kysymyksiin saatiin tutkimuksen avulla seuraavat vastaukset

1. Maalla levossa spirometrian tuloksissa havaittiin uintiasennon ja vesiympäristön vaikuttavan ventilaatioon laskevasti. Uimareilla FVC:n lasku oli vähäisempi kuin kirjallisuudessa oli esitetty olevan. (Laitinen 1990) Syynä tähän voisi olla mahdollisesti harjoittelun aiheuttama adaptaatio tai ominaisuus, joka uintiin helposti valikoituvilla henkilöillä on jo luonnostaan. Uiminen vaikutti vedessä mitattuihin spirometrian tuloksiin nostavasti.

2. Uinnissa saavutetun VEmax:n tulokset olivat lähestulkoon yhteneviä aiemmin uimareilla mitattuihin arvoihin (Magel ym. 1975). Naisten ja miesten VEmax:n tulosten välinen suuruusero aiheutui pääasiassa kertahengitystilavuuden VT:n erosta, joka oli naisilla vajaan litran pienempi kuin miehillä. Hengitysfregvenssi  $R_f$  oli nais- ja miesuimareilla lähes sama.

3. Tutkimuksesta saatujen tulosten avulla voitaisiin sanoa, että vedessä tehdyt mittaukset soveltuisivat parhaiten uimareiden ventilaation funktioiden tutkimiseen. Levossa käytettävien spirometrian funktioiden määrittämenetelmien soveltumista uinnin aikaisen maksimaalisen ventilaation arvioimiseen tulisi tutkia vielä perusteellisemmin lisää.



## LÄHDELUETTELO

- Agostoni E, Gurtner G, Torri G, and Rahn H (1966) Respiratory mechanics during submersion and negative-pressure breathing. *J Appl Physiol*, 21(1), 251-8.
- Armour J, Donnelly PM, and Bye PT (1993) The large lungs of elite swimmers: an increased alveolar number? *Eur Respir J*, 6(2), 237-47.
- Babb TG, Long KA, and Rodarte JR (1997) The relationship between maximal expiratory flow and increases of maximal exercise capacity with exercise training. *Am J Respir Crit Care Med*, 156(1), 116-21.
- Bar-Or O, and Inbar O (1992) Swimming and asthma. Benefits and deleterious effects. *Sports Med*, 14(6), 397-405.
- Bicard .A CC (1995) Evaluation of the Cosmed K2 telemetry system during exercise at moderate altitude. *Med Sci Sports and Exerc*, 27(9), 1333-1338.
- Bland JM, and Altman DJ (1986) Regression analysis. *Lancet*, 1(8486), 908-9.
- Bondi KR, Young JM, Bennett RM, and Bradley ME (1976) Closing volumes in man immersed to the neck in water. *J Appl Physiol*, 40(5), 736-40.
- Brick I (1966) Circulatory responses to immersing the face in water. *J Appl Physiol*, 21(1), 33-6.
- Cordain L, and Stager J (1988) Pulmonary structure and function in swimmers. *Sports Med*, 6(5), 271-8.
- Cotes EJ Lung function: Assesment and Application in Medicine, Blackwell Scientific Publications, 1975.
- Epstein M (1976) Cardiovascular and renal effects of head-out water immersion in man: application of the model in the assessment of volume homeostasis. *Circ Res*, 39(5), 619-28.
- Eriksson O, Lundin A, and Saltin B (1975) Cardiopulmonary function in former girl swimmers and the effects of physical training. *Scand J Clin Lab Invest*, 35(2), 135-45.
- Etheridge (1978) The Effect of body position and water immersion on lung volumes of women. *Medicine and Science in Sports*, 10 (61), 61.
- Fanta CH, Leith DE, and Brown R (1983) Maximal shortening of inspiratory muscles: effect of training. *J Appl Physiol*, 54(6), 1618-23.
- Gandevia B, Hugh-Jones,P. (1957) Terminology for measurements of ventilatory capacity. *Thorax*, 1, 290-293.

- Glantz SA (1977) *Primer of Bio statistics*, McGraw-Hill Health Professions Divisions, New York.
- Green M, and Moxham J (1985) The respiratory muscles. *Clin Sci (Lond)*, 68(1), 1-10.
- Guyton (1996) *Textbook of Medical Physiology*, W. B. Saunders Company.
- Hanson JS (1973) Maximal exercise performance in members of the US Nordic Ski Team. *J Appl Physiol*, 35(5), 592-5.
- Holmer I (1972) Oxygen uptake during swimming in man. *J Appl Physiol*, 33(4), 502-9.
- Holmer I (1974) Physiology of swimming man. *Acta Physiol Scand Suppl*, 407, 1-55.
- Holmer I, Stein EM, Saltin B, Ekblom B, and Astrand PO (1974) Hemodynamic and respiratory responses compared in swimming and running. *J Appl Physiol*, 37(1), 49-54.
- Houston M. E. CNJ, Galbo H., Holst J. J., Nielsen B., Nygaard E., and Saltin B. (1982) Metabolic Responses to Swimming at Three Different Water Temperatures. *Swimming IV*, 327-333.
- Johnson BD, Weisman IM, Zeballos RJ, and Beck KC (1999) Emerging concepts in the evaluation of ventilatory limitation during exercise: the exercise tidal flow-volume loop. *Chest*, 116(2), 488-503.
- Kawakami Y, Nozaki D, Matsuo A, and Fukunaga T (1992) Reliability of measurement of oxygen uptake by a portable telemetric system. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 65(5), 409-14.
- Keskinen K.L.,Rodriquez F.A., Keskinen O.P., Merikari J.(2002) Comparative validity of a modified respiratory valve system for breath-by-breath gas analysis during swimming. *Proceedings of the 5th Annual Congress of the European College of Sport Science*, p.393
- Koskenvuo K (1990) *Sotilasterveydenhuolto*, Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Laitinen LA (1990) Immersion ja uinnin fysiologiset vaikutukset. *Sotilasterveydenhuolto*, K. K, ed., Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Levine S (1999) Tidal flow-volume analysis of ventilation during exercise: a useful approach for diagnosing the mechanism of ventilatory limitation to exercise during cardiopulmonary exercise testing. *Chest*, 116(2), 277-8.
- Lopategui Corsino E, Soler Lopez R, and Rivera Perez MA (1994) [Physiological and metabolic responses of competitive swimmers during exercise in air and water environments]. *P R Health Sci J*, 13(2), 133-41.

- Maclisho EW (1993) *Swimming even faster*, Mayfield Publishing Company.
- Magel JR, Foglia GF, McArdle WD, Gutin B, Pechar GS, and Katch FI (1975) Specificity of swim training on maximum oxygen uptake. *J Appl Physiol*, 38(1), 151-5.
- Magel JRA, L. (1969) Pulmonary diffusing capacity and cardiac output in young trained Norwegian swimmers and untrained subjects. *Medicine and science in sports*, 1(3), 131-139.
- Mahler DA, Moritz ED, and Loke J (1982) Ventilatory responses at rest and during exercise in marathon runners. *J Appl Physiol*, 52(2), 388-92.
- McArdle (1991) *Exercise physiology energy nutrition and human performance*, Les & Febiger, Philadelphia/London.
- McArdle WD, Glaser RM, and Magel JR (1971) Metabolic and cardiorespiratory response during free swimming and treadmill walking. *J Appl Physiol*, 30(5), 733-8.
- Meysman M, and Vincken W (1998) Effect of body posture on spirometric values and upper airway obstruction indices derived from the flow-volume loop in young nonobese subjects. *Chest*, 114(4), 1042-7.
- Miller A (1987) *Pulmonary function tests A guide for student and house officer*, W. B. Saunders Company, New York.
- Miller WF (1959) Relationships between maximal breathing capacity and timed expiratory capacities. *Journal of Applied Physiology*, 14, 510-516.
- Rahn H, Farhi, L.E. (1964) Ventilation, Perfusion and Gas Exchange: the VA /Q Concept, in W.O. Fenn and H.Rahn (eds.), *American physiological Society*, Washington D.. C.
- Rodriguez FA (2000) Maximal oxygen uptake and cardiorespiratory response to maximal 400-m free swimming, running and cycling tests in competitive swimmers. *J Sports Med Phys Fitness*, 40(2), 87-95.
- Sovijärvi A (1988) *Keuhkofunktio tutkimukset. Kliininen Fysiologia*, Karisto Oy, Hämeenlinna.
- Tikkanen H PJ (2001) *Liikunta ja keuhkot. Duodekim*, 117, 639-646.
- Tikkanen H.O. HIHT (1996) Pulmonary functions of healthy elite runners in winter and pollen-season out door running test. *Med Sci Sports Exerc*, 28(5), S66.
- Toussaint HM, Meulemans A, de Groot G, Hollander AP, Schreurs AW, and Vervoorn K (1987) Respiratory valve for oxygen uptake measurements during swimming. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*, 56(3), 363-6.
- Uusitalo (1988) *Kliinisen fysiologian oppikirja*, Karisto Oy, Hämeenlinna.

- Wasserman JEH, D. Y. Sue, B. J. Whip (1994) Principles on exercise testing and interpretation., Lea & Faebiger, Philadelphia.
- Weiler-Ravell D, Cooper DM, Whipp BJ, and Wasserman K (1983) Control of breathing at the start of exercise as influenced by posture. *J Appl Physiol*, 55(5), 1460-6.
- West JB (1995) Respiratory physiology -the essentials, Williams & Willkins, Baltimore, USA.
- Viljanen AA, Halttunen PK, Kreuz KE, and Viljanen BC (1982) Spirometric studies in non-smoking, healthy adults. *Scand J Clin Lab Invest Suppl*, 159, 5-20.
- Willmore C (1994) *Physiology of Sports and Exercise*, .
- Wilmore JH (1969) A simplified method for determination of residual lung volumes. *J Appl Physiol*, 27(1), 96-100.
- Zakynthinos S, Vassilakopoulos T, Mavrommatis A, Roussos C, and Tzelepis GE (1999) Effects of different expiratory maneuvers on inspiratory muscle force output. *Am J Respir Crit Care Med*, 159(3), 892-5.
- Åstrand KR (1986) *Textbook of physiology, Physiological bases of exercise*, .
- Åstrand PO, Saltin B (1961) Maximal oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity. *Journal of Applied Physiology*, 16(6), 977-981.

**LIITE 1****HENGITYSMITTAUSTEN AIKATAULU**

1 tunti 20min ennen	Laitteet päälle pitää lämmittää 40 minuuttia
30-20min ennen	Kalibrointi n.10 minuuttia
15min ennen	Uimari tulee altaalle uinti varustuksessa, testin kulku ja ohjeet mittausten suorittamiseen
	<u>Esitiedot ja hengityslaitteen asettaminen paikoilleen</u>
0 min	Mittaus kuivalla levossa
0.00, 0.30, 1.00min	Maksimaalinen sisään ja ulos puhallus laitteeseen (FEV käyrä) 3 kertaa
2.30 min	Maksimaalinen hengityskapasiteetti 15 sekuntia MVV Siirtyminen veteen pullis jalkoihin käsillä kiinni reunasta
5 min	Mittaus vedessä levossa uintiasennossa kasvot vedessä
5.00, 5.30, 6.00 min	Maksimaalinen sisään ja ulos puhallus laitteeseen (FEV käyrä) 3 kertaa
7.30 min	MVV
8.00	Laitteet irti
10 min	Uimari verryttelee vapaasti 10 min, laitteen valmistelu, suokappaleen asettaminen
20 min	Hengitysmittaus uinnin aikana 50m maksimaalista, kääntyminen 50m maksimivauhtia ja heti maalissa MVV huom. pullis jalkoihin Maksimaalinen sisään ja ulos puhallus laitteeseen (FEV käyrä) 3 kertaa
<u>35 min</u>	<u>Laitteen irrottaminen, tulosten tallentaminen</u>
15 min	Suokappaleen puhdistus hengityspotken kuivaus koneen valmistaminen uutta testiä varten
<u>40 min</u>	<u>Kokonaisaika</u>

## **UIMAREIDEN HENGITYSMITTAUKSET**

### **TIEDOTE KOEHENKILÖILLE**

Kansainväliset sopimukset tutkimuksista edellyttävät, että tutkittaville henkilöille selvitetään tutkimuksen kulku ja sekä mittauksiin liittyvät hyödyt ja riskit. Tutkittavilta tulisi saada kirjallinen suostumus toimia koehenkilönä.

#### **1 Tutkimuksen tarkoitus, tavoite ja merkitys**

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää kuinka hyvin ja tehokkaasti uimarin hengitys toimii maksimaalisen uinnin aikana. Tässä tutkimuksessa tutkitaan uimarin hengitysarvoissa tapahtuvia muutoksia. Puhallusmittauksia suoritetaan sekä levossa että rasituksen aikana. Tämän tyyppisiä mittauksia ei ole aikaisemmin Suomessa tehty uimareille. Tutkimustulokset antavat aiemmin tutkimatonta tietoa uimareiden hengityksen ilman virtauksesta lisäksi tutkimuksesta saatuja tietoja tullaan käyttämään valmennus ja tutkimuskäyttöön

#### **2 Menettelyt, joiden kohteiksi tutkittavat joutuvat**

Uimarilta mitataan spirometrilla kuivalla maalla ja myös vedessä lepopuhalluksia. Uintimittauksissa hän ui kilpailusuorituksen kaltaisesti lyhyellä levolla kaksi kertaa 50metriä (yhteensä 100m) vapaauintia, hengittäen uinnin aikana mittauslaitteeseen. Myös uinnin jälkeen häneltä mitataan hengitysarvoja levossa.

Ennen testiä vahvan aterian ja piristävien juomien kuten kahvin teen kolajuomien ym. nauttimisesta on oltava vähintään kaksi tuntia mittausten suorittamiseen ja alkoholin nauttimisesta 3 vuorokautta. Hengitysmittauksissa, kun urheilija suorittaa puhalluksia spirometriin, on ensiarvoisen tärkeää, että puhallukset suoritetaan täysin ohjeiden mukaan. Silloin mittauksia ei jouduta uusimaan ja tulokset ovat todenmukaisia.

#### **3 Tutkimuksen hyödyt ja haitat**

Hyötynä tutkimukseen osallistumisessa on, että hyvin ja oikein suoritetuista testeistä koehenkilö saa tietoa hengitysarvoistaan ja oman hengityksen toiminnasta uinnin aikana.

Koehenkilöllä on tilaisuus päästä testaamaan hengitysarvonsa maksimaalisen uinnin aikana. Tutkittavalle ei koidu mittauksista kustannuksia.

Koehenkilö hengittää laitteeseen maksimaalisesti sisään ja ulos mahdollisimman syvään ja nopeasti 10 – 15 sekunnin ajan ja mahdollisesti mittauksen aikana joillekin henkilöille saattaa aiheutua hetkellistä huimausta. Uintisuorituksessa hengittäminen snorkkelin malliseen mittalaitteeseen saattaa tuntua aluksi joistain uimareista oudolta. Kokemusten perusteella laitteeseen hengittämiseen on helppo tottua. Uimari saa halutessaan totutella laitteeseen hengittämistä ennen suoritusta.

#### **4 Miten ja mihin tietoja aiotaan käyttää**

Tutkimuksesta saatuja tuloksia tullaan julkaisemaan kansainvälisissä tiedejulkaisuissa ja kansainvälisissä kongresseissa.

#### **5 Tutkijan yhteystiedot**

Mittauksiin ja testeihin liittyvissä kysymyksissä voit ottaa yhteyttä Marja Päiviseen puhelimitse 050 354 7118 tai sähköposti: [marja\\_paivinen@hotmail.com](mailto:marja_paivinen@hotmail.com)

Heikki Tikkanen, Helsingin Urheilulääkäriasema 09- 490809

Kari Keskinen, Jyväskylän Yliopisto 014-2602056

Keijo Häkkinen, Jyväskylän Yliopisto 014-2602076

#### **6 Tutkimuksen taustatiedot**

Tutkimusprojektissa ovat mukana Jyväskylän Yliopiston liikuntabiologian laitos sekä Helsingin Urheilulääkäriasema. Osa tutkimuksesta kuuluu pro gradu opinnäytetyöhöni.

#### **7 Tutkittavien oikeudet**

Koehenkilöt tulevat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja he voivat koska tahansa kieltäytyä osallistumasta tutkimukseen. Koehenkilöiden tutkimustuloksia käsitellään ja julkaistaan nimettöminä.

#### **8 Vakuutus**

Pohjolan kilpailulisenssivakuutus kattaa uimarin vakuutuksen testimittauksissa

#### **9 Koehenkilön suostumus**

Olen lukenut tutkimukseen liittyvät ohjeet, ja ymmärrän tutkimusmenetelmien kulun sekä niihin liittyvät riskit ja hyödyt sekä tutkimukseen liittyviin kysymyksiini on vastattu. Osallistuminen tutkimukseen on vapaaehtoista ja voin keskeyttää osallistumiseni missä vaiheessa haluan.

Annan luvan käyttää tutkimustuloksiani tutkimuksen käyttöön.

**Koehenkilön allekirjoitus ja puhelinnumero**

Aika \_\_\_\_\_ Paikka \_\_\_\_\_ Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Puhelin \_\_\_\_\_

**Mikäli olet nuorempi kuin 18 vuotta tarvitsemme lisäksi myös huoltajasi/holhoojasi allekirjoituksen ja puhelinnumeron**

Aika \_\_\_\_\_ Paikka \_\_\_\_\_ Allekirjoitus \_\_\_\_\_

Puhelin \_\_\_\_\_

**Tutkijan allekirjoitus**

Aika \_\_\_\_\_ Paikka \_\_\_\_\_ Allekirjoitus \_\_\_\_\_ Tästä

suostumuslomakkeesta on kaksi kappaletta toinen koehenkilölle ja toinen tutkijalle.