

Sanna Linko

Kilpauimarin toiminnalliseen hengityshäiriöön altistavia biomekaanisia tekijöitä ja niiden vaikutuksia

Pilottitutkimus, poikkileikkausasetelma

Metropolia Ammattikorkeakoulu

Fysioterapeutti (AMK)

Fysioterapian koulutusohjelma

Opinnäytetyö

Tekijä Otsikko Sivumäärä Aika	Sanna Linko Kilpauimarin toiminnalliseen hengityshäiriöön altistavia biomekaanisia tekijöitä ja niiden vaikutuksia 30 sivua + 3 liitettä Kevät 2016
Tutkinto	Fysioterapeutti (AMK)
Koulutusohjelma	Fysioterapian koulutusohjelma
Suuntautumisvaihtoehto	Fysioterapia
Ohjaajat	Anu Valtonen, yliopettaja Tiina Karihtala, lehtori
<p>Uimareista noin 25 % kärsii astman kaltaisista oireista ja noin 10 %:lla urheilijoista on havaittu rasisuksessa ilmenevää ennenaikaista keuhkoputkien supistumista. Näihin hengenahdistusoireisiin ei astmalääkityksellä saada hoitovastetta. Uimarit kuuluvat tähän riskiryhmään. Kliinisen kokemuksen perusteella uimareilla on havaittu toiminnallisen hengityshäiriön eri muotoja joko diagnosoidun astman rinnalla tai erillisinä oireina. Näistä esimerkkeinä hyperventilaatio-oireisto, dynaaminen hyperinflaatio ja VCD -oireyhtymä. Opinnäytetyössä toteutettiin pilottitutkimus, jonka tarkoituksena oli selvittää uimareilla ilmeneviä biomekaanisia toiminnalliseen hengityshäiriöön altistavia tekijöitä.</p> <p>Pilottitutkimus toteutettiin poikkileikkaus asetelmalla. Otanta oli 25 uimaseura Cetus Espoon 15–24 -vuotiasta kilpauimaria, jotka harjoittelevat vähintään 6x/vk. Tutkimukseen osallistui 17 naista ja kahdeksan miestä. Hypoteesina oli, että uintiharjoittelu altistaa kehon kuormituslinjojen muutoksille aiheuttaen asentomuutoksia muuttaen hengitystä. Ennen tutkimusta tutkittavat saivat täytettäväksi esitietolomakkeen, jossa kartoitettiin hengityssairaudet, lääkitys, infektiot, hengitysongelmat ja kiputilat. Pilottitutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kilpauimareiden rintakehän alueella ilmeneviä kiputiloja, rintakehän laajenemista, pallean etuosan toimintaa sekä kapnografimittauksella hengitysfrekvenssiä ja hiilidioksidin poistoa. Lisäksi selvitettiin, miten rintakehän nivelten kipupisteet ja hiilidioksidin poisto ovat yhteydessä hengitysfrekvenssiin.</p> <p>Mittaustulosten perusteella uimareilla on havaittavissa eriasteisia rintakehän nivelten toiminnan häiriöitä ja 40 %:lla tutkittavista rintakehän laajeneminen oli alle 5cm. Pallean toiminnassa oli havaittavissa huomattavaa epäsymmetrisyyttä ja päälle jäävää tonusta. Tutkittavista 24 %:lla oli havaittavissa lepotilassa matala uloshengityksen loppuosan keuhkojen ilman hiilidioksidipitoisuus.</p> <p>Voidaan todeta, että uintiharjoittelu muuttaa rintakehän lihasten aktivaatiotasoa ja aiheuttaa pallean toimintaan epäsymmetriaa. Kehon tiukkuus ja hengitystapa ovat suuressa roolissa toiminnallisen hengityshäiriön kehittämisessä.</p>	
Avainsanat	pilottitutkimus, kilpauinti, hengitys, toiminnallinen hengityshäiriö, hyperventilaatio, VCD, rintakehän laajeneminen, pallealihas, kapnografimittaus

Author Title Number of Pages Date	Sanna Linko Competitive Swimmer's Biomechanical Factors of Breathing Pattern Disorders (BPD) 30 pages + 3 appendices Spring 2016
Degree	Bachelor of Health Care (Physiotherapy)
Degree Programme	Physiotherapy
Specialisation option	Physiotherapy
Instructors	Anu Valtonen, Principal Lecturer Tiina Karihtala, Senior Lecturer
<p>Researchers have found that about 25 % of competitive swimmers had been diagnosed with asthma-like symptoms. Exercise-induced bronchoconstriction is very common among athletes and swimmers in particular. It has been verified that exercise-induced bronchoconstriction occurs in up to 10 % of athletes who are not known to be asthmatic. The main symptom is inability to inhale and there is lack of responsiveness to bronchodilators. According to the clinical experience there are many swimmers suffering from Breathing Pattern Disorders (BPD) for example symptoms of hyperventilation, dynamic hyperinflation and Vocal Cord Dysfunction (VCD). The typical symptom is shortness of breath during exercise, notably inability to inhale. In this pilot study we investigated which are the biomechanical factors among swimmers that could expose them to BPD.</p> <p>A clinical sample was 25 competitive swimmers (aged between 15 and 24) from Cetus Espoo (swimming club in Finland), eight men and 17 women. It was hypothesized that swimming training for years exposes to loading lines changes, causing musculoskeletal imbalance. As a result this can be seen as overuse and tension in the accessory respiratory muscles and the diaphragm cannot return to optimal resting point. The aim of the study was to investigate movement of the chest wall, pain of the thorax joints and diaphragmatic descent. The study included also capnography assessment.</p> <p>As a result it was found that the majority of the participants had abnormal thorax mobility and chest expansion. They also had asymmetrical diaphragmatic descent and diaphragmatic resting tone. At the rest 24 % of the participants had low End Tidal CO₂ (<35mmHg) known as hypocapnia.</p> <p>According to the results it can be concluded that swimming can cause habitual motor patterns of breathing for example due to increased resting tone of the accessory respiratory muscles and abdominal muscles. This process challenges the normal breathing pattern.</p>	
Keywords	pilot study, competitive swimming, breathing, breathing pattern disorders, thorax, chest expansion, diaphragm, capnography

Sisällys

1	Johdanto	1
2	Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite	2
3	Uimarin ventilaatio	2
3.1	Uimarin keuhkojen tilavuus ja maksimaalinen hapenottokyky	3
3.2	Vapaauintin hengitys ja rintakehän rotaatio	4
4	Kehon vapaa hengityslieke	5
4.1	Kehon kolme palleaa	5
4.2	Pallealihaksen faskiaaliset yhteydet	7
4.3	Pallealihas rasituksen aikana	9
5	Hengityksen säätely rasituksessa	10
5.1	Hengityksen säätelijänä veren hiilidioksidipitoisuus	10
5.2	Uimarin hengitysongelmat ja toiminnallinen hengityshäiriö	12
5.3	Hengityksen pidättäminen	16
6	Tutkimusasetelma, tutkittavat ja mittausmenetelmät	17
6.1	Fysioterapeuttinen arviointi	17
6.2	Hengityksen ETCO ₂ mmHg ja hengitysfrekvenssi	18
6.3	Eettiset tekijät	20
7	Tulokset	21
7.1	Tutkittavien taustatiedot	21
7.2	Rintakehän laajeneminen	23
7.3	Rintakehän nivelten toiminta	24
7.4	Pallealihaksen etuosan toiminta	24
7.5	Hengityksen ETCO ₂ mmHg	25
7.6	Rintakehän nivelten kipupisteiden yhteys laajenemiseen ja hengitysfrekvenssiin	26
8	Pohdinta	27

Liitteet

Liite 1 Eri ikäryhmien ja huoltajan suostumuslomakkeet

Liite 2 Esitietolomake

Liite 3 Tutkittavien tuloksia

1 Johdanto

Urheilijan luonnollinen hengitys voi häiriintyä monesta syystä. Toiminnallisen hengityshäiriön oireiden taustalla on usein joukko fysiologisia, psykologisia ja biomekaanisia tekijöitä. Yleisesti tunnetuin häiriintyneen hengityksen muoto on sympaattisen hermoston aktiivisuudesta johtuva respiratoriseen alkaloosiin johtava tila, hyperventilaatio. (Clifton-Smith - Rowley 2011.) Iho- ja allergiasairaalan fysioterapeuttien (Pajunen, Viitala 2016) mukaan kilpauimareilla on havaittu paljon toiminnallisia hengityshäiriöitä joko itsenäisinä oireina tai diagnosoidun astman rinnalla. Tutkijoiden (The Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2015) mukaan noin neljänneksellä kilpauimareista voidaan todeta astmaan liittyviä hengitystieoireita, joiden syyksi on arveltu pitkäkestoinen, korkean intensiteetin harjoittelu klooripitoisessa vedessä. Huomion arvoista on se, että astmaoireet ovat tyypillisempiä naisilla kuin miehillä. Astma vaikeuttaa ulohengitysilman virtausta, mutta Iho- ja allergiasairaalan fysioterapeuttien kliinisen kokemuksen mukaan valtaosalla uimareista hengenahdistusta ilmenee sisäänhengityksen yhteydessä. Potilaiden keskuudessa on tapauksia, joilla astmadiagnoosia ei ole, mutta käytössä on astmalääkitys hengenahdistuksen vuoksi. Tyypillistä on lääkityksestä huolimatta puuttuva hoitovaste.

Hengitys vaikuttaa oleellisesti uimarin kehon hallintaan ja erityisesti lantion alueen ja hartiarenkaan toimintaan. Uimarin elimistölle epäedullinen hengittäminen muuttaa hengityslihasten aktiivisuutta, muuttaen kehon kuormituslinjoja. Kuormituslinjojen muutos aiheuttaa asentomuutoksia, jotka vaikeuttavat pallealihaksen käyttöä aiheuttaen kaulan ja hartiarenkaan alueen lihasten yllirasittumista. Lisäksi uimareilla on todettu leveän selkälihakseen ja pinnallisten vatsalihasten dominoivaa käyttöä, joka johtaa rintakehän laajenemisen ongelmiin. Tämä vaikeuttaa hartiarenkaan koordinoitua liikettä uinnin aikana sekä katkaisee uimarin vartalon välittämän propulsiivisen voiman. (Maglischo 2003; Sayce 2011.)

Intensiivinen harjoittelu ja maksimaalinen kilpailusuoritus vaativat keholta vapaita liikeratoja sekä helppoa ja vapaata hengitystä. Tästä syystä pilottitutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella uimareiden rintakehän alueen ja pallealihaksen etuosan toimintaa sekä hengitysfrekvenssiä ja hengityksen loppuosan keuhkojen hiilidioksidipitoisuutta ja rasiuksen jälkeistä hiilidioksidin poistoa.

2 Opinnäytetyön tarkoitus ja tavoite

Hengityselimistö toimiva aineenvaihdunta ja hyvä hapensaanti takaavat dynaamisen työn, joka on tehokkaan keuhkotuuletuksen ja sen kautta elimistön homeostaasin säätelyn edellytys. Maksimaalisen suorituksen aikana hengitystyö muuttaa luustolihasten verenkiertoa ja hapen käyttökykyä. Hengityselimistön väsyminen stimuloi sympaattista hermostoa aiheuttaen raajojen valtimoiden supistumisen. Harjoituksen yhteydessä ilmenevää keuhkoputkien supistumista on havaittu 10 %:lla urheilijoista, joilla ei ole taustalla atopiaa tai astmadiagnoosia. Uimarit kuuluvat tähän riskiryhmään. On arveltu, että kehon tiukkuus, hengityselimistön väsyminen ja sympaattisen hermoston stimulaatio toimivat elimistön hälytysjärjestelmänä aiheuttaen ennen aikaista harjoittelun aikana ilmenevää hengenahdistusta. (Clifton-Smith ym 2011.)

Pilottitutkimuksen tarkoituksena oli tarkastella kilpauimareiden rintakehän alueella ilmeneviä kiputiloja, rintakehän laajenemista, pallean etuosan toimintaa sekä hengitysfrekvenssiä ja hiilidioksidin poistoa. Lisäksi selvitettiin, miten rintakehän nivelten kipupisteet ja hiilidioksidin poisto ovat yhteydessä hengitysfrekvenssiin.

Mittauksien tavoitteena oli selvittää, onko rintakehän alueen kiputiloilla ja pallean toiminnalla vaikutusta uimarin hengitystekniikkaan ja mahdollisesti ilmeneviin hengitysoireisiin. Työn tavoitteena on lisätä tietoisuutta uimarin kehon liikkuvuuden ja pallean toiminnan vaikutuksesta hengitykseen. Kuormituslinjojen muutosten aiheuttamien kireyksien purkamisella voidaan vaikuttaa hengitystoimintaan ja tätä kautta parantaa hiilidioksidin poistoa maksimaalisen rasituksen aikana. Mittaustuloksia voidaan hyödyntää uintivalmennuksessa ja uimareille suunnatussa fysioterapiassa.

3 Uimarin ventilaatio

Vesi elementtinä ja uintiasento tarjoavat uimarin hengityselimistölle erilaiset edellytykset toimia kuin esimerkiksi juostessa. Uudessa ventilaatiota rajoittaa virtaviivainen asento, jonka aikana kasvot ovat veden pinnan alla. Hong (1969) mukaan hydrostaattinen paine aiheuttaa rintakehän seinämille elastisen latauksen ja painaa rintakehää kasaan pienentäen keuhkojen tilaa. Kehon ulkopuolelta tulevat voimat muuttavat solun ja väliaineen muotoa, mikä perustuu ihmiskehon biotensegriteettiin. Tensegriteettisen aja-

tusmallin mukaan ihmiskehon rakenteet stabiloivat itsensä esijännityksen avulla, jolloin kehossa vallitsee kompression ja tension tasapaino (Frederick 2015: 10–12). Veteen meno lisää harjoituksen aikana keuhkoverenkiertoa ja verisuonten tilavuutta, joka johtaa jäännöstilavuuden kasvuun ja vähentyneeseen kokonaistilavuuteen. Ihmisen ollessa vedessä pystyasennossa kaulaa myöten, kertahengitystilavuus pysyy samana, mutta keuhkojen kokonaiskapasiteetti ja uloshengityksen varatila (ERV) vähenevät. Huomattava ERV:n väheneminen saattaa johtua hydrostaattisesta paineesta, joka johtaa pallean kraniaaliseen siirtymään täyden uloshengityksen lopulla. (Hong 1969; Pendergast 2009.)

3.1 Uimarin keuhkojen tilavuus ja maksimaalinen hapenottokyky

Hengitystekniikka, hengityksen ajoitus ja sen rytmikka vaativat uimarin hengityselimistön toiminnalta ja liikkumismahdollisuudelta korkeaa kapasiteettia sekä harjoitus- että kilpailusuorituksissa. Mullenin (2014) mukaan uimareilla on todettu olevan suurempi keuhkojen kokonaistilavuus kuin muilla kilpaurheilijoilla. Keuhkojen osapaineet vaihtelevat kehon asennon mukaan ja horisontaalisesta uintiasennosta johtuen tämä osapaineiden vaihtelu aiheuttaa keuhkojen eri lohkojen tilavuuden kasvuun. Uimari harjoittelee vedessä, jonka tiheys on 1000 kertaa suurempi ilmaan verrattuna (Maglischo 2003:43). Veden tiheys aiheuttaa hengityselimistölle jatkuvan vastuksen, joka muuttaa lihasten optimaalista työskentelypituutta. Tämä vähentää niiden kykyä tuottaa ja ylläpitää jatkuvaa voimaa lisäten hengitystyötä. Pitkään jatkuneena tämä saattaa kehittää uimarin keuhkoja ja sisäänhengityselimistöä lisäten keuhkojen kokonaistilavuutta. Uimarin uloshengitys tapahtuu veden vastusta vasten, jolloin tehostettu uloshengitys aiheuttaa keuhkolohkoille tyhjiöpainetta. Tämä paineen muutos rasittaa keuhkoja ja sisäänhengityselimistöä parantaen niiden suorituskykyä. (Mullen 2014; Pendergast 2009.) Päivisen (2002) mukaan veteen meno ja maksimaalinen 100 metrin vapaauintisuoritus vaikuttavat ventilaatioon laskevasti verrattuna kuivalla maalla ennen uintia suoritettuihin mittauksiin.

Vitaalikapasiteettiin vaikuttavat oleellisesti rintakehän rakenteiden toiminta sekä pallealihaksen vapaa liike ja hengityselimistön tasapainoinen toiminta. Rintakehän liikerajotukset vaikuttavat vitalikapasiteettiin laskevasti. Kehon kuormituslinjojen epäedulliset muutokset rajoittavat pallealihaksen liikettä aiheuttaen pallealihaksen väsymisen. (Park ym 2015.) Uimarin sisäänhengityselimistön harjoittaminen parantaa sisäänhengityselimistö-

ten voimaa ja kykyä työskennellä vastusta vastaan. Hengityslihasten lämmittelyllä Powerbreathe -laitteella ennen maksimaalista 100m:n vapaauintia suoritus parani keskimäärin 0,62s. On arveltu, että sisäänhengityslihasten harjoittamisella voidaan stimuloida metaborefleksiä ja tätä kautta muokata ydinjatkeen kontrolloimaa hengityslihasten uupumusta (Mullen 2015).

Maksimaalinen hapenottokyky (VO₂max) kertoo suoraan henkilön kyvystä kuljettaa energiaa lihassupistusta varten aerobisen aineenvaihdunnan kautta. Submaksimaalisella harjoittelulla voidaan adaptoida lihassolu käyttämään happea tehokkaammin, jolloin lihakseen tarvitaan suhteessa pienempi verenvirtaus. Urheilija saavuttaa maksimaalisen hapenottokykynsä, kun kasvava vauhti ei enää lisää hapenkulutusta. (McArdle 2010: 291, 467.) Uimari saavuttaa maksimaalisen hapenottokykynsä alemmalla vauhdilla, kuin henkilökohtainen maksiminopeus on. Tämä johtuu anaerobisesta kyvystä. Harjoitusintensiiteetti anaerobisella kynnyksellä on korkea ja työskentely submaksimaalisella alueella aiheuttaa hengityksen minuuttitilavuuden kasvun lisäten hapenkulutusta merkittävästi. (Maglischo 2003: 319-320.) Tämä lisää hengityslihaksistoon kohdistuvaa kuormaa.

3.2 Vapaauintin hengitys ja rintakehän rotaatio

Vapaauintin vartalon rotaatio rytmittää uintia ja hengitys integroituu uintin rytmiaan vartalon rotaation mukana. Sisäänhengitysaika on lyhyt ja uloshengitys tehdään tasaisella puhalluksella nenän ja suun kautta. Sisäänhengitys alkaa vastakkaisen yläraajan ollessa pitkänä edessä ja pää palautuu takaisin keskilinjaan juuri ennen liikeaskeleen voimakkaimman kohdan, keskivedon, alkua (Kuvio 1).

a.

b.



Kuvio 1. Vapaauintin hengitysrytmi. a) Sisäänhengitys tapahtuu vastakkaiselta puolelta b) pää on palautunut takaisin keskilinjaan

Vapaauintin hengitysrytmi: 1) Liikeaskeleen keskivedon ja loppusaaton aikana tapahtuu uloshengitys (Kuvio 1a) 2) Yläraajan ollessa pitkänä edessä saman puolen rintakehällä on mahdollisuus laajentua ja sisäänhengityksen aikana kudosten nostava vaikutus tehostuu (Kuvio 1a) 3) Pää palautuu nopeasti takaisin keskilinjaan juuri ennen vedon voimavaiheen alkua (Kuvio 1b)

Myersin (2010) mukaan kehon sidekudos muovautuu kuormituksen mukaan. Uinnissa vartalon rotaation kautta tapahtuva hengitys toistuvasti samalta puolelta rasittaa kudoksia epätasaisesti ja hengityselimistö ja kehon muut kudokset muovautuvat toimimaan rasituksen mukaisesti.

4 Kehon vapaa hengityслиike

Kehon asento ja hengitys ovat erottamaton kokonaisuus. Moshe Feldenkraisin (1990) mukaan hengitys mukautuu siihen, miten keho linjautuu suhteessa painovoimaan. Ihmiskeho ja hermosto kehittyvät painovoiman vaikutuksen alaisena, jolloin luurangon rakenne kehittyy työskentelemään painovoimaa vastaan, tehden painovoiman vaikutuksen merkityksettömäksi. Esimerkiksi selkärangan kaaret on tarkoitettu liikkeessä toimimaan tasapainoisesti ja oikea-aikaisesti suhteessa toisiinsa ja muihin rakenteisiin. Tällöin voima jakaantuu tasaisesti ja luuranko kannattelee kehoa käyttämättä energiaa, jättäen lihaksille vapauden tuottaa sulavaa liikettä. Pystyasennossa keuhkot ja hengityselimet riippuvat painovoiman vaikutuksesta, jonka vuoksi sisäänhengitys vaatii aktiivista nostavaa työtä, jotta keuhkot saavat tilaa laajentua. Hengitys on helppoa ja rytmistä, kun keho pysyy pystyssä luisten rakenteiden varassa ilman tietoista työskenteilyä.

4.1 Kehon kolme palleaa

Rinta-, vatsa-, ja lantio-ontelot muodostavat elimistön kolme palleaa; lantiopallea, rintakehän hengityspallea ja rintakehän yläosan pallea. Palleajärjestelmä vaikuttaa läpi kehon ja muodostaa hengitystoiminnan vaatiman yhtenäisen verkon, jolloin kylkiluut, pallea, lantionpohja ja vatsa saavat aikaan rytmiset hengityслиikkeet (Bordoni – Zanier

2013.) Näiden liikkeiden toistuva vastavuoroinen ja oikearytmien toiminta ovat syvän ja helpon hengityksen edellytykset. Rintakehän pallea liikkuu vuorottain sisäänhengityksen aikana keskiosasta viistosti alas, laajentuen sivuilta vasten rintakehän seinämiä. Uloshengityksen aikana rentoutuessaan pallea palaa takaisin ylös saaden aikaan rintakehän ja vatsan keinulautaliikkeen. Pallean alapuolella lantio-ontelossa vallitsee positiivinen paine ja yläpuolella rintaontelossa negatiivinen. Pallealihaksen lateraaliset osat liikkuvat useita senttimetrejä, vetäen samalla ilmaa kumpaankin keuhkoon. Rasituksessa pallean lateraaliosien liike voi kasvaa yli 10cm:iin. Pallea toimii ikään kuin mättänä ventraalisen ontelon keskellä, liikuttaen sisäelimiä. Pallean taakse alaspäin työntävä vaikutus tuo vatsaa ulospäin ja lantio liikkuu istuvaan asentoon. (Bordoni 2013; Feldenkrais 1990: 100-108.)

Sisäänhengityksen aikana lantionpohjan (pelvic diaphragm) lihasten tehtävänä on muokata rintakehän pallean tuottamaan liikkeeseen ja uloshengityksen aikana supistumisen avulla tarjota rintakehän pallealle syvä työntävä vaikutus (Calais-Germain 2006: 101). Earlsin ja Myersin (2013: 156) mukaan poikittaisen vatsalihaksen (m. transversus abdominis) ja lantionpohjan lihasten välillä on havaittu olevan neurologisia yhteyksiä. Parkin (2015) mukaan lantionpohjan lihakset eivät supistu itsenäisesti, mutta kontrolloivat vatsaontelon painetta, reagoiden pallealihaksen ja ympäröivien vatsalihasten toimintaan, jolloin sisäänhengityksen aikana lantionpohja rentoutuu ja voimakkaan uloshengityksen aikana lantionpohjan lihaksisto supistuu. Yhdessä lantionpohjan, poikittaisen vatsalihaksen ja erityisesti anterolateraalisten vatsalihasten aktivaatio, auttavat pallean ylöspäin suuntautuvaa liikettä. Tehostetun uloshengityksen aikana m. quadratus lumborum stabiloi alimpia kylkiluita sallien dynaamisen ylöspäin suuntautuvan aaltoliikkeen, jonka vuoksi tämän alueen lihasepätasapaino vaikuttaa normaaliin hengitykseen (Chaitow ym 2014: 35). Sisäänhengityksen voidaan ajatella tapahtuvan kehos- sa sentraalisesti ja uloshengityksen lateraalisesti (Chaitow ym 2014: 36).

Sisäänhengityksen myötäliikkeenä rintakehän laajenemisen seurauksena leuka liikkuu kohti rintalastaa ja selän lihakset venyvät ja kiristyvät. Jokainen rintakehän nivel on hengityksen kannalta tarpeellinen ja alemmat kylkiluut liikkuvat enemmän suhteessa ylimpiin kylkiluihin edistäen hengitystä. Mikäli rintalastan kahvan (manubrium sterni) ja rintalastan rungon (corpus sterni) välinen nivel liikkuu huonosti tai rintalasta ei sisäänhengityksen aikana liiku suhteessa selkärankaan, vastuu rintakehän tilavuuden kasvattamisesta jää kelluville kylkiluille (11. ja 12. kylkiluupari). (Feldenkrais 1990: 100-108.)

Silvatti ym (2008, 2012) mukaan vuosien uintiharjoittelu muuttaa thoracoabdominaalista tilavuutta ja näiden osien yhteistyötä. Uintiharjoittelu muuttaa rintaontelon ja vatsaontelon työskentelyä lisäten vatsanalueen käyttöä merkittävästi, jonka on arveltu johtuvan pallean voimakkaasta toiminnasta. Clifton-Smithin (2011) mukaan pallealihaksen työskentely vaikuttaa oleellisesti ihmisen dynaamiseen asennon ylläpitoon.

4.2 Pallealihaksen faskiaaliset yhteydet

Pallealihas on 2-4mm ohut lihas-jänne rakenne, joka kehittyy neljästä alkion osasta. Pallealihas kehittyy vatsaontelon katoksi ja lantionpohja vatsaontelon pohjaksi. (Sadler 2000: 201-203.) Pallean keskijänne muodostaa faskiaalisen jatkumon kaikkien hengitys- ja verenkiertoelimistön hermojen ja kanavien ympärille (Myers 2013: 198). Perikardiumin kudokset yhdistyvät vatsaontelon kalvoihin pallean keskijänteen halkeaman kautta, rajoittaen keskikohdan liikkeen 1-1,5 cm:iin. Sukeltajilla liikettä on mitattu parhaimmillaan 4cm. Keskijänne muodostuu, kun alkion mesodermin septum transversum yhdistyy pleuroperitoneal kalvojen kanssa. Pleuroperitoneal kalvojen ulommasta kerroksesta kehittyy vatsaontelo ja vatsalihakset ja sisemmästä pallean perifeeriset osat. Septum transversum jatkaa kasvuaan muodostaen vatsaontelon syvimmän, sisäelimiä peittävän kalvon. Pallean ja lantionpohjan faskiaaliset yhteydet vatsalihasten, psoaslihasten, quadratus lumborumin, sacrospinaalisten ja transversospinaalisten selkälihasten kanssa, muodostavat yhtenäisen toiminnallisen kokonaisuuden. Pallealihaksen tai muun tämän faskiaalisen rakenteen kudoksen toiminnan epäedullinen muutos, kuten lihasspasmii, johtaa kudosten toimintahäiriöön. (Bordoni 2013; Earls ym 2013: 170; Moore ym 2003.)

Pallean kupolirakenne saa alkunsa, kun keuhkopussiontelot laajenevat osaksi vatsaontelon seinämiä, yhdistyen septum transversumin ja ruokatorven kalvojen kanssa, muodostaen pallean cruran, joka on hengitykselle pallean toiminnallisesti tärkein alue. (Moore 2003: 193–195; Myers 2013: 198.) Pallean crura jakautuu kahdeksi nikamien L2-L4 etuosaan kiinnittyväksi arcuatum ligamentiksi. Sekä m. quadratus lumborum että psoaslihakset sulautuvat tällä alueella faskiaalisesti pallean cruraan. Yhdessä arcuatum ligamentit toimivat siis siltana thoracolumbaalisen ja transversaalisen faskian välillä. Transversaalinen faskia jatkuu kylkiluiden välien ja rintakehän syvimmän kerroksen faskiana, muodostaen lantionpohjasta, pallealihaksesta, pericardiumista, pleurasta

ja rintakehän lihaksistosta sekä scalenuslihaksista yhtenäisen kokonaisuuden. (Bordoni ym 2013; Moore ym 2003: 193–195; Park ym 2015; Sadler 2000: 201–203.)

Pallealihas on rintakehän syvien kalvojen kautta erottamattomassa yhteydessä kylkivälilihasten (mm. intercostales), keuhkopussin (pleura) ja kylkiruston takana olevan poikittaisen rintalihaksen (m. transversus thoracis) kanssa, joka uloshengityksen aikana vetää rintakehää alaspäin. Poikittaisen rintalihaksen toiminta vaikuttaa rintalastan ja kylkiluiden liikkeeseen, minkä vuoksi sen kireydellä on todettu olevan yhteyksiä hengitysongelmiin. (Barral 2010: 20; Stecco 2015: 167)

Keuhkopussi (pleura) toimii linkkinä viskeraalisen kudoksen ja lihaskalvoston välillä. Sen viskeraalinen lehti peittää keuhkojen pintaa ja parietaalinen lehti rintakehän seinämää. Keuhkot tarvitsevat laajentuakseen lihastyötä, joten keuhkopussin faskiaalinen yhteys pallean ja rintakehän syvien kalvojen kanssa mahdollistavat ilman kulun keuhkoihin. Pleuraontelossa vallitsee negatiivinen paine. Pleuran lehtien liukuminen ja pleuraontelon paineen vaihtelu johtavat uloshengityksen aikana transpulmonaarisen paineen vähenemiseen, mikä mahdollistaa ilman kulun ulos keuhkoista. (Barral 2010: 31-32; Bjälle 2007: 361-362; Stecco 2015: 167.)

Parietaalinen pleura seuraa rintakehän liikettä ja rintakehän tiukkuus vaikuttaa pleuran liikkeeseen. Pleuran ja kylkiluiden vapaaseen liikkeeseen sekä rintakehän elastiseen toimintaan vaikuttavat osana kehon lateraalilinjaa toimivat kylkivälilihakset, jotka liikuttavat kylkiluita poikittain toisiinsa nähden hengityksen ja rintakehän rotaation aikana. (Earls ym 2013: 167.) Sisään- ja uloshengityksen aikana aktivaatio kylkivälilihaksissa kulkee tapahtumasarjana, muokaten rintakehän muotoa (Chaitow ym 2014: 35). Etuosasta parietaalinen pleura kiinnittyy rintalastaan, jossa sen toimintaan vaikuttavat merkittävästi rintalastan ja chondrocostalnivelten välissä olevan rustoalueen parasternaaliset sisemmät kylkivälilihakset (m. intercostales interni) ja niiden kalvorakenteet sekä niiden lihasparina toimiva poikittainen rintalihas (m. transversus thoracis). Parasternaalisilla sisemmillä kylkivälilihaksilla on sisäänhengityksen aikana mekaaninen vaikutus, mutta osa lihassyistä osallistuu ainoastaan toonisina ipsilateraaliseen rotaatioon. Rintakehän kontralateraalisen rotaation aikana parasternaalisten sisempien kylkivälilihasten aktiivisuus on huomattavasti vähäisempää ja niiden pidentyminen saa aikaan poikittaisen rintalihaksen vastavuoroisen aktivoitumisen. Parasternaalisten sisempien kylkivälilihasten rotatoidessa rintakehää ipsilateraalisesti, poikittainen rintalihas rotatoi

rintakehää kontralateraalisesti. (Barral 2010: 31-32; Hudson 2010; Stecco 2015: 167; De Troyer ym 2005.)

Uinnissa vartalon rotaatio on tärkeässä asemassa ja Earlsin ym (2013: 167) mukaan kylkivälilihasten ja m. levatores costarumin spasmi vaikeuttaa kylkiluiden vapaata liikettä ja salpaa hengityksen. Hudsonin (2009) mukaan rintakehän ipsilateraalinen rotaatio aikaistaa parasternaalisten sisempien kylkivälilihasten aktivoitumista suhteessa normaaliin hengitykseen, joten vapaauinnissa tapahtuva vartalon rotaatio tehostaa sisäänhengityslihasten toimintaa. Rasituksessa hiilidioksidiosapaineen nousun aiheuttama hengityksen syventyminen lisää parasternaalisten sisempien kylkivälilihasten aktivoitumistiheyttä huomattavasti (Hudson ym 2010).

Parietaalinen pleura kiinnittyy yläosastaan kupolimaisella sidekudosrakenteella ensimmäiseen kylkiluuhun ja kaularangan alaosiin sekä kaula-rintaranka ylimenoalueelle muodostaen kehon kolmannen rintakehän yläosan pallean (cervicothoracal diaphragm). Pallealihas liikuttaa pleuraa keskimäärin 24 000 kertaa vuorokauden aikana, joten pallealihaksen ja pleuran vapaalla liikkeellä on suuri merkitys elimistön neurovaskulaarisessa säätelyssä. (Barral 2010: 31–32.) Urheilijalla rasituksessa hengityksen minuuttitiheys saattaa nousta 60–70 kertaan minuutissa (McArdle 2010: 263) aiheuttaen siten pleuralle suuren rasituksen.

4.3 Pallealihas rasituksen aikana

Normaalissa kevyessä hengityksessä pallealihaksen osuus kokonaishapenkulutuksesta on noin 5 %, mutta kovassa fyysisessä rasituksessa noin 15 % (Olson ym 2010). Kova pallealihaksen maksimaalisen suorituskyvyn ylittävä rasittaminen kerryttää lihakseen aineenvaihdunnallisia tuotteita, mutta ei kuitenkaan aiheuta merkittävää pallean lihasvoiman alenemista. Sen sijaan pallealihaksen uupumiseen asti rasittaminen käynnistää sympaattisen hermoston välittämän verisuonia supistavan metaborefleksin heikentäen veren virtausta sekä luustolihasissa että sydämessä ja munuaisissa. (Sheel ym 2002.)

Myös pallealihas tarvitsee rasituksen jälkeen aikaa palautua. Pyöräilijöillä submaksimaalisessa suorituksessa happisaturaatiolla 92 % hengityslihaksisto ja luurankolihak-

set kilpailivat tarjolla olevasta hapekkaasta verestä. Pyöräilijän työskennellessä submaksimaalisella alueella 5min ajan hengitysfrekvenssillä 50-60x/min, pallean palautuminen harjoittelua edeltävälle tasolle kesti 60min. (Vogiatzis ym 2007.)

5 Hengityksen säätely rasituksessa

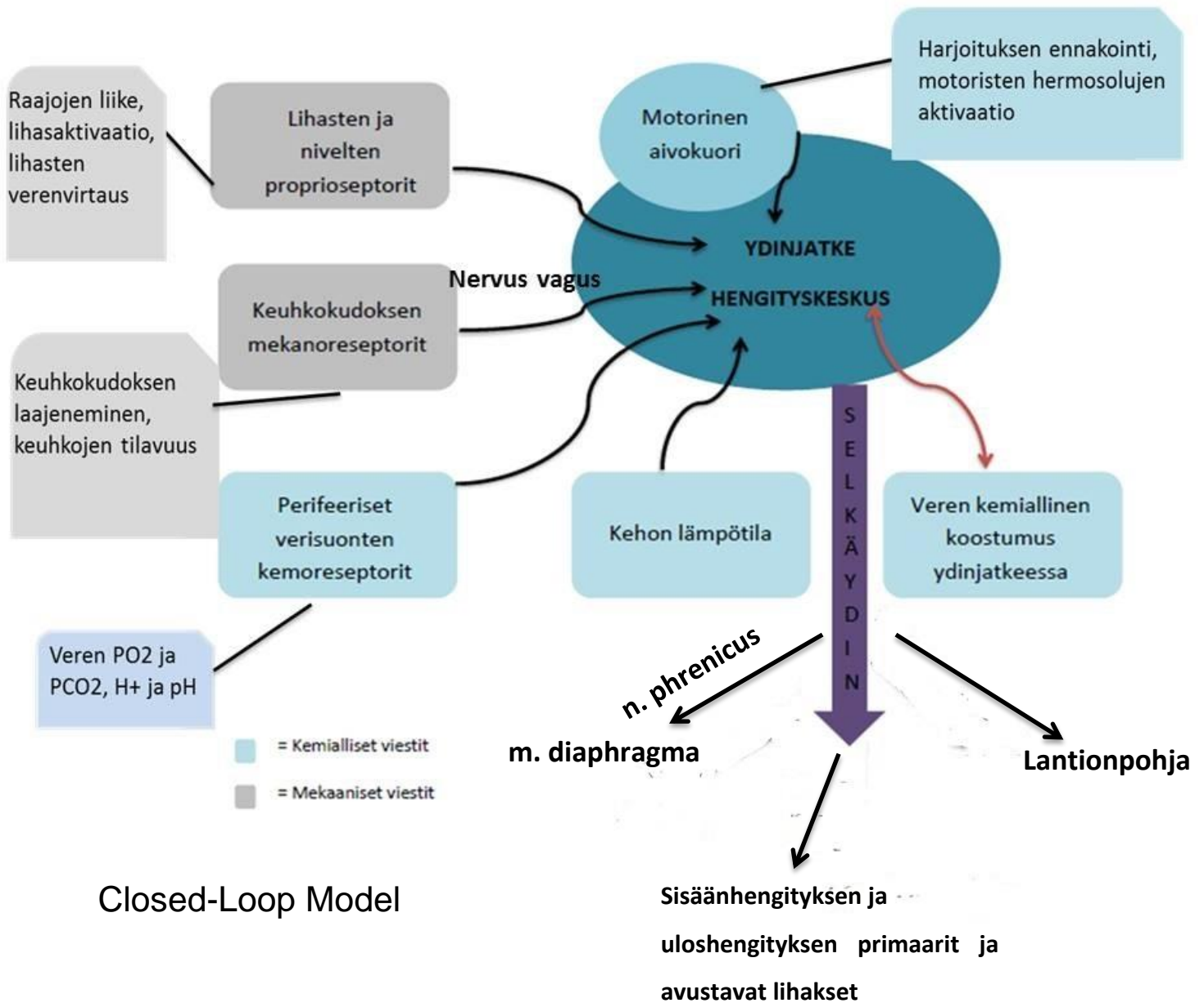
Ihmiskeho pyrkii aina ylläpitämään sisäistä tasapainoa, johon elimistö käyttää hengityksen rytmin ja syvyyden säätelyä. Autonominen hermosto ja hengitys ovat jatkuvassa vuorovaikutuksessa keskenään. (Australian Feldenkrais Center. Breathing workshop.) Dixhoornin (1994) mukaan hengitystoiminnot kehossa voidaan jakaa kolmeen kategoriaan: 1) Kaasujenvaihto 2) Liikuntaelimistön liike; kehon nesteiden kuljetus ja elintoiminnot, luisten rakenteiden ja lihaksiston liike ja stabiliteetti 3) Hengitys tekee ihmisen tietoiseksi kehon tilasta.

5.1 Hengityksen säätelijänä veren hiilidioksidipitoisuus

Hengitys- ja verenkiertoelimistö huolehtii veren happo-emästasapainosta ja kuljettaa kudoksille happea ja hiilidioksidia pois kudoksista. Tärkein hengityksen säätelijä on veren hiilidioksidipitoisuus. Pienikin veren hiilidioksidiosapaineen nousu lisää hengityksen minuuttitilavuutta. Rasituksessa hiilidioksidin osapaine nousee aiheuttaen hiilihapon muodostumista. Hiilihapon dissosioituminen vapauttaa vetyioneja aiheuttaen veren pH:n laskua. Kohonnut plasman hiilidioksidiosapaine saa aikaan tehostetun uloshengityksen, jonka avulla elimistö pyrkii pääsemään eroon liiasta hiilidioksidista. (McArdle 2010: 286-287.)

Ydinjatkeessa oleva elimistön rytmisiä toimintoja säätelevä keskus (Central Pattern Generator) yhdistää kehosta tulevat viestit, muuttaen pallealihaksen, vatsalihasten sekä muiden primaaristen ja sekundaaristen sisään- ja uloshengityslihasten ja lantionpohjan rytmistä aktivaatiota. (Kuvio 2). Paljon happea vaativassa fyysisessä suorituksessa keho tehostaa uloshengitystä anterolateraalilla vatsalihaksilla, jolloin ulos virtaavan ilman määrää lisätään hyödyntämällä vatsaontelon paineen muutoksia vatsalihasten supistumisen avulla. Kehon tehostettu uloshengitys lisää kehon elastisuutta johtaen

tehostettuun sisäänhengitykseen. Vatsalihasten ja lantionpohjan supistuessa ja pallean rentoutuessa ilma virtaa tehostetusti ulos. Lantionpohjan tonuksen muutos lisää keuhkojen vitaalikapasiteettia ja parantaa maksimaalista ulosvirtausta. Lantionpohjan, vatsalihasten ja pallealihaksen yhtäaikainen toiminta lisää lantion kontrollia. (Park ym 2015; Yaroslav ym 2014.)



Kuvio 2. Rasituksessa hengityksen säätelyyn vaikuttavia tekijöitä ja hengityksen Closed-Loop Model (Mukaiillen Chaitow 2014; McArdle 2010:287; Molkov 2014)

Fyysinen rasitus lisää hiilidioksidin muodostumista ja hapen kulutusta, jolloin urheilijan kudoksissa olevan hiilidioksidin poiston merkitys korostuu. Noin 5 % kehon hiilidioksidista kulkeutuu sellaisenaan veren plasman mukana, osa sitoutuneena punasolujen hemoglobiiniin ja loput noin 60–80% liuenneena bikarbonaattina veren plasmassa puskuroiden veren happo-emästasapainoa. Jotta kaasukonsentraatiot pysyisivät tasaisina, täytyy alveoleista valtimoihin diffundoituva hapen määrän olla suhteessa sama, kuin kudoksista vereen ja verestä alveoleihin poistuva hiilidioksidin määrä. Näiden kaasujen tasapainosta keho pyrkii viestimään kolmella tavalla: 1) Aivokuoren ja aktiivisten kehonosien lähettämä informaatio aiheuttaa lisääntyneen ventilaation harjoituksen alkaessa. 2) Ventilaatio kasvaa eksponentiaalisesti saavuttaakseen harjoittelun vaatiman tason. 3) Perifeeriset aistimukset hienosäätävät ventilaatiota, jotta elimistö saavuttaa tasapainoisen tilan hiilidioksidin poiston ja hapen kulutuksen välillä. Nämä perifeeriset kemoreseptorit aistivat jatkuvasti veren happiosapaineen ja pH:n muutokset. (McArdle 2010: 275, 282–284, 288–291.)

Merenpinnan tasolla sisään hengitettävän ilman happipitoisuus on n. 21 % ja uloshengitettävän 16 %. Keskimäärin normaalissa kaasujenvaihdossa happea kulkeutuu 300ml/min ja hiilidioksidia poistuu 250ml/min. Submaksimaalisessa rasituksessa hapenkulutus on noin 55 % henkilön maksimaalisesta hapenottokyvystä. Maksimaalisessa suorituksessa hapenkulutus voi huippu-urheilijalla olla jopa 200 litraa minuutissa (McArdle 2010: 263, 271–272).

5.2 Uimarin hengitysongelmat ja toiminnallinen hengityshäiriö

Iho- ja allergiasairaalan fysioterapeuttien kliinisen kokemuksen (Pajunen, Viitala 2016) mukaan moni uimari kärsii toiminnallisesta hengityshäiriöstä (Breathing Patterns Disorders, BPD). Toiminnallinen hengityshäiriö kuvaa hengityksen epätasapainoa. Tutkimuksissa hengityksen epätasapainon on havaittu olevan naisilla seitsemän kertaa yleisempää kuin miehillä (Chaitow 2014: 3). Yleisimmät uimareilla havaitut toiminnallisen hengityshäiriön muodot ovat hyperventilaatio-oireyhtymä ja toiminnallinen äänihuulisalpaus (VCD) sekä monen eri tekijän yhdistelmiä (Pajunen, Viitala 2016). Toiminnallinen äänihuulisalpaus on yleinen nuorilla urheilijatyttöillä. Sen yhteydessä urheilijan kaulan ja kurkun lihaksisto supistuu sisäänhengityksen aikana, jolloin sisäänhengitys estyy (Clifton-Smith 2014). Chaitowin (2014: 3) mukaan hyperventilaatio-oireisto kulkee usein rasituksessa ilmenevän keuhkoputkien supistumisen rinnalla. Clifton-Smithin (2014)

mukaan uimareilla on havaittu myös dynaamista hyperinflaatiota. Dynaamisen hyperinflaation aiheuttaa uloshengitystä häiritsevä sisäänhengitys, jolloin uloshengitys jää vajaaksi, aiheuttaen elimistön nopeamman happamoitumisen.

Chaitowin (2014) mukaan kehon rakenteiden liikkuvuuden puutteet ovat yksi suurin toiminnallisten hengitysongelmien aiheuttaja. Clifton-Smithin (2011) mukaan liikuntaelimistön toiminnallinen epätasapaino voi olla toiminnallisen hengitysongelman syy tai seuraus ja uimarit kuuluvat toiminnallisen hengityshäiriön riskiryhmään. Uimareilla havaitut ryhdin muutokset (Sayce 2011) ovat Clifton-Smithin (2011) mukaan suuressa roolissa toiminnallisen hengityshäiriön kehittymisessä. Kuormituslinjojen muutoksen seurauksena hengitykseen osallistuvien aktiivisten lihasten määrä lisääntyy lisäten apuhengityslihasten käyttöä ja hankaloittaa pallean vapaata liikettä. Lisäksi kuormituslinjojen muutokset vaikuttavat lihasketjujen motoriseen säätelyyn ja voivat siten aiheuttaa turhia jännitystiloja ja näin rajoittaa pallealihaksen ylöspäin suuntautuvaa liikettä, joka johtaa lisääntyneeseen jäännöstilavuuteen (ERV). (Clifton-Smith ym 2011.) Kuvissa 3 ja 4 on esitetty uimarin toiminnallisen hengityshäiriön kehittymiseen johtavia tekijöitä ja niiden seurauksia.

Toiminnallisen hengityshäiriön myötävaikuttajat			
Anatomia	Motorinen kontrolli	Harjoitusolosuhteet	Yksilölliset tekijät
Kuormituslinja	lihastasapaino, lyhentymis/pidentymissykli	ilman kosteus	sairaudet
rintakehän nivelten toimintahäiriöt, rintarangan fleksio	hartiarengas	uimahallin kemikaalit	stressitekijät
m. transversus thoracis mm. intercostales	vatsalihasten lepojännityksen muutokset, pinnallisten vatsalihasten dominointi	veden lämpötila	kipu
m. pectoralis minor	hengitystekniikka levossa / rasituksessa	harjoitusintensiteetti ja palautuminen	hormonaaliset muutokset
m. transversus abdominis, mm. multifidi, pallealihaks, lantionpohja	Suuhengitys, hengityksen pidättäminen		liikemallit



Hengityksen virhemuutokset	
Fysiologinen	Biomekaaninen
CO2 väheneminen, pH nousu, PO2 nousu	apuhengityseliasten kuormittuminen
sympaattisen hermoston reaktio	ylihengittäminen
verisuonten supistuminen raajoissa ja aivoissa	lihasten ylikuormitus \leftrightarrow rintakehän elastisuus vähenee \rightarrow aktiivisten lihasten lyhenemis/pitenemissykli muuttuu \rightarrow vatsa-/rintaontelon paineen muutokset
Bohrin efekti: punasolu ei vapauta O2 kudoksille	alimpien kylkiluiden liike vähenee / vastuu rintakehän laajenemisesta jää m. quadratus lumborumille/huom alaraajat uudessa \rightarrow m. quadratus lumborum tiukkuus
vähentynyt verenkierto lihaksissa ja aivoissa	lantionpohjan lihasheikkous / tonus \rightarrow pallealihaksen vapaan liikkeen estäjä
maitohapon muodostuminen	vatsa- /selkälihasten epätasapaino, vatsalihasten jatkuva tonus
	lymfanestekierron ja verenkierron ongelmat

Kuvio 3. Uimarin toiminnalliseen hengityshäiriön myötävaikuttajia ja hengityksen virhemuutoksia (Mukaillen Clifton-Smith ym 2011)

Vaikutukset	
Lepotilassa	Rasituksessa
lihasjännitykset / spasmit	pallean liikerajoitus → ilman virtauksen rajoitukset → jäännöstilavuuden kasvu → sisäänhengitystilavuuden lasku → syventynyt sisäänhengitys (uusien lihasryhmien aktivaatio hengitykseen) → Vajaa uloshengitys → Alveolien O ₂ lasku → tehoton hengitys → dynaaminen hyperinflaatio
päänsärky	hengästyminen/hengenahdistuksen tunne
rakenteiden ylikuormittuminen	hengitysilihasten väsyminen → kilpailu hapekkaasta verestä → metaborefleksi
Hengityskeskus: herkistyminen Muu aivotoiminta: aivojen väsyminen (fatigue)	hypokapnia → lihasten lepotonuksen muutos → motorisen toiminnan muutos
Kun toiminnasta tulee tapa → Toiminnallinen hengityshäiriö	

Kuvio 4. Toiminnallisen hengityshäiriöön johtavien hengityksen virhemuutosten vaikutuksia levossa ja rasituksessa (Mukaiillen Clifton-Smith ym 2011)

Fyysisessä urheilusuorituksessa hiilidioksidin poiston tulee vastata aineenvaihdunnan muutoksia. Käytännössä urheilija kykenee kuluttamaan happea juuri sen verran kuin kykenee poistamaan kudoksista hiilidioksidia. Se ei tarkoita hengittämistä yli aineenvaihdunnallisten tarpeiden. Liian syvä ja/tai nopea hengitys tai hengityksen pidättäminen ja vuoroittainen syvempi huokailu, aiheuttavat veren hiilidioksidiosapaineen (Pa-CO₂) laskun, hypokapnia. Veren alentunut hiilidioksidiosapaine johtaa veren pH:n nousuun käynnistäen respiratorisen alkaloosin, joka johtaa sympaattisen hermoston reaktioon supistaen sepelvaltimoita, vähentäen verenkiertoa aivoissa ja munuaisissa, lisäten lihastonusta, aiheuttaen tunteita sekä muuttaen hengitysrytmiä ja/tai syvyyttä. Muina oireina voi ilmaantua tärinää, hikoilua, huimausta, sydämen tykytystä, pahaa oloa ja aivojen väsymistä (fatigue). Vatsavaivat ovat yleisiä ja lisäksi tyypillistä on rasituksen aikainen ilman nieleminen. (Clifton-Smith 2011; Litchfield Optimal Breathing.)

Veren matalasta CO₂ tasosta johtuen hemoglobiini ei vapauta happea kudosten käyttöön (Bohrin efekti) ja kroonistuessaan tila johtaa bikarbonaattipuskurin häiriöihin ja maitohapon tuottoon matalammalla intensiteetillä. Elimistön pH:n noustessa kehon sileä lihas supistuu aiheuttaen myös faskian tonuksen muutoksen. Kroonisella hengittämisellä yli tarpeiden voidaan siis aiheuttaa elimistön puskuritoiminnan lasku, mikä johtaa lopulta fyysisen kapasiteetin ja kestävyuden laskuun. Lisäksi kroonisella ylihengittämisellä hengityskeskus muuttuu herkemmäksi ja laukaisee hengitysrefleksin alemmalla hiilidioksidiosapaineella, aiheuttaen elimistön jatkuvan hypokapnia tilan. (Chaitow ym 2014: 218; Clifton-Smith ym 2011; Jones ym 2013.)

5.3 Hengityksen pidättäminen

Epäsäännöllinen hengityksen pidättäminen johtaa aina suurempaan sisäänhengitykseen. Urheilijoilla rasituksen aikainen hengityksen pidättäminen, eli uimareilla rajoitettu hengitys uinnin aikana, altistaa elimistön stressitekijöille, aiheuttaen hengityslihaksisolle suuremman rasituksen, johtaen lopulta sisäänhengityslihasten uupumiseen. Tämä altistaa elimistön keuhkoputkien ennenaikaiselle supistumiselle, toiminnalliselle äänihuulisalpaukselle (VCD), dynaamiselle hyperinflaatiolle ja hyperventilaatio-oireistolle. Näistä urheilijoista suuri osa saa astmadiagnoosin ilman tarkempia tutkimuksia. Tavallista on puuttuva hoitovaste, vaikka astmalääkitys olisi käytössä. (Clifton-Smith 2014.)

Pienemmällä hengitysfrekvenssillä hengityksen minuuttitilavuus laskee merkittävästi ja hapenotto verestä lisääntyy, mikä on riittävä ylläpitämään hapenottokykyä submaksimaalisessa suorituksessa. Hengittäminen joka neljännellä vapaauinnin vedolla aiheutti merkittävämpää hengityslihasten väsymystä kuin hengittäminen joka toisella vedolla. Hapen kulutuksessa ei kuitenkaan huomattu merkittäviä muutoksia, kun verrattiin hengittämistä joka toisella ja joka viidennellä vedolla (Jakovljevic ym 2009).

Tutkimuksen mukaan uinnin aikana kontrolloitu hengitysrytmi johti kudosten hapettomuuden (hypoksia) sijasta veren kohonneeseen hiilidioksidiosapaineeseen (hyperkapnia) ja sitä kautta ainoastaan parantuneeseen hiilidioksidista aiheutuneeseen kivun sietoon (Dicker ym 1980). Kuitenkin on muistettava, että veren hiilidioksidipitoisuuden nousulla on tärkeä rooli uusien hiussuonten muodostumisessa. Maksimaalisella harjoittelulla saadaan aikaan kudosten hapeton tila, joka käynnistää soluissa verisuonten

endoteelin kasvutekijää tuottavan reaktion. Tämän seurauksena uusien kapillaarien muodostus on mahdollista. (McArdle 2010: 467.)

6 Tutkimusasetelma, tutkittavat ja mittausmenetelmät

Tämä pilottitutkimus toteutettiin poikkileikkausasetelmalla ja mittaukset suoritettiin kahdena iltana Metropolia Ammattikorkeakoulun tiloissa. Yksittäinen tutkittava osallistui mittauksiin yhtenä iltana. Vapaaehtoiset tutkittavat rekrytoitiin uimaseura Cetus Espoon kilpauintiryhmistä. Tutkimukseen osallistui 25 uimaria, joista 17 oli naisia ja kahdeksan miehiä. Ensisijaisesti tutkimuksiin osallistuivat ne uimarit, joilla oli ennen tutkimuksia havaittu hengitykseen liittyviä ongelmia. Mukana oli myös oireettomia uimareita.

Sisäänottokriteerit: 1) vapaaehtoinen 15–30 -vuotias mies- tai naisuimari Cetus Espoon kilpauintiryhmästä, 2) harrastaa kilpauintia tavoitteellisesti vähintään kuusi kertaa viikossa. Poissulkukriteerit: 1) hengitystieinfektio tutkimuspäivänä

Mittauksessa hyödynnettiin fysioterapeuttista tutkimista ja lääketieteellisiä hengitysmittauksia. Ennen suoritettavia mittauksia uimarit saivat täytettäväksi esitietolomakkeen (liite 2).

6.1 Fysioterapeuttinen arviointi

Rintakehän ympäryys mitattiin uintiasennossa hoitopöydällä maaten toinen yläraaja ylhäällä ja pään rotaatio vastakkaiselle puolelle. Ensimmäinen mitta otettiin uimarin maksimaalisen uloshengityksen jälkeen, jonka jälkeen pyydettiin maksimaalinen sisäänhengitys. Mittaustulos on kahden mittauksen välinen erotus. Tulokseksi saatiin rintakehän laajeneminen senttimetreinä. Laajeneminen mitattiin rintakehän yläosasta (taso Th2-Th5) ja rintakehän alaosasta (taso Th9).

Chondrocostal nivelten tutkiminen suoritettiin seisoma-asennossa. Terapeutti teki kevyen jouston peukalolla chondrocostal niveliin. Mikäli uimari kuvasi kipua, terapeutti palpoi myös ylemmän ja alemman kylkiluuvälin ja kirjasi myös niiden kivun.

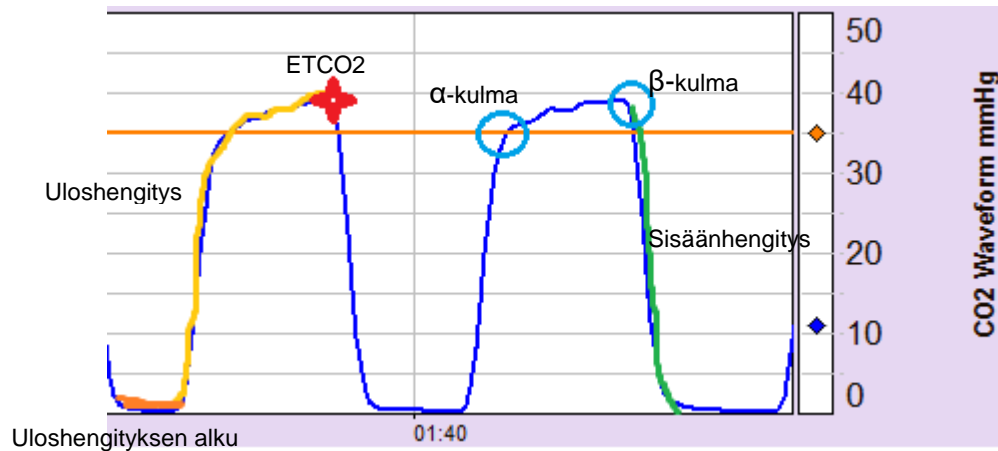
Rangan anterior-posterior joustotesti suoritettiin tutkittavan ollessa vatsamakuulla hoitopöydällä. Mikäli tutkittava kuvasi kipua, kirjattiin se paperiin.

Costotransversaria nivelten tutkiminen suoritettiin tutkittavan ollessa vatsamakuulla hoitopöydällä. Terapeutti palpoi costotransversaria nivelen ja kirjattiin, mikäli tutkittava kuvasi kipua. Tämän jälkeen terapeutti asetti etusormen kylkiluun päälle tehden kompression. Tutkittavaa pyydettiin tekemään syvä sisäänhengitys, jonka aikana terapeutti säilytti kylkiluun kompression. Mikäli tutkittavan mahdollisesti aiemmin kuvaama kipu helpotti, kirjattiin paperiin. Mikäli tutkittava koki kipua sisäänhengityksen aikana, kirjattiin se paperiin.

Pallean etuosan tutkiminen *Respiratory Diaphragm Release –tekniikalla*. Tutkittava istui hoitopöydällä, terapeutti seisoi tutkittavan takana. Tutkittava nojasi rennosti terapeuttiin pää terapeutin hartialla, jolloin lannerangassa oli fleksio. Terapeutti asetti käntensä rintakehän alaosaan ja palpoi hengitysliikettä. Tämän jälkeen terapeutti asetti sormensa kylkiluiden alle ja palpoi hengityksen aikana pallean etuosan toimintaa, puolieroja ja mahdollista päälle jäävää tonusta.

6.2 Hengityksen ETCO₂mmHg ja hengitysfrekvenssi

Tutkittavilta mitattiin hengityksen loppuosan keuhkojen ilman CO₂ pitoisuus. (Laite Ltd CapnoTrainer®, Better Physiology). Kapnometrialla mitataan keuhkojen ilman hiilidioksidipitoisuutta uloshengityksen loppuosalta, ETCO₂mmHg. Tämä arvo korreloi suoraan valtimoveren hiilidioksidipitoisuuden kanssa. Normaali tulos on 35mmHg-45mmHg, 4,5 % -6 %. Alle 35mmHg tarkoittaa matalaa hiilidioksiditasoa (hypokapnia). Laite rekisteröi mittauksen ajan ja hengityssyklin ETCO₂mmHg arvon funktiona, jolloin laite piirtää sen käyränä (kapnografia). Uloshengityksen aikana käyrä nousee ja saavuttaa lähes alveolitason CO₂ pitoisuuden. (Kurki 2014.) Esimerkkikäyrä kapnografiasta on esitetty kuviossa 5. Kapnografian korkeus kertoo ETCO₂mmHg tasosta ja pituus hengitystyiheydestä.



Kuvio 5. Kapnografian muoto (mukaillen McEvoy)

Kapnografimittauksella voidaan 1) selvittää mahdollinen toiminnallinen hengityshäiriö 2) tunnistaa hengityshäiriöön johtava hengitystapa 3) tunnistaa tavan aiheuttamat oireet 4) tunnistaa, kuinka tapojen aiheuttamat fysiologiset muutokset vaikuttavat oireisiin 5) tunnistaa opitun toimintatavan laukaisijat 6) tunnistaa tapaa vahvistavat tekijät 7) paljastaa tottumusten alkuperä 8) käyttää edukatiivisesti tavan poisoppimiseen. (Better Physiology.) Mittauksella selvitettiin, kuinka nopeasti uimari palautuu rasituksen jälkeen hiilidioksiditasoiltaan lähtötasolle rasitusta seuraavan minuutin aikana.

Tutkittavalle ohjeistettiin kapnografimittauksen kulku. Lepohengitystä seurattiin reaaliajassa nelinkontin ja mittaustulokseksi tallennettiin minuutin osuus analysointia varten. Tuloksista analysoitiin kaksi viimeistä arvoa. Tämän jälkeen tutkittava suoritti kymmenen syväkyykyä, jonka jälkeen tutkittava siirtyi hoitopöydälle nelinkontin, jossa hengitystä seurattiin reaaliajassa ensimmäinen minuutti, josta tallennettiin otos analysointia varten. Tuloksista analysoitiin kaksi viimeistä mittaustuloksesta. Tutkimustuloksissa on verrattu lepo hengitystä ja rasituksen jälkeistä hiilidioksidin poistoa ETCO₂mmHg arvon ja hengitysfrekvenssin osalta.

6.3 Eettiset tekijät

Opinnäytetyössä toteutettavalle pilottitutkimukselle myönnettiin HUS Koordinoivan eettisen toimikunnan tutkimusta puoltava lausunto. Lisäksi tutkimuksiin myönnettiin Metropolian oma tutkimuslupa.

Tutkimuksiin osallistuminen oli tutkittaville vapaaehtoista, eikä osallistuminen vaikuttanut tutkittavien harjoitteluun. Alaikäiset tutkittavat saivat oman tiedotteen ja suostumuslomakkeen, jossa oli liitteenä myös huoltajan tiedote ja suostumuslomake. Tutkimuksessa edettiin hyvän tieteellisen tutkimuskäytännön mukaan. Kaikki aineisto ja tulokset kerättiin, tallennettiin ja käsiteltiin luottamuksellisesti henkilötietolain edellyttämällä tavalla ja mittaustuloksia varten on olemassa henkilörekisteriseloste. Tutkimuksen tietoja ei luovuteta ulkopuoliselle taholle ja kaikki tiedot hävitetään asianmukaisesti tutkimuksen valmistuttua.

7 Tulokset

7.1 Tutkittavien taustatiedot

Tutkittavien taustatiedot on esitetty taulukossa 1. Tutkimukseen osallistuvat uimarit olivat iältään 15–24 vuotta. Tutkimukseen osallistui kahdeksan miestä ja 17 naista.

Taulukko 1. Tutkittavien taustatiedot.

Muuttuja	Keskiarvo	N	N(%)
Ikä (v)	17,32		
Sukupuoli			
Mies		8	32 %
Nainen		17	68 %
Paino (kg)	66,44		
Pituus (cm)	173,28		
Keuhkosairaudet		11	44 %
Olkapää/rintakehä kiputilat		15	60 %
Muut kiputilat		16	64 %
Alaselän kipu		6	24 %
Flunssa, hengitystieinfektio			
Ei ole ollut		4	16 %
Useita flunssia		16	64 %
Viimeisin alle 1vko sitten		5	20 %
VU hengityspuoli			
O		16	64 %
V		7	28 %
V/O		2	8 %

Mittaukset tehtiin vajaa kaksi viikkoa ennen kauden päätapahtumaa, jolloin jokainen uimari lähestyy huippukuntoaan. Tutkimuksen absoluuttiset tulokset on esitetty taulukossa 2.

Taulukko 2. Tutkimuksen absoluuttiset tulokset. Rintakehän laajeneminen (cm), pallean toiminta, rintakehän alueen nivelten kipupisteet ja kapnografimittauksen tulokset.

	Keskiarvo	SD	N(%)
Ympärysmitta cm			
VYPRO Yläosa (Th2-Th5) (cm)	2,84	2,19	
OYPRV Yläosa (Th2-Th5) (cm)	2,86	1,3	
Yläosa (Th2Th5) (cm)	2,85	1,15	
VYPRO alaosa (Th9)(cm)	5,68	1,55	
OYPRV alaosa (Th9) (cm)	5,34	2,1	
Alaosa (Th9) (cm)	5,51	1,64	
Laajeneminen % Th2-Th5	3,05 %	1,31 %	
Laajeneminen % Th9	6,6 %	2,2 %	
Pallean etuosan toiminta			
Symmetrinen			6 (24)
Epäsymmetrinen			15 (60)
Etuosan kramppi			4 (16)
Pallean etuosan tiukempi puoli			
Vasen			9(36)
Oikea			6(24)
Päälle jäävä tonus			
Vasen			13(52)
Oikea			12(48)
Rintakehän nivelten kipu (lkm yht/36)			
Vasen puoli	9,56	9,5	
Oikea puoli	5,76	3,2	
Yläosa (Th2-Th5)	5,63	3,9	
Alaosa (Th6-Th12)	4,44	4	
	3,76	4,3	
ETCO2mmHg			
ETCO2mmHg levossa	37,26	2,73	
ETCO2mmHg 1min rasituksen jälkeen	41,28	3,7	
Hengitys x/min			
Hengitys x/min levossa	13	3,3	
Hengitys x/min 1min rasituksen jälkeen	14	4	
VYPROcm: vasen yläraaja ylhäällä, pään rotaatio oikealle			
OUPRVcm: oikea yläraaja ylhäällä, pään rotaatio vasemmalle			
ETCO2mmHg: Uloshengityksen loppuosan keuhkojen ilman CO2 pitoisuus			
Rintakehän yläosa: Th2-Th5 taso			
Rintakehän alaosa:Th9 taso			
Hengitys x/min: hengitysfrekvenssi			

7.2 Rintakehän laajeneminen

Prosentuaalisesti tutkittavien rintakehän ympärysmitta rintakehän yläosassa (tasolta Th2-Th5 mitattuna) kasvoi keskimäärin 3,05 %. Minimi laajeneminen 1,2 % ja maksimi 5 %. Rintakehän alaosan (tasolta Th9 mitattuna) prosentuaalinen ympärysmittan kasvu oli keskimäärin 6,6 %. Minimi laajeneminen 2 % ja maksimi 11 %. Rintakehän laajeneminen uintiasennossa puolieroineen on esitetty taulukossa 3.

Taulukko 3. Rintakehän laajeneminen vatsamakuulla hoitopöydällä uintiasennossa rintakehän ylä- ja alaosasta.

	N	N(%)
Vasen yläraaja ylhäällä, pään rotaatio oikealle Th2-Th5		
< 2,00	7	28,0
2,00-2,99	5	20,0
3,00-3,99	5	20,0
4,00+	8	32,0
Vasen yläraaja ylhäällä, pään rotaatio oikealle Th9		
<4,00	2	8,0
4,00-5,99	9	36,0
6,00-7,99	12	48,0
8,00+	2	8,0
Oikea yläraaja ylhäällä, pään rotaatio vasemmalle Th2-Th5		
<2,00	7	28,0
2,00-2,99	4	16,0
3,00-3,99	7	28,0
4,00+	7	28,0
Oikea yläraaja ylhäällä, pään rotaatio vasemmalle Th9		
<4,00	5	20,0
4,00-5,99	8	32,0
6,00-7,99	8	32,0
8,00+	4	16,0

Tutkittavista 40 %:lla rintakehän alaosan laajeneminen tasolta Th9 oli <5cm, jota pidetään normaalina terveen rintakehän laajentumisen rajana (Respiratory Rehabilitation. Chest expansion).

7.3 Rintakehän nivelten toiminta

Palpoitaessa 60 %:lla rintakehän alueen nivelten kipupisteitä oli alle 10, 28 %:lla 11–20 ja 8 %:lla 21-30. Arkuuksia havaittiin nivelissä, joiden toiminta oli häiriintynyt. Osalla tutkittavista nivelten toiminnan häiriö oli edennyt niin pitkälle, ettei liikettä saatu aikaan. Näissä tapauksissa kipua ei voitu käyttää indikaationa.

7.4 Pallealihaksen etuosan toiminta

Pallealihaksen etuosan toiminnan huomattavaa toiminnan epäsymmetrisyyttä havaittiin tutkittavista 60 %:lla. Etuosan symmetrinen toiminta havaittiin 24 %:lla. Muuttumaton etuosan lihastonius ja liikkumattomuus havaittiin 16 %:lla. Normaali symmetrinen pallealihaksen etuosan toiminta havaittiin 12 %:lla.

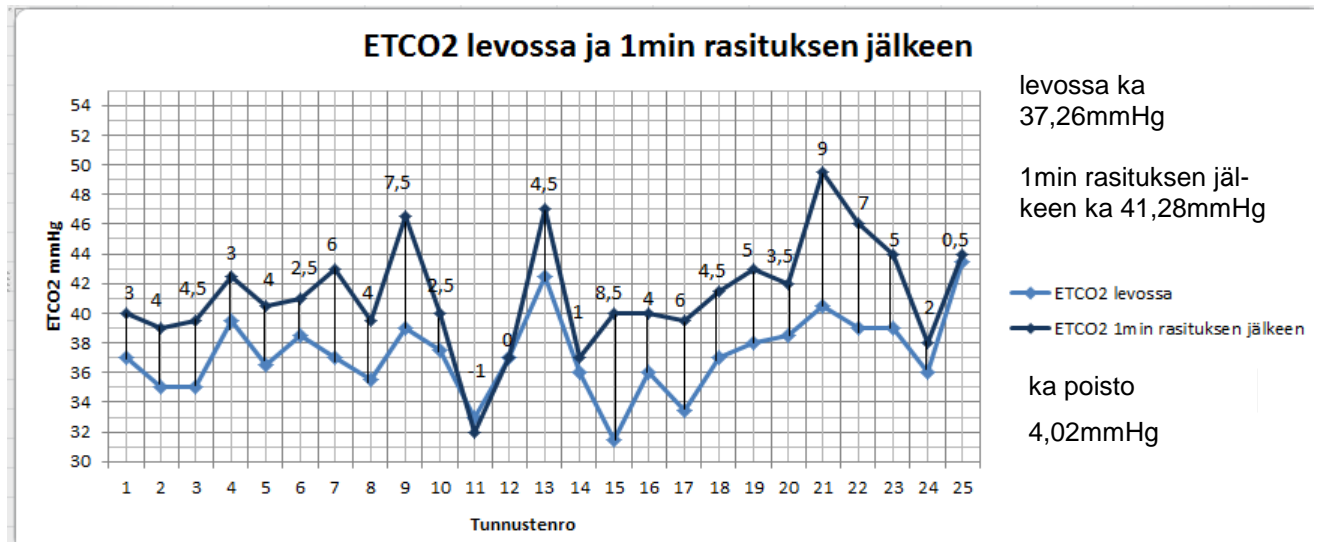
Taulukko 4. Pallealihaksen etuosan päälle jäävä tonus

Tonus	N/25	N(%)
kyllä	17	68,0
ei	8	32,0
vasen	13	52,0
oikea	12	48,0

Uloshengityksen jälkeen pallealihaksen etuosaan jäävä tonus on esitetty taulukossa 4. Päälle jäävää tonusta havaittiin 68 %:lla. Osalla tutkittavista tonusta havaittiin sekä vasemmalla että oikealla puolella. Hengityksen aikainen liike oli symmetrinen, mutta pallean etuosa ei rentoutunut. Tutkittavista 16 %:lla pallean etuosan toiminnassa ei havaittu liikettä, jolloin tutkittavan rintakehä laajeni ainoastaan alaosasta selkäpuolelta sivulle ja taaksepäin tutkijaa vasten.

7.5 Hengityksen ETCO₂mmHg

Tutkittavilta mitatut ETCO₂mmHg arvot on esitetty kuviossa 6. Tutkittavien keskiarvo levossa oli 37,26mmHg. Tutkittavista 44 % oli keskiarvon yläpuolella ja 52 % jäi keskiarvon alapuolelle. Jatkuvaa matalaa ETCO₂mmHg arvoa (<35mmHg) oli nähtävissä 24 %:lla, joka tarkoittaa elimistön lievää hypokapnia tilaa.

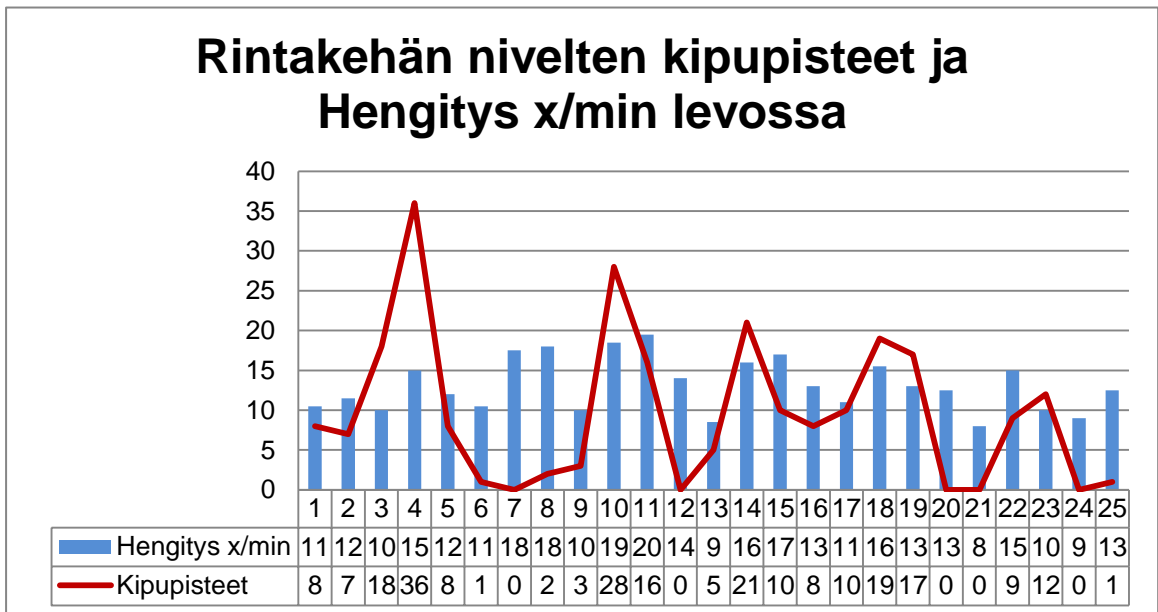


Kuvio 6. Kapnografimittauksen ETCO₂ levossa ja 1 min rasituksen jälkeen sekä hiilidioksidin poisto 1min rasituksen aikana.

Rasituksen jälkeen keskimääräinen ETCO₂mmHg taso oli 41,28mmHg. Tutkittavista 56 % on keskiarvon alapuolella ja 40 % yläpuolella. Tutkittavista 56 % jäi keskiarvon alapuolelle ja 44 % nousi keskiarvon yläpuolelle. Keskimääräinen hiilidioksidin poisto rasituksen jälkeisen minuutin aikana oli 4,02mmHg. Tutkittavista 68 % jäi keskiarvon alapuolelle.

7.6 Rintakehän nivelten kipupisteiden yhteys laajenemiseen ja hengitysfrekvenssiin

Kipupisteet (taso Th2-Th5) olivat yhteydessä rintakehän yläosan laajenemiseen ($r = , 417$). Rintakehän nivelten kipupisteiden yhteismäärä oli yhteydessä hengitysfrekvenssiin levossa ($r = , 390$) (kuvio 7). Kun tuloksista poistettiin ne henkilöt, joilla tutkimuksen aikana ilmeni rintakehän nivelten pitkälle edennyttä toimintahäiriötä, jonka indikaatio ei ollut kipu ($N=19$), korrelaatio oli korkeampi ($r = , 486$).



Kuvio 7. Rintakehän nivelten kipupisteet ja hengitysfrekvenssi

Hengitysfrekvenssi 1 min rasituksen jälkeen oli yhteydessä CO₂ poistoon rasituksen jälkeisen minuutin aikana ($r = , 683$).

8 Pohdinta

Tutkimuksen perusteella uintiharjoittelu altistaa kehon kuormituslinjojen muutokselle aiheuttaen lihaskireyksiä rintakehän ja keskivartalon alueelle, vaikuttaen pallealihaksen vapaaseen toimintaan. Kuormituslinjojen muutos ei ole ainoastaan uintiharjoittelusidonnainen asia. Jokainen urheilulaji kuormittaa kehoa tietyllä tavalla ja tutkimuksessa tarkasteltiin toiminnalliseen hengityshäiriöön altistavia tekijöitä, joita uintiharjoittelu saattaa provosoida. Yksi suuri tekijä on uinnin aikana vallalla oleva suuhengitys jo matalalla kuormitustasolla. Vesi ympäristönä asettaa uimarin elimistölle omat haasteensa. Uimari harjoittelee veden kannattelemana horisontaalisessa asennossa ja tämä yhdessä hydrostaattisen paineen aiheuttaman hengityslihasten optimaalisen työskentelypituuden muutoksen kanssa, muuttaa kehon kuormituslinjoja. Päälle jäävä kuormituslinjojen muuttunut tonus voi johtaa kehon rakenteellisiin muutoksiin, jotka voivat häiritä kehon normaalia luonnollista hengitystä.

Tarkasteltaessa urheilijan hengitystä, on otettava huomioon hengitystapa sekä rasiituksen aikana että levossa. Vakiintuessaan urheilijan epätasapainoinen hengitystapa muuttuu helposti opituksi tavaksi. (Clifton-Smith 2014.) Tutkimukseen osallistuvista uimareista 24 %:lla oli lepotilassa matala uloshengityksen loppuosan hiilidioksidipitoisuus. Jo lepotilan häiriintynyt hengitys altistaa rasiituksessa ilmenevällä hengityksen epäedulliselle muutokselle ja hengityshäiriöille. Vapaan hengityksen edellytys on joustava keho, jonka ei tarvitse toimia itseään vastaan. Tutkimuksiin osallistuvilla uimareilla havaittiin rintakehän nivelten pitkälle edennyttä toimintahäiriötä. Näissä tapauksissa ei esiintynyt kipua. Voidaan todeta, että nivelen kivuttomuus ja terve nivel eivät ole sama asia.

Vedessä olon aiheuttama pallealihaksen kraniaalinen siirtymä muuttaa pallealihaksen työskentelyä. Tutkittavista pallealihaksen huomattavaa epäsymmetrisyyttä havaittiin 60 %:lla ja pallealihaksen etuosan kramppeja 16 %:lla. Chaitowin (2014) mukaan yleensä pallealihaksen toiminta yhdistetään ainoastaan metaboliaan, mutta sen toiminnalla on suuri merkitys kehon asennon säätelyssä. Pallealihaksen on todettu reagoivan myös yläraajojen liikkeisiin (Hodges 2000) lisäten vartalon stabiliteettia. Tällaisissa tapauksissa pallealihas ei muuta muotoaan kuten hengityksen yhteydessä. Uimarilla pallealihaksen toiminta vaikuttaa siis oleellisesti tätä kautta propulsiivisen voiman välittymiseen ja hartiarenaan toimintaan uinnin aikana. Epätasapainoinen hengitys on mones-

sa tutkimuksessa yhdistetty myös alaselän kipuihin. Chaitowin (2014: 30, 217) mukaan häiriintynyt pallealihaksen toiminta vaikuttaa myös poikittaisen vatsalihaksen, multifidusten ja lantionpohjan lihaksiston toimintaan ja altistaa selkärangan toiminnallisen stabiiliteetin häiriöille. Pallealihaksen ja poikittaisen vatsalihaksen yhteistyön häiriintyessä myös pallealihaksen voimantuotto vähenee. Kliinisessä fysioterapiatyössä hengityksen rooli kehon stabiiliteetin harjoittamisessa on ensiarvoisen tärkeää.

Tutkimuksessa huomattavan suurella osalla havaittiin kohonnutta vatsalihasten lepotonusta. Tiukan ylläpidettävän keskivartalon ”korsetin” on todettu olevan yhteydessä etenkin uimareilla havaittuun hengityksen dynaamiseen hyperinflaatioon. Clifton-Smithin (2014: 5, 218.) mukaan pinnallisten vatsalihasten lepotonus kohoaa ja normaali hengityслиike häiriintyy hengityksen siirtyessä rintakehän yläosiin. Tämä johtaa fysiologisiin, mekaanisiin ja psykologisiin muutoksiin. Dynaamisessa hyperinflaatiossa sisäänhengitys häiritsee uloshengitystä, jättäen uloshengityksen vajaaksi, jolloin ilman virtaus rajoittuu ja happi ei tavoita alveoleja ja keuhkojen kuollut tila kasvaa. Tämä urheilijan tehoton hengitystapa johtaa rasituksen aikana ennenaikaiseen hengästy miseen. Vatsalihasten kohonnut lepotonus rajoittaa myös pallealihaksen vapaata liikettä ja aiheuttaa apuhengityslihaksille suuremman rasituksen.

Vatsalihasten lepotonus ja keskivartalon tiukkuus näkyivät myös tutkittavien hengitystapassa. Uimareilta mitattiin tutkimuksen aikana PEF arvo, jonka aikana havainnoitiin maksimaalista sisäänhengitys ja uloshengitys tapaa. Tutkittavista 84 % lukitsi keskivartalon ennen maksimaalista sisäänhengitystä, joka tapahtui rintakehän yläosaa nostamalla voimakkaasti apuhengityslihaksia käyttämällä. Uloshengityksen aikana rintakehä vetäytyi voimakkaasti kasaan viitaten poikittaisen rintalihaksen voimakkaaseen käyttöön. Osalla tutkittavista myös vatsan ja rintakehän alueet toimivat normaalista poiketen päinvastoin. Tällaista hengitystapaa kutsutaan paradoksaaliseksi hengitykseksi (Chaitow ym 2014: 5, 105). Keskivartalon lukitseminen yhdessä tällaisen hengitystavan kanssa aiheuttaa rintakehän yläosan ja kaulanalueen apuhengityslihasten ylikuormitusta aiheuttaen lihastonusten muutosta ja kireyttä myös pieniin rintalihaksiin (m. pectoralis minor) ja epäkäslihaksen yläosaan (m. trapezius) (Clifton-Smith ym. 2011).

Elimistön normaali vaste rasitustason nousulle on suuhengityksen aloittaminen. Uimari aloittaa suuhengityksen jo matalalla teholla, koska uima-altaassa matalalle kuormitus tasolle ominainen nenähengitys ei ole mahdollista. Neivan ym (2009) mukaan kuormituslinjojen muutokset, kuten kaularangan lisääntynyt lordoosi, olkapään ulostyöntymi-

nen, lapaluun elevaatio ja abduktio olivat yleisempiä lapsilla, joilla normaali hengitystapa oli suuhengitys. Heillä oli havaittavissa myös kaulan alueen apuhengityslihasten lisääntynyttä aktivaatiota. Tämän vuoksi uimarille edullinen alkulämmittely sisältää kuivalla maalla elimistöä rasitukseen valmistavaa harjoittelua, jonka johdosta kehon luonnollinen hengitystapa ja rasituksen taso kohtaavat ennen uintiharjoittelun alkua. Oleellista on hengityslihasten valmistelu tulevaan suoritukseen. Uintiharjoituksen aikana kannattaa kiinnittää huomiota kaulan alueen lihasten tonukseen. Hampaiden yhteen pureminen tai pelkästään suun tiukasti kiinni pitäminen aiheuttaa epäedullista lihasaktivaatiota estäen hengityksen vapaan kulun.

Pilottitutkimuksessa ilmenneiden tutkimustulosten perusteella uimarin elimistölle edullinen kuivaharjoittelu keskittyy keskivartalon aktivaation lisäksi sen toiminnallisuuteen. Tiukka lihas ei ole vahva, eikä vahva lihas ole tiukka ja vapaan hengityksen edellytys on joustava keho. Lihaksen toimintaan vaikuttaa lihasvoiman lisäksi sen lyhenemis/pitenemissykli. Kuivaharjoittelussa eri alkuasentojen hyödyntäminen ja hengityksen yhdistäminen rytmisesti eri lihasryhmien harjoittamiseen parantaa liikuntaelimistön ja hengityselimistön yhteistyötä. (Clifton-Smith 2014: 217).

Uimareiden harjoittelussa suuressa roolissa on hengityslihasten muuttuva kuormitus. Palauttavaa harjoittelua voi tehdä hengityksen näkökulmasta erilaisten alkuasentojen kautta edesauttaen kehon vapaata hengitysliikettä. Oleellisinta olisi saada harjoittelun aikana mahdollinen päälle jäänyt epäedullinen lihastonius laskemaan ja tätä kautta saavuttaa hengityksen vapaa kulku niin, ettei hengitykseen tarvitse erikseen keskittyä. Clifton-Smithin (2014: 223) mukaan optimaalinen hengitystapa ja optimaaliset kuormituslinjat kulkevat käsi kädessä. Kuivaharjoittelun ei tarvitse aina olla aktivoivaa. Se voi myös olla hermostoa palauttavaa kehon ja mielen harjoittelua. Palauttava harjoittelu laskee vallalla olevan sympaattisen hermoston aktivaatiotasoa ja siten edesauttaa hermoston palautumista ja hengityksen rauhoittumista. Hengityksen sijasta huomion vienti kehoon edesauttaa hengityksen vapaampaa kulkua.

Hengitys viestii kokonaisuudessaan ihmisen kehon ja mielen tilasta. Oireilevan urheilijan kohdalla huomioon otettavia asioita ovat mahdolliset sairaudet ja lääkitys sekä yleinen terveydentila, ilmeneekö hänellä kurkunselvittämisen tarvetta tai yskää, onko kiputiloja ja kuinka paljon hänellä tulee kehoa ja mieltä rauhoittavaa aikaa ilman virikkeitä. (Clifton-Smith 2014: 221.) Oleellista on myös reagointi hengityshäiriön aiheuttamiin

oireisiin, joista aiheutuva epämiellyttävä olo johtaa herkästi pelkotilaan ja paniikkikohtaukseen oireita voimistaen (Gilbert 2014: 200).

Tässä pilottitutkimuksessa keskityttiin uintiharjoittelun provosoimiin biomekaanisiin tekijöihin. Jatkotutkimuksena voisi selvittää, miten kehon vapaata hengityслиikettä edesauttava harjoittelu vaikuttaa hengitykseen, rintakehän toimintaan ja kiputiloihin. Tässä tutkimuksessa keskityttiin pääsääntöisesti vapaauintin aiheuttamaan kehon kuormittumiseen. Oma tutkimuskohteensa olisi eri päälajien harrastajat. Lisäksi voisi tutkia, miten hengitystoiminnot eroavat pidemmän matkan (400m-1500m) uimareilla verrattuna lyhyemmän matkan (50m-200m) uimareihin. Oma laaja tutkimuskohde olisi uimareiden psyykkisen osa-alueen tekijät ja suorittaminen, jolloin voisi tarkastella henkisen paineen ja uimarin oman tavoitteenasettelun vaikutusta hengitysongelmiin.

Tämä pilottitutkimus toteutettiin yhden seuran kilpauimareilla, mutta uimareilla ilmenneet ongelmat eivät ole seurasidonnaisia. Hengitysongelmat ovat uimareilla hyvin yleisiä, joten tutkimuksessa ilmenneitä ongelmia saattaa ilmetä myös muissa seuroissa. Tämän pilottitutkimuksen otanta oli 25 tutkittavaa, joten tarvitaan lisää tutkimusta ennen kuin tutkimustuloksia voidaan yleistää.

Lähteet

Australian Feldenkrais Center. Verkkodokumentti. Luettu 2.6.2014

<<http://feldenkrais.com.au/breathing/>>

Amanda P. Silvatti - Karine J. Sarro - Pietro Cerveri - Guido Baroni & Ricardo M. L. Barros. A 3D kinematic analysis of breathing patterns in competitive swimmers. Journal of Sports Sciences. 2012. Volume 30. Issue 14.

Barral Jean-Pierre. The Thorax. Originally Le Thorax, Paris 1989. English edition 1991 by Eastland Press. 7th Edition 2010. Seattle, Washington.

Better Physiology

CapnoTrainer <<http://www.betterphysiology.com/capnotrainer/>> Verkkodokumentti. Luettu 1.3.2016.

Bordoni 2013

Bruno Bordoni - Emiliano Zanier. Anatomic connections of the diaphragm: influence of respiration on the body system. J Multidiscip Healthc. 2013; 6: 281-291.

Calais-Germain 2006

Blandine Calais-Germain. Anatomy of Breathing. English edition 2006. Éditions Désiris. Translated by Regine MacKenzie. Seattle, WA 98139, USA

Chaitow ym 2014

Chaitow Leon - Gilbert Chris - Morrison Dinah. Recognizing and Treating Breathing Disorders. A multidisciplinary approach. Second Edition Churchill Livingstone. Elsevier 2014.

Clifton-Smith ym 2011

Tania Clifton-Smith - Janet Rowley. Breathing pattern disorders and physiotherapy: inspiration for our profession. Breathing Works Physiotherapy Clinic, Auckland, New Zealand. Physical Therapy Reviewa 2011 vpl. 16. No 1.

De Troyer ym 2005

André De Troyer - Peter A. Kirkwood - Theodore A. Wilson. Respiratory Action of the Intercostal Muscles. *Physiological Reviews* Published 1 April 2005 Vol 85 no. 2, 717-756 DOI: 10.1152/physrev00007.2004

Dicker ym 1980

Respiratory and heart rate responses to tethered controlled frequency breathing swimming. *Medicine and Science in Sports and Exercise*. Vol. 12, No 1, pp. 20-23, 1980.

Dixhoorn 1994

Jan van Doxhoorn. Significance of Breathing Awareness and exercise training for recovery after myocardial infarction. Chapter 9

Frederick Ann – Frederick Chriss – Myers Thomas – Heiskanen Jouko (suom. painos) Fascial Stretch Therapy. Vk-Kustannus Oy. Otavan Kirjapaino Oy. Keuruu 2015.

Hodges ym 2000

Paul W. Hodges - S C Gandevia. Activation of the human diaphragm during a repetitive postural task. *The Journal of Physiology*. 2000 Jan 1;522(pt 1): 165-175.

Hudson ym 2010

Anna L. Hudson - Jane E. Butler - Simon C. Gandevia - Andre De Troyer. Interplay Between the Inspiratory and Postural functions of the Human Parasternal Intercostal Muscles. *Journal of Neurophysiology* Published 1 March 2010 Vol. 103 no. 3, 1622-1629.

Jones ym 2013

Mandy Jones – Alex Harvey – Louise Marston – Neil E O’Conneil. Breathing Exercises for dysfunctional breathing/hyperventilation syndrome in adults. *Cochrane Library* DOI: 10.1002/14651858.CD009041.pub2. 31 MAY 2013.

<<http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/14651858.CD009041.pub2/full>> Verk-
kodokumentti. Luettu 17.1.2016.

The Journal of Allergy and Clinical Immunology. 2015

Margo Mountjoy - Ken Fitch - Louis-Philippe Boulet - Valerie Bougault - Willem van Mechelen - Evert Verhagen. Prevalence and characteristics of asthma in the aquatic disciplines September 2015. Volume 136, Issue 3, Pages 588-594.

Lavin ym 2013

Controlled-frequency breath swimming improves swimming performance and running economy. 10.09.2013. Scandinavian journal of medicine & science in sports 2015: 25: 16-24.

Lee 2011

Diane Lee. The Pelvic Girdle. Churchill Livingstone. 2011. Elsevier. Fourth Edition.

Litchfield. Optimal Breathing

<<http://www.breathing.com/articles/carbon-dioxide.htm>> Verkkodokumentti. Luettu 17.1.2016

Maglischo. Ernest W. Maglischo. Swimming Fastest. The essential reference on technique, training and program design. Human Kinetics. 2003. USA.

McArdle 2010

William D. McArdle – Frank I. Katch – Victor L. Katch. Exercise physiology. 7th Edition. Wolters Kluwer. Lippincott Williams & Wilkins. 2010

Moore Keith – Persaud T.V.N. The Developing Human. Clinically oriented embryology. 2003, 7th Edition. Saunders USA.

Mullen 2014. Swimmer's lung capacity. Swimming science 01/2014. Verkkodokumentti. Luettu 7.1.2015.

<<http://www.swimmingscience.net/2011/10/swimmers-lung-capacity.html>>

Mullen 2015. Inspiratory Muscle Training – How it Help Swimmers? Swimmingworld magazine 03 March 2015. Verkkodokumentti. Luettu 7.6.2015

<<http://www.swimmingworldmagazine.com/news/inspiratory-muscle-training-swimmers/>>

Mullen 05/2015 The Ultimate Guide To Fixing Swimmers Posture. Verkkodokumentti.
Luettu 10.9.2015
<<http://www.swimmingworldmagazine.com/news/ultimate-guide-fixing-swimmers-posture/>>

Moshe Feldenkrais. Awareness through movement. Harper One. 1990. 1. Feldenkrais method. I. Title.

Molkov 2014.

Control of breathing interacting pontine and pulmonary feedback loops. Yaroslav Molkov-Bartholomew J Bacak- Thomas E. Dick-Ilya A. Rybak. Front Neural Circuitis. 2013; 7:16. Front Neural Circuits. 2013; 7:16.

Myers 2013

Thomas W. Myers. Anatomy Trains – Myofascial Meridians for Manual and Movement Therapist, 2 second edition. 2013 VK-Kustannus.

Neiva ym 2009.

Neiva PD, Kirkwood RN, Godinho R. Orientation and position of head posture, scapula and thoracic spine in mouth-breathing children. International Journal of Pediatric Otorhinolaryngology 73, 227-236.

NEJM 1966 Hypoxemia vs Hypoxia. The New England Journal of Medicine.

<<http://www.nejm.org/doi/pdf/10.1056/NEJM196604212741613> > Verkkodokumentti.
Luettu 22.1.2016

Olson ym 2010

Effects of respiratory muscle work blood flow distribution during exercise in heart failure. The Journal of Physiology 2010 Jul 1; 588 (pt 13):2487-2501.

Park ym 2015

Hankyu Park – Dongwood Han. The effect of the correlation between the contraction of the pelvic floor muscles and diaphragmatic motion during breathing. Journal of Physical Therapy Science 2015 Jul 27 (7): 2113-2115.

Pendergast 2009

D.R. Pendergast - C. E. G. Lundgren. The underwater environment: cardiopulmonary, thermal, and energetic demands. *Journal of Applied Physiology* Published 1 January 2009 Vol 106 no. 1, 276-283

Päivinen Marja. Dynaamiset keuhkotoiminnat kilpauimareilla maalla ja vedessä sekä maksimaalisen uintikuormituksen yhteydessä. Jyväskylän yliopisto, Liikuntabiologian laitos. Kevät 2002.

Respiratory Rehabilitation Chest Mobility. Verkkodokumentti. Luettu 10.3.2016.

<<http://calder.med.miami.edu/providers/PHYSICAL/reschest.html>>

Richardson 1999

<[http://www.udel.edu/PT/PT%20Clinical%20Services/journalclub/sojc/99_00/dec99/ric haricha.pdf](http://www.udel.edu/PT/PT%20Clinical%20Services/journalclub/sojc/99_00/dec99/ric%20haricha.pdf)>

Sayce 2011

Ted Sayce. The Shoulder: What Every Coach/swimmer should know-Breathing. October 2011. <<http://saycoperformance.com/blog/shoulder/the-shoulder-what-every-coachswimmer-should-know-part-6/>>

Verkkodokumentti. Luettu 22.1.2016

Sheel ym 2002

A. William Sheel - P. Alexander Derchak - David F. Pegelow - Jerome A. Dempsey. *American Journal of Physiology – Heart and Circulatory Physiology* Published 1 May 2002. Vol 282 no. 5. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance.

Silvatti et. al. 2008. Amanda P. Silvatti. Karine J. Sarro. Ricardo M. L. Barros. Coordination between ribs motion and thoracoabdominal volumes in swimmers during respiratory maneuvers. Laboratory of instrumentation for Biomechanics, College of Physical Education, Campinas State University, Campinas (SP), Brazil. Verkkodokumentti.

Stecco 2015

Carla Stecco. *Functional Atlas of the Human Fascial System*. Churchill Livingstone. English language editor Warren Hammer DC MS United Kingdom 2015.

Tuijens ym 2003

M. J. Truijens – H. M. Toussaint – J. Dow – B. D. Levine

Effect of high-intensity hypoxic training on sea-level swimming performances. Journal of Applied Physiology Published 1 February 2003 Vol. 94 no. 2, 733-743

Vogiatzis ym 2007

Iannis Vogiatzis - Olga Georgiadou - Maria Koskolou, Dimitrios Athanasopoulos - Konstantinos Kostikas - Spyretta Golemati - Harrieth Wagnerm Charis Roussos - Peter D. Wagner - Spyros Zakunthos. Effects of hypoxia on diaphragmatic fatigue in highly trained athletes. The Journal of Physiology 4 May 2007.

Wilson 2014.

Wilson – McKeever – Lobb – Sherriff – Gupta – Hearson – Martin- Lindley - Shaw. Respiratory muscle specific warm-up and elite swimming performance. Br J Sports Med. May 2014; 48(9):789-91

Yaroslav ym 2014

Yaroslav Molkov – Natalia Shevtsova – Choongseok Park – Alona Ben-Tal – Jeffrey C. Smith – Jonathan E. Rubin – Ilya A. Rybak. Editor Michael Koval. A Closed-Loop model of respiratory system: focus on hypercapnia and Active Expiration. PLoS One. 2014;9(10)

ALAIKÄISEN MITTAUKSIIN OSALLISTUVAN UIMARIN SUOSTUMUSLOMAKE (IKÄRYHMÄ 15-17vuotta)

Suostumus Metropolia Ammattikorkeakoulun Fysioterapian opinnäytetyönä toteutettavaan pilot-titutkimukseen, jossa kartoitetaan uimarin hengityselimistön toimintaa ja hengityselimistön puolieroja.

Olen saanut sekä suullista että kirjallista tietoa opinnäytetyöstä, jossa toteutetaan pilottitutkimus uimarin hengityselimistön toiminnasta ja hengityselimistön puolieroista. Tutkimustuloksilla kehitetään uimareiden valmennustoimintaa ja uimareille suunnattua fysioterapiaa. Olen saanut riittävästi tietoa minulle toteutettavista mittauksista. Tiedän, että kerättyä aineistoa hyödynnetään fysioterapian opinnäytetyössä, jossa selvitetään uimarin hengityselimistön toimintaa, hengityselimistön puolieroja ja hengitystekniikkaa.

Minulla on ollut mahdollisuus esittää mittauksiin liittyen tarkentavia kysymyksiä. Ymmärrän, että minulla on mahdollisuus keskeyttää osallistumiseni milloin tahansa syytä ilmoittamatta ilman, että siitä koituu minulle mitään haittaa. Voin myös peruuttaa tämän suostumukseni, jolloin minusta kerättyjä tietoja ei käytetä enää opinnäytetyössä. Tietojani käsitellään luottamuksellisesti henkilötietolaki ja hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Tietojani ei luovuteta ulkopuolisille, eikä niitä käytetä muuhun kuin tähän opinnäytetyöhön. Tiedot esitetään opinnäytetyön tuloksissa siten, että niistä ei voi tunnistaa henkilöä. Tunnistetietoni poistetaan analysointivaiheessa.

Vahvistan allekirjoituksellani suostumukseni ja vapaaehtoisuuteni osallistumiseni tähän opinnäytetyöhön tehtävään pilotitutkimukseen.

Liitteenä tiedote ja suostumuslomake tutkimukseen osallistuvan alaikäisen uimarin huoltajalle.

Osallistujan nimi: _____

Sotu: _____

Osoite: _____

Puhelinnumero: _____

Paikka: _____

Päiväys: ___/___/___

Osallistujan allekirjoitus: _____

Osallistujan nimenselvennös: _____

Suostumuksen vastaanottajan nimi: _____

Paikka: _____

Päiväys: ___/___

Suostumuksen vastaanottajan allekirjoitus: _____

SUOSTUMUSLOMAKE ALAIKÄISEN TUTKIMUKSEEN OSALLISTUVAN UIMARIN HUOLTAJALLE

Suostumus Metropolia Ammattikorkeakoulun Fysioterapian opinnäytetyönä toteutettavaan pilottitutkimukseen, jossa kartoitetaan uimarin hengityselimistön toimintaa ja hengityslihaksiston puolieroja.

Olen saanut sekä suullista että kirjallista tietoa lapselleni tehtävistä mittauksista, joihin lapseni on halukas osallistumaan. Tiedän, että mittaukset ovat osa opinnäytetyötä, jossa toteutetaan pilottitutkimus uimarin hengityselimistön toiminnasta ja hengityslihaksiston puolieroista. Tutkimustuloksilla kehitetään uimareiden valmennustoimintaa ja uimareille suunnattua fysioterapiaa. Olen saanut riittävästi tietoa lapselleni toteutettavista mittauksista. Tiedän, että kerättyä aineistoa hyödynnetään fysioterapian opinnäytetyössä, jossa selvitetään uimarin hengityselimistön toimintaa, hengityslihaksiston puolieroja ja hengitystekniikkaa.

Minulla on ollut mahdollisuus esittää lapseni mittauksiin liittyen tarkentavia kysymyksiä. Ymmärrän, että lapsellani on mahdollisuus keskeyttää osallistumisensa milloin tahansa syytä ilmoittamatta ilman, että siitä koituu hänelle mitään haittaa. Voin myös peruuttaa tämän suostumukseni, jolloin lapsestani kerättyjä tietoja ei käytetä enää opinnäytetyössä. Tietojani käsitellään luottamuksellisesti henkilötietolaki ja hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Lapseni tietoja ei luovuteta ulkopuolisille, eikä niitä käytetä muuhun kuin tähän opinnäytetyöhön. Tiedot esitetään opinnäytetyön tuloksissa siten, että niistä ei voi tunnistaa henkilöä. Tunnistetiedot poistetaan analysointivaiheessa.

Vahvistan allekirjoituksellani suostumukseni, että lapseni osallistuu vapaaehtoisesti halutessaan tähän opinnäytetyönä tehtävään pilottitutkimukseen.

Osallistujan nimi: _____

Sotu: _____

Huoltajan allekirjoitus: _____

Huoltajan nimenselvennös: _____

Suostumuksen vastaanottajan nimi: _____

Paikka: _____

Päiväys: __/__/__

Suostumuksen vastaanottajan allekirjoitus: _____

TÄYSI-IKÄISEN MITTAUKSIIN OSALLISTUVAN UIMARIN SUOSTUMUSLOMAKE (Ikäluokka 18+)

Suostumus Metropolia Ammattikorkeakoulun Fysioterapian opinnäytetyönä toteutettavaan pilottitutkimukseen, jossa kartoitetaan uimarin hengityselimistön toimintaa ja hengityslihaksisen puolieroja.

Olen saanut sekä suullista että kirjallista tietoa opinnäytetyöstä, jossa toteutetaan pilottitutkimus uimarin hengityselimistön toiminnasta ja hengityslihaksisen puolieroista. Tutkimustuloksilla kehitetään uimareiden valmennustoimintaa ja uimareille suunnattua fysioterapiaa. Olen saanut riittävästi tietoa minulle toteutettavista mittauksista. Tiedän, että kerättyä aineistoa hyödynnetään fysioterapian opinnäytetyössä, jossa selvitetään uimarin hengityselimistön toimintaa, hengityslihaksisen puolieroja ja hengitystekniikkaa.

Minulla on ollut mahdollisuus esittää mittauksiin liittyen tarkentavia kysymyksiä. Ymmärrän, että minulla on mahdollisuus keskeyttää osallistumiseni milloin tahansa syytä ilmoittamatta ilman, että siitä koituu minulle mitään haittaa. Voin myös peruuttaa tämän suostumukseni, jolloin minusta kerättyjä tietoja ei käytetä enää opinnäytetyössä. Tietojani käsitellään luottamuksellisesti henkilötietolaki ja hyvää tieteellistä käytäntöä noudattaen. Tietojani ei luovuteta ulkopuolisille, eikä niitä käytetä muuhun kuin tähän opinnäytetyöhön. Tiedot esitetään opinnäytetyön tuloksissa siten, että niistä ei voi tunnistaa henkilöä. Tunnistetietoni poistetaan analysointivaiheessa.

Vahvistan allekirjoituksellani suostumukseni ja vapaaehtoisen osallistumiseni tähän opinnäytetyönä tehtävään pilottitutkimukseen.

Osallistujan nimi: _____

Sotu: _____

Osoite: _____

Puhelinnumero: _____

Paikka: _____

Päiväys: __/__/__

Osallistujan allekirjoitus: _____

Osallistujan nimenselvennös: _____

Suostumuksen vastaanottajan nimi: _____

Paikka: _____

Päiväys: __/__/__

Suostumuksen vastaanottajan allekirjoitus: _____

**UIMARIN HENGITYSELIMISTÖN MITTAUKSEEN
OSALLISTUVAN ESITIETOLOMAKE**

Tunnistenumero: _____

Ikä: _____ v

Pituus: _____ cm

Paino: _____ kg

Sukupuoli: ___ mies ___ nainen

Vapaauintin hengityspanuoli V: ___ O: ___

1. Onko sinulla todettu jokin keuhkosairaus?

Ei ole _____

On _____ mikä?

2. Onko sinulla säännöllistä lääkitystä?

a) Ei ole _____

b) On _____ mitä lääkettä / lääkkeitä?

3. Viimeisen kahden vuoden aikana sairastetut flunssa/hengitystieinfektiot.

a) Ei ole ollut _____

b) Useita flunssia _____

c) Viimeisin alle 1 vko sitten _____

4. Oletko viimeisen kahden vuoden aikana kokenut uintiharjoituksissa hengitysvaikeuksia?

En ole _____

Olen _____ minkälaisia oireita sinulla on ollut?

5. Onko sinulla ollut olkapäähän tai rintakehän alueen kiputiloja?

Ei ole ____

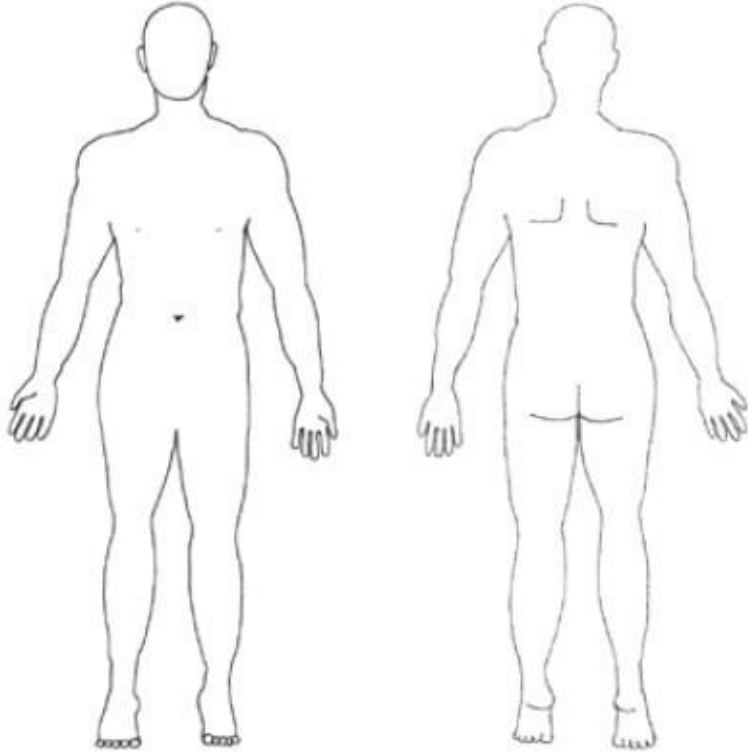
On ____ minkälaisia oireet ovat?

6. Muut mahdollisia harjoitteluun / kilpailuun vaikuttavia kiputilat.

a) Ei ole ollut ____

b) On ollut ____

Merkitse oheiseen kuvaan kokemasi kivun ajankohta paikka

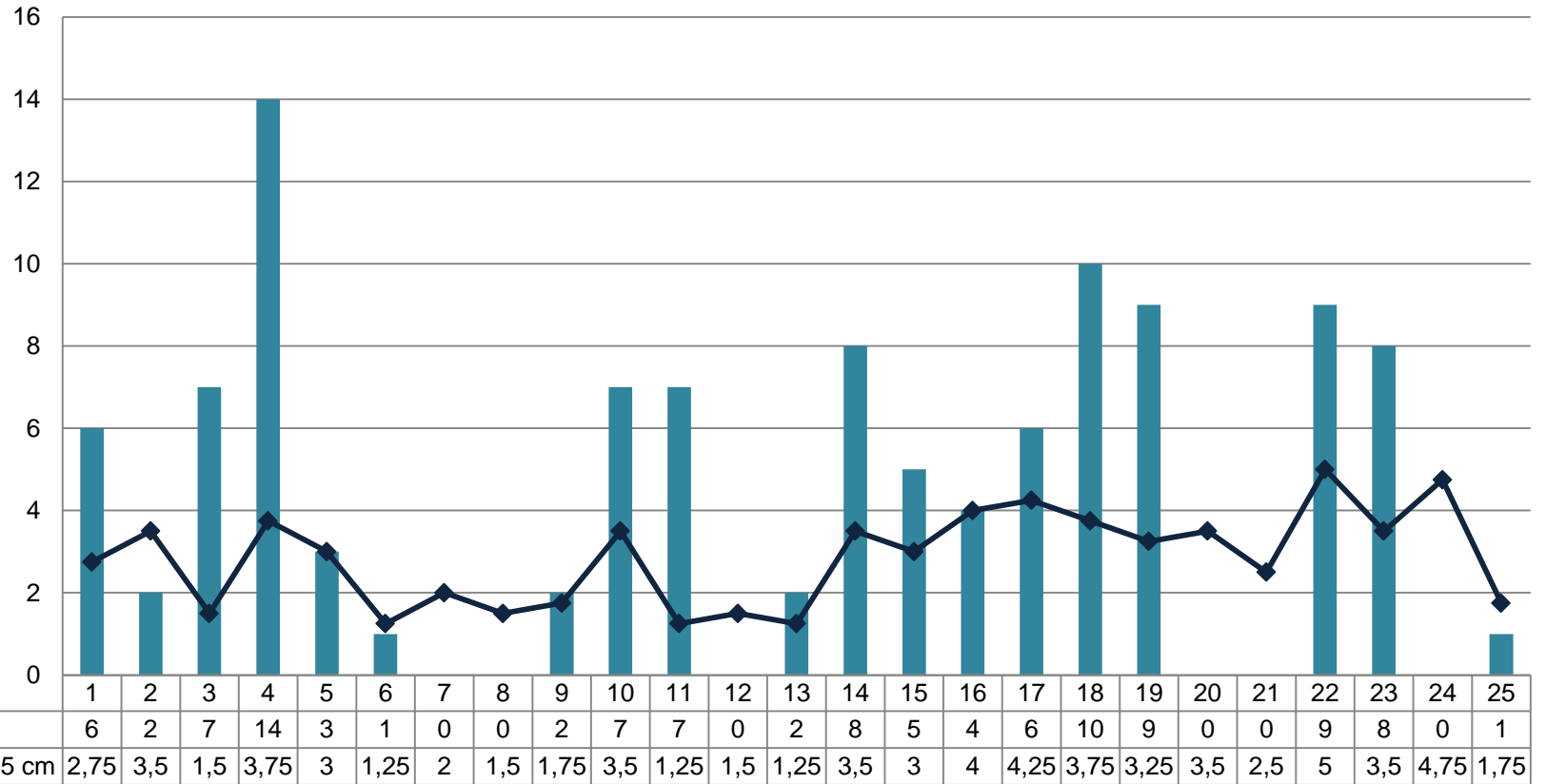


Missä kipunne tuntuu? Merkitkää kuvaan kaikki paikat, joissa tunnette kipua.

Käyttäkää kipualueiden merkitsemisessä apuna seuraavia merkkejä kuvaamaan kivun luonnetta:

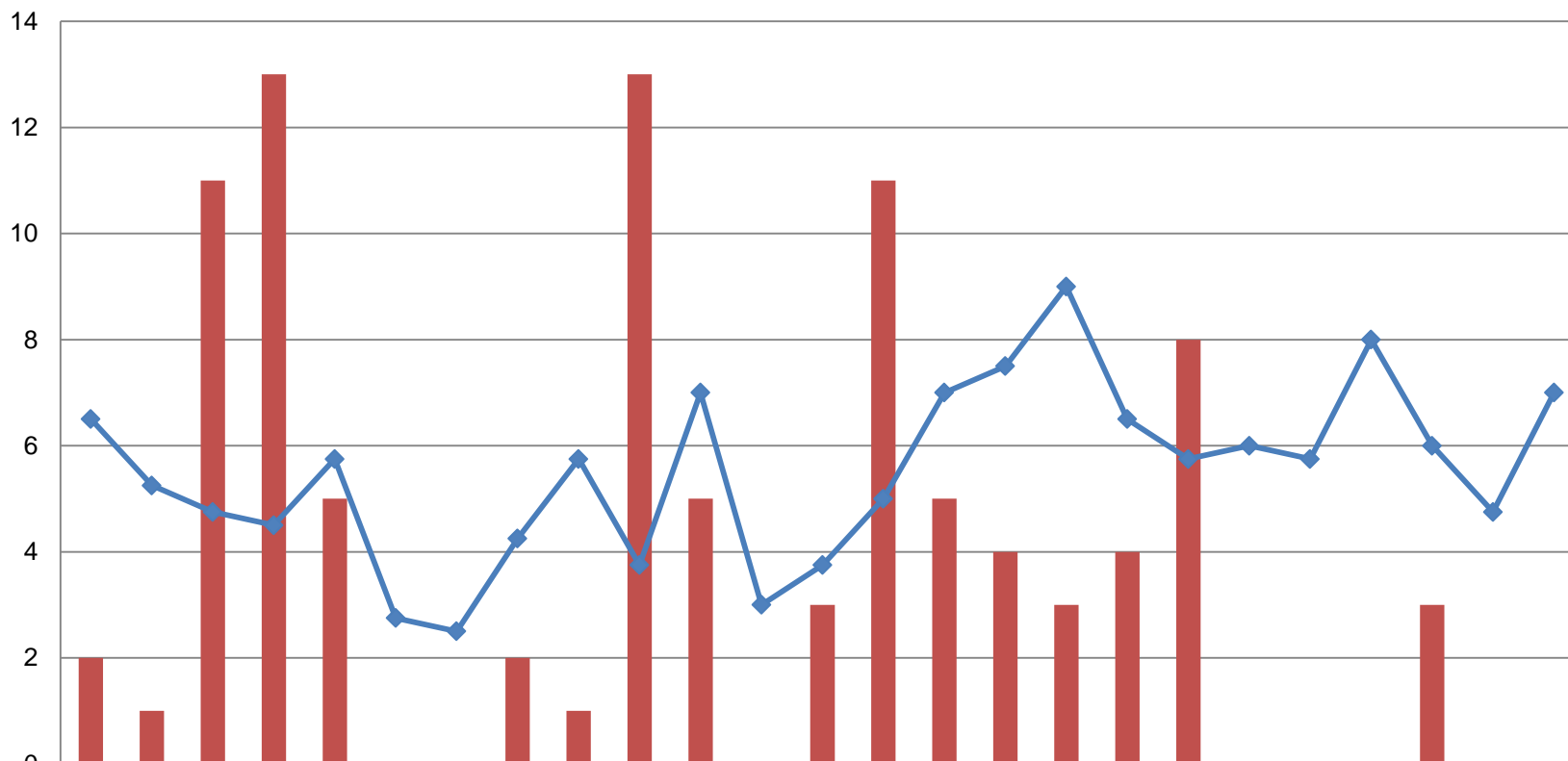
Särky	xxxxxxx (rasteilla)
Aristava kipu	= = = = (poikkiviivalla)
Polttava kipu	oooooooo (ympyröillä)

Kipupisteet ja rintakehän laajeneminen Th2-Th5



Kuvio 8. Rintakehän alueen nivelten kipupisteet ja rintakehän laajeneminen (cm) rintakehän yläosasta tasolta Th2-Th5 mitattuna.

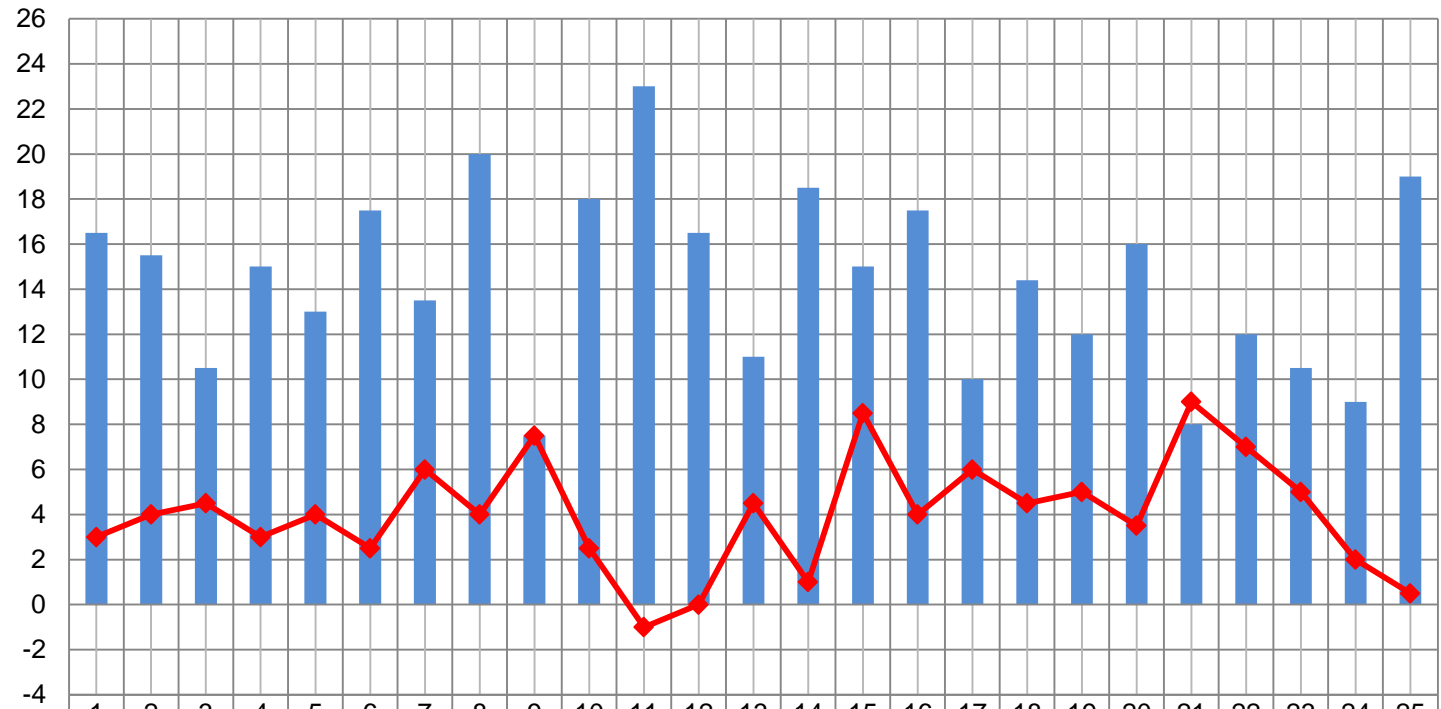
Kipupisteet ja rintakehän laajeneminen Th9



	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Kipupisteet	2	1	11	13	5	0	0	2	1	13	5	0	3	11	5	4	3	4	8	0	0	0	3	0	0
Ka rintakehän ympärys Th9 cm	6,5	5,25	4,75	4,5	5,75	2,75	2,5	4,25	5,75	3,75	7	3	3,75	5	7	7,5	9	6,5	5,75	6	5,75	8	6	4,75	7

Kuvio 9. Rintakehän alueen nivelten kipupisteet ja rintakehän laajeneminen (cm) rintakehän alaosasta tasolta Th9 mitattuna.

CO2 poisto ja Hengitys x/min 1min rasituksen jälkeen



■ Hengitys x/min 1min rasituksen jälkeen	16,5	15,5	10,5	15	13	17,5	13,5	20	7,5	18	23	16,5	11	18,5	15	17,5	10	14,4	12	16	8	12	10,5	9	19
◆ Hiilidioksidin poisto 1min aikana	3	4	4,5	3	4	2,5	6	4	7,5	2,5	-1	0	4,5	1	8,5	4	6	4,5	5	3,5	9	7	5	2	0,5

Kuvio 11. Kapnografimittauksessa mitattu rasituksen jälkeisen minuutin CO2 poisto ja hengitysfrekvenssi.