

**VASTUSTETUN SISÄÄNHENGITYSHARJOITTELUN VAIKUTUS HENGITYS-
LIHASTEN VOIMANTUOTTOON, KESTÄVYYSSUORITUSKYKYYN JA
KOETTUUN RASITUKSEEN SUBMAKSIMAALISESSA
POLKUPYÖRÄERGOMETRIKUORMITUKSESSA SEKÄ
HENGITYSHARJOITELLESSA KESTÄVYYSHARJOITELLEILLA MIEHILLÄ**

Wenning Joel

Liikuntafysiologia

Pro Gradu- tutkielma

Liikuntabiologia

Liikuntatieteellinen tiedekunta

Jyväskylän yliopisto

Kevät 2021

Työnohjaajat: Johanna Ihalainen ja Heikki

Kyröläinen

TIIVISTELMÄ

Wenning Joel. 2021. Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus hengityslihasten voimantuottoon ja kestävyys suorituskykyyn kestävyys harjoittelijoilla miehillä. Liikuntabiologia, Jyväskylän yliopisto, liikuntafysiologian Pro Gradu-tutkielma, 56 s, 5 liitettä.

Johdanto. Urheilijat ja valmentajat etsivät koko ajan uusia tapoja parantaa suorituskykyä sekä tapoja, joilla voisivat saada kilpailuetua. Yksi näistä tavoista on vastustettu sisäänhengitysharjoittelu, jonka avulla on voitu parantaa urheilijoiden suorituskykyä. Tässä tutkimuksessa selvitettiin vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutuksia hengityslihasten voimantuottoon, kestävyys suorituskykyyn ja koettuun rasitukseen submaksimaalisessa kuormituksessa sekä hengitysharjoittelussa kestävyyskuntoilija miehillä.

Menetelmät. Tutkimus toteutettiin satunnaistettuna kontrolloituna tutkimuksena. Tutkittavat olivat 21-44 -vuotiaita kestävyys harjoittelijoita miehiä ($n=17$, ikä 30 ± 7 v, pituus $1,79 \pm 0,07$ m, paino $77,8 \pm 7,4$ kg, rasvaprosentti $13,5 \pm 3,3$ % ja VO_{2max} $49,71 \pm 3,66$ ml/kg/min.). Tutkittavat jaettiin satunnaisesti koe- ja kontrolliryhmiin. Molemmat ryhmät suorittivat alkutestit- ja lopputestit sekä harjoittelivat 4 viikon ajan. Kontrolliryhmän käyttämä vastus hengitysharjoittelussa oli huomattavasti pienempi (20 - 25 cmH₂O vs. 90 - 120 cmH₂O). Molemmat ryhmät harjoittelivat 5 kertaa viikossa vapaavalintaisina päivinä 30 hengitystä kerrallaan. Harjoittelussa käytettiin vastusta vain sisäänhengittäessä. Sekä alku- että lopputesteissä tutkittavilta mitattiin pituus, paino, kehonkoostumus, sisään- ja uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, sisään- ja uloshengityslihasten voimantuotto rasituksen jälkeen, maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä mitattiin maksimiteho, veren laktaatti, testin kesto ja maksimisyke. Lisäksi alkumittauksissa tutkittavilta mitattiin maksimimaalinen hapenottokyky ja spirometria. Tilastollinen tarkastelu tehtiin käyttäen IBM SPSS 24.0 -ohjelmaa. Tilastollinen analyysi suoritettiin yksisuuntaisten toistomittausten varianssianalyysillä (ANOVA).

Tulokset. Sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto (MIP, maximal inspiratory pressure) parani kummallakin tutkimusryhmällä merkitsevästi ($p < 0,001$). Lisäksi koko tutkimusryhmän ja kontrolliryhmän rasituksen jälkeiset uloshengityslihasten maksimaalisen voimantuoton arvot (MEP, maximal expiratory pressure) olivat merkitsevästi suurempia interventiojakson jälkeen kuin ennen interventio jaksoa ($p < 0,05$). Rasitus laski MEP:a molemmissa mittauspisteissä ($p < 0,05$). Loppumittauksissa MIP oli merkitsevästi pienempää rasituksen jälkeen, kuin ennen rasitusta ($p < 0,001$). MIP oli merkitsevästi pienempää alkumittauksissa ennen rasitusta MEP:n verrattuna ($p < 0,05$). Kestävyys suorituskyvyssä tai koetussa rasituksessa ei tapahtunut merkittäviä muutoksia.

Johtopäätökset. Maksimaalinen porrattainen polkupyöräergometrillä tehty kestävyys suoritus aiheuttaa väsymystä sisäänhengityslihaksissa. Vastustettu sisäänhengitysharjoittelu on tehokas tapa lisäämään sisäänhengityslihasten maksimaalista voimantuottoa kestävyyskuntoilua harrastavilla miehillä ja vähentämään kuormituksesta aiheutuvaa voimantuoton laskua. Tutkimusnäytön mukaan vastustetusta sisäänhengitysharjoittelusta voi olla apua ilman virtauksen parantamiseen keuhkoissa, mutta ei keuhkojen tilavuuden lisäämiseen. Aiemman kirjallisuuden perusteella sisäänhengityslihasten harjoittaminen (IMT, inspiratory muscle training) voi parantaa kestävyys suorituskykyä ja vähentää koettua rasitusta submaksimaalisessa kuormituksessa, vaikka tätä ilmiötä ei havaittu tässä tutkimuksessa.

Asiasanat: hengitys, vastustettu sisäänhengitysharjoittelu, kestävyys suorituskyky, spirometria

KÄYTETYT LYHENTEET

cm H ₂ O	vesisenttimetri, paineen yksikkö
FEV1	Forced expiratory volume in 1 sec, Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeinen ensimmäisen sekunnin aikana uloshengitetyn ilman tilavuus
FIV1	Forced inspiratory volume in 1 sec, Maksimaalisen uloshengityksen jälkeinen ensimmäisen sekunnin aikana sisäänhengitetyn ilman tilavuus
FRC	Functional residual capacity, toiminnallinen jäännöstilavuus
FVC	Forced vital capacity, Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen maksimaalisesti uloshengitetyn ilman tilavuus
EMT	Expiratory muscle training, Uloshengityslihasten harjoittaminen
EMF	Expiratory muscle fatigue, Uloshengityslihasten väsymys
ERV	Expiratory reserve volume, Uloshengityksen varatila
IC	Inspiratory capacity, Sisäänhengityskapasiteetti
IMT	Inspiratory muscle training, Sisäänhengityslihasten harjoittaminen
IMF	Inspiratory muscle fatigue, Sisäänhengityslihasten väsymys
IRV	Inspiratory reserve volume, Sisäänhengityksen varatila
MEP	Maximal expiratory pressure, Maksimaalinen uloshengityksen paine
MIP	Maximal inspiratory pressure, Maksimaalinen sisäänhengityksen paine
MVV	Maximal voluntary ventilation, Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio
PEF	Peak expiratory flow, Maksimaalisen uloshengityksen ilman virtaus
PIF	Peak inspiratory flow, Maksimaalisen sisäänhengityksen ilman virtaus
RMT	Respiratory muscle training, Hengityslihasten harjoittaminen
RV	Residual volume. Jäännöstilavuus
TLC	Total lung capacity, Keuhkojen kokonaiskapasiteetti
TV	Tidal volume, Kertahengitystilavuus
VC	Vital capacity, Vitaalikapasiteetti
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenottokyky

SISÄLLYS

1	JOHDANTO	1
2	KEUHKOJEN TOIMINTA JA HENGITYS	3
2.1	Hengityselimistön rakenne	3
2.2	Keuhkoja ja hengitysteitä liikuttavat lihakset.....	4
2.3	Keuhkojen hermotus.....	5
3	HENGITYS SUORITUSKYKYÄ RAJOITTAVAN TEKIJÄNÄ	7
3.1	Fyysisen rasituksen vaikutus sisäänhengityslihasten voimantuottoon	8
3.2	Uloshengityslihasten väsyminen fyysisen rasituksen seurauksena	9
4	VASTUSHENGITYSHARJOITTELU	12
4.1	Vastushengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset hengityslihasten koossa	12
4.2	Vastushengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset hengityslihasten voimantuotossa	12
5	VASTUSTETUN SISÄNHENGITYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET TERVEIDEN IHMISTEN SUORITUSKYKYYN JA FYSIOLOGISIIN MUUTTUJIIN	14
5.1	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus urheilijoiden suorituskykyyn....	14
5.2	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus kuntoilijoiden suorituskykyyn..	16
5.3	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn	17
5.4	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus keuhkojen tilavuuteen ja ilman virtaukseen keuhkoputkissa levossa	17
5.5	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun veren laktaattipitoisuuteen	18
5.6	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus hengityksen taloudellisuuteen ..	20
6	FYSIOLOGISET TEKIJÄT SUORITUSKYVYN PARANEMISEN TAUSTALLA.....	22
7	HENGITYSLIHASTEN HARJOITTAMISEN PERIAATTEET	24
8	TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEEESIT	27
9	TUTKIMUSMENETELMÄT	29
9.1	Tutkimusasetelma.....	29
9.2	Tutkittavat.....	29
9.3	Aineistonkeruu ja analysointi	29
9.3.1	Kehon koostumuksen mittaaminen	29
9.3.2	Hengityslihasten voimantuoton mittaaminen	30
9.3.3	Hengitysharjoittelun toteutus.....	32

9.3.4	Kestävyys suorituskyvyn mittaukset	33
9.3.5	Spirometriamittaukset.....	34
9.4	Tilastolliset menetelmät.....	35
10	TULOKSET	36
10.1	Hengityslihasten voimantuotto	36
10.2	Hengitysharjoittelun rasittavuus	41
10.3	Kestävyys suorituskyky, koettu rasittavuus ja maksimisyke	42
10.4	Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton yhteys ulohengityslihasten maksimaaliseen voimantuottoon, spirometria-arvoihin, suorituksen kestoon sekä antropometriaan	42
10.5	Keuhkojen toiminnallisuus	45
11	POHDINTA.....	46
11.1	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset sisäänhengityslihasten maksimaalisessa voimantuotossa ja koossa.....	46
11.2	Hengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena	48
11.2.1	Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena.....	48
11.2.2	Uloshengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena .	49
11.3	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus kestävyys suorituskykyyn ja koettuun rasitukseen submaksimaalisessa kuormituksessa	50
11.4	Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun rasittavuus	52
11.5	Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton yhteys ulohengityslihasten maksimaaliseen voimantuottoon, spirometria-arvoihin, lopetusaikaan sekä antropometriaan	52
11.6	Käytännön sovellutukset ja johtopäätökset	54
	LÄHTEET	57

1 JOHDANTO

Huippu-urheilussa ero voittajan ja häviäjän välillä voi olla erittäin pieni, jo alle 1 % ero voi määrittää sen, onko urheilija ensimmäinen vai toinen kisassa (Currell & Jeukendrup 2008). Urheilijat ja valmentajat etsivät koko ajan uusia tapoja parantaa suorituskykyä sekä menetelmiä, joilla voisivat saada kilpailuedun. Usein harjoittelu on keskittynyt parantamaan perifeeristen lihasten tai verenkiertojärjestelmän suorituskykyä. Jossain vaiheessa kuitenkin tämänlaisella harjoittelulla saavutetaan tasanne tai ainakin vaihe, jossa kehityksen nopeus on enää hyvin pieni. Vastushengitysharjoittelua, erityisesti sisäänhengitysharjoittelua, onkin käytetty tämän tasanteen ylittämiseen urheilijoiden keskuudessa. (Hajghanbari ym. 2013)

Vastustetun hengitysharjoittelun merkityksestä kiistellään, koska ajatellaan, että hengitys ei ole suorituskykyä rajoittava tekijä merenpinnantasolla. Tämä ajatus perustuu alkujaan siihen tietoon, että hengitys ei rajoita kaasujen vaihtoa keuhkoissa, mikä on totta. Kuitenkaan näin ajateltaessa ei oteta huomioon sitä tosiasiaa, että hengittäminen on lihastyötä. Tänä päivänä, hengityksen rooli suorituskykyä rajoittavana tekijänä on hyväksytty uuden tutkimusnäytön perusteella. Tämän päivän tarkastelussa otetaan huomioon hengityselinten voimantuoton akuutti väheneminen kestävyysuorituksen seurauksena, jolla on vaikutuksia myös muiden lihasten toimintaan. (McConnell 2013, xiv.)

Tutkimusten mukaan vastustetulla sisäänhengitysharjoittelulla voidaan urheilijoilla harjoittaa tehokkaasti sisäänhengityselinten voimantuottoa (Karsten ym. 2018), kasvattaa sisäänhengityselintä (Enright ym. 2006), vähentää rasituksesta johtuvaa hengityksen tunnetta (Romer ym. 2002a), vähentää veren laktaattipitoisuutta submaksimaalisissa (Brown ym. 2012) ja maksimaalisissa (Griffiths & McConnell 2007) suorituksissa, vähentää sydämen sykettä kuormituksen aikana (Faghy & Brown 2016), lisää hengityksen taloudellisuutta (Turner ym. 2012), viivästyttää sisäänhengityselinten väsymistä kuormituksessa (Romer ym. 2002b), säilyttää raajojen verenvirtaus tehokkaampana (Harms ym. 1997), viivyyttää sisäänhengityselinten metaborefleksin, ilmenemistä (Bailey ym. 2010) sekä parantaa urheilijoiden suorituskykyä (Karsten ym. 2018). Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun aiheuttamat harjoitusvasteet kestävyysuorituskyvyssä ja sisäänhengityselinten voimantuotossa riippuvat aina tutkimusjoukosta, harjoittelun toteutuksesta sekä useista muista tekijöistä, jolloin tutkimuksista saatuja tuloksia ei voida varauksetta soveltaa käytäntöön.

Lisäksi on olemassa tutkimustuloksia, jotka ovat ristiriidassa yllä mainittujen tulosten kanssa (Bell ym. 2013).

Vastustetusta hengitysharjoittelusta ei ole pelkästään hyötyä urheilijoille. Vastustettua hengitysharjoittelua voidaan käyttää useiden sairauksien hoidoissa. Lisäksi hengityslihasten voimantuotto laskee ikääntyessä (McConnell & Copestake 1999). Myös ylipaino johtaa useimmiten raskaampaan hengitykseen, jonka kuormittavuutta voidaan vähentää vastustetun hengitysharjoittelun avulla. Hengityslihasten vahvistaminen vähentää kuormituksesta johtuvaa hengenahdistusta (Romer ym. 2002a).

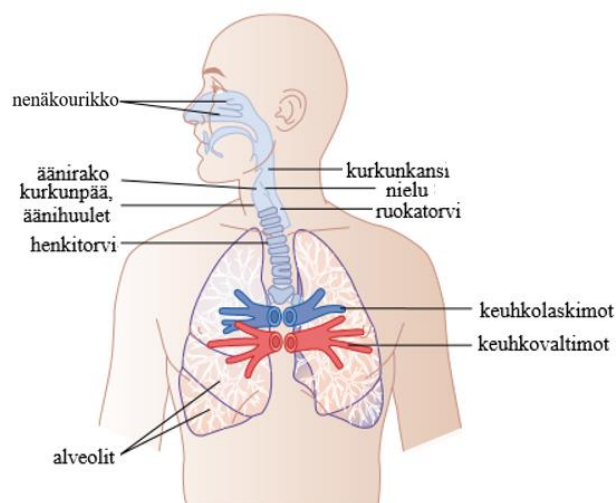
Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako vastustettu sisäänhengitysharjoittelu kestävyyskuntoilijoilla hengityslihasten voimantuottoon, kestävyys suorituskykyyn ja koettuun rasitukseen submaksimaalisessa polkupyöräergometrikuormituksessa sekä hengitysharjoittelussa. Lisäksi selvitettiin maksimaalisen polkupyöräergometritestin vaikutusta hengityslihasten akuuttiin voimantuottoon.

2 KEUHKOJEN TOIMINTA JA HENGITYS

Hengityksen päätarkoitus on kuljettaa happea kudoksille ja poistaa hiilidioksidia kudoksista. Hengitys koostuu neljästä pääkomponentista. Näitä ovat keuhkotuuletus, eli ilman kierrättäminen keuhkoissa, hapen ja hiilidioksidin diffuusio alveolien ja veren välillä, hapen ja hiilidioksidin kuljetus vereen sekä hapenkuljetus veren mukana kudoksiin. (Guyton & Hall 2011, 465.)

2.1 Hengityselimistön rakenne

Kuvassa 1 on esitettynä hengityselimistöä ja hengitysteitä. Ilma kulkee keuhkoihin suun ja nenän kautta henkitorvea pitkin, josta se kulkeutuu oikeaan ja vasempaan keuhkoputkeen ja edelleen ilmatiehyisiin ja sieltä alveoleihin eli keuhkorakkuloihin. (Guyton & Hall 2011, 465; McConnell 2013, 3) Alveolit ovat kerääntyneet rypälemäisesti yhteen, ja niitä ympäröi tiheä verisuonien verkko (McConnell 2013, 3).



KUVA 1. Hengitystiet ja hengityselimistö. Mukailtu kohteesta Guyton & Hall 2011, 472.

Oikea keuhko koostuu kolmesta lohkosta ja vasen keuhko kahdesta lohkosta, mikä antaa sydämelle tilaa vasemman keuhkon lohkojen välissä. Aikuisen keuhkot painavat 0.7-1.0 kg ruumiinavauksessa punnittuna, mutta elävässä elimistössä ne painavat luultavasti noin kaksi kertaa enemmän keuhkoverisuonien sisältämän veren vuoksi. Keuhkojen pinta-ala on noin 60 m², joka vastaa sulkapallon kaksinpelin kentän pinta-alaa. Pinta-alan muodostavat pääasiassa 300 miljoonaa alveolia, jotka vastaavat kaasujenvaihdosta. (McConnell 2013, 3.)

Ilmatiet haarautuvat 23 kertaa muodostaen puutyypin rakenteen. Haarautukset noudattavat epäsäännöllistä kahta jakavaa (dikotomista) rakennetta, jossa jokaisesta ilmatiestä haarautuu kaksi uutta ilmatietä. Rakenteen on epäsäännöllinen, koska haarautuvat ilmatiet eivät aina ole samankokoisia. (McConnell 2013, 3.)

Yksi tärkeimmistä ilmateiden tehtävistä on pitää hengitystiet auki ja mahdollistaa mahdollisimman helppo ilmanvirtaus keuhkoihin (Guyton & Hall 2011, 472). Jotta henkitorvi ei painu kasaan, ympäröivät sitä useat rustorenkaat. Keuhkoputken seinämissä on myös kaareutunutta rustoa, mutta se ei ole niin jäykkää, jotta keuhkot pystyvät helposti laajentumaan ja supistumaan. Mitä syvemmillä keuhkoputket kulkeutuvat, sitä vähemmän rustoa niissä on ja ilmatiehyissä rustoa ei ole enää ollenkaan. (Guyton & Hall 2011, 472, McConnell 2013, 3) Ilmatiehyiden läpimitta on vähemmän kuin 1,5 mm. Ilmatiehyitä aukinaisina pitää sama transpulmonaarinen paine, joka myös laajentaa alveoleja. Täten alveolien laajentuessa myös ilmatiehyet laajenevat, mutta eivät kuitenkaan yhtä paljon kuin alveolit. Kaikkialla henkitorvessa ja keuhkoputkessa missä ei ole rustoa, on sileää lihaskudosta. Myös ilmatiehyiden seinämät ovat pääasiassa sileää lihaskudosta lukuun ottamatta aivan ilmatiehyiden terminaalista päätä, jossa on pääosin keuhkojen epiteeliä ja sen alla olevaa sidekudosta sekä hieman sileää lihaskudosta. Useat keuhkotaudit johtuvat keuhkoputkin ja ilmatiehyiden ahtautumisesta, mikä puolestaan johtuu liiallisesta sileän lihaskudoksen supistumisesta. (Guyton & Hall 2011, 472.)

2.2 Keuhkoja ja hengitysteitä liikuttavat lihakset

Keuhkot laajenevat ja supistuvat kahdella eri tavalla. Pallean liikkua ylös alas, lyhenee ja pitenee rintaontelo vuorotellen. Rauhallisesti hengitettäessä tapahtuu hengitys lähes kokonaan pallean avulla. Sisäänhengitettäessä pallealihaksen vetäminen supistuessaan keuhkojen alapintoja alaspäin eli tällöin pallea toimii aktiivisesti. Uloshengitettäessä pallea relaksoituu ja keuhkojen, rintakehän sekä vatsan rakenteiden varastoima elastinen energia puristaa keuhkoja kasaan ja työntää ilmaa ulos keuhkoista. Raskaasti hengitettäessä eivät pallean supistumisen aikaansaamat elastiset voimat ole tarpeeksi suuria nopean uloshengityksen aikaan saamiseksi, joten lisävoimaa tuotetaan pääasiassa vatsalihasten supistumisen avulla. Vatsalihakset työntyvät pallean alaosaan vasten, mikä puristaa keuhkoja kasaan. (Guyton & Hall 2011, 465.)

Toinen tapa laajentaa keuhkoja on liikuttamalla kylkiluita. Niiden kohoaminen suurentaa rintaontelon anteroposteriorista läpimittaa. Lepoasennossa kylkiluut osoittavat alaspäin, jonka takia rintalasta on lähempänä selkärankaa. Rintakehän kohotessa kylkiluut osoittavat lähes suoraan eteenpäin, jolloin myös rintalasta liikkuu kauemmaksi selkärangasta, jolloin keuhkoilla on enemmän tilaa laajentua. Täten maksimaalisessa sisäänhengityksessä rintakehän anteroposteriorinen paksuus on noin 20 % suurempi kuin uloshengityksessä. Kaikkia lihaksia, jotka saavat aikaan rintakehän kohoamisen, kutsutaan sisäänhengityslihaksiksi. Tärkeimpiä sisäänhengityslihaksia ovat ulommat kylkivälilihakset, päännöykkääjälihas, etummainen sahalihhas ja kylkiluukannattajalihakset. Uloshengityslihaksia, jotka vaikuttavat rintakehää laskevasti, ovat suorat vatsalihakset ja sisemmät kylkivälilihakset. (Guyton & Hall 2011, 465.)

Ilman ylähengitysteiden lihaksia olisi hengittäminen haastavaa. Normaalin lepo hengityksen aikana äänihuulet loittonevat toisistaan laajentaen äänirakoa, mahdollistaen esteettömän ilman virtauksen kurkunpäässä (Brancatisano ym. 1984). Tämä tapahtuu takaisen kannusrustolihasen avulla (posterior cricoarytenoid muscle, PCA) avulla, joka aktivoituu refleksin avulla. Ilman tätä refleksiä äänihuulet tukkisivat ääniraon, joka lisäisi ylähengitysteiden ilmanvirtauksen vastusta ja tekisi hengittämisestä raskasta (Suzuki & Kirchner 1969). Raskaan hengityksen aikana myös rengas-kilpirustolihas (cricothyroid muscle) auttaa loitontamaan äänihuulia ja näin lisäämään kurkunpään anteroposteriorista läpimittaa (Hoh 2005). Äänihuulten adduktio tapahtuu pääasiassa PCA-lihasen rentoutuessa, mutta myös jotkin lihakset voivat sulkea äänirakoa aktiivisesti (Murakami & Kirchner 1972).

2.3 Keuhkojen hermotus

Keuhkoja hermotetaan vain autonomisten hermojen kautta, eikä tahdonalaisesti voida hallita ilmaita. Myöskään ilmaita ei hallita sympaattisten hermojen kautta. Sympaattinen hermotus on kyllä anatomisesti olemassa keuhkoissa, mutta se ei näyttäisi kontrolloivan millään tavalla sileää lihaskudosta. Sympaattinen vaikutus tulee ainoastaan veren mukana kiertävästä adrenaliinista, joka sitoutuu β_2 -reseptoreihin saaden aikaan keuhkoputkien laajentumisen. Parasymptaattinen kontrolli onkin suuressa roolissa keuhkojen toiminnassa. Se hermottaa myös keuhkojen verisuonia ja limarauhasia. Asetyylikoliinin vapautuminen saa sileän lihaskudoksen supistumaan johtaen keuhkoputkien supistumiseen. Keuhkoputkissa on jatkuva pieni jännitystila. Tämä jännitystila voidaan poistaa adrenaliinilla ja tästä syystä ilmaiten koko on suurempi hetken aikaa harjoittelun jälkeen terveillä ihmisillä. Parasymptaattisen hermoston

aktiivisuus paksuntaa keuhkojen eritteitä, kun taas sympaattinen aktiivisuus tekee niistä nestemäisempiä. Keuhkojen verisuonia säätelevät molemmat autonomisen hermoston osat, sympaattisen hermoston ollessa tärkeämpi vastatessaan verisuonten supistumisesta. (McConnell 2013, 6.)

3 HENGITYS SUORITUSKYKYÄ RAJOITTAVANA TEKIJÄNÄ

Aiemmin on ajateltu, että terveillä ihmisillä hengitys ei ole suorituskykyä rajoittava tekijä merenpinnantasolla. Tämä perustuu alkujaan siihen tietoon, että hengitys ei rajoita kaasujen vaihtoa keuhkoissa, mikä on totta. (McConnell 2013, xiv.) Tieto siitä, että hengitys on suorituskykyä ja sietokykyä rajoittava tekijä, on melko uusi asia, mutta sitä tukee kuitenkin vahva tieteellisesti todettu pohja. (McConnell 2013, 72.) Hengitysharjoittelulla voidaan pienentää tätä hengityksen aiheuttamaa rajoitusta suorituskyvyssä (Illi ym. 2012, Hartz ym. 2018, Karsten ym. 2018, Cavalcante Silva ym. 2019, Riganas ym. 2019).

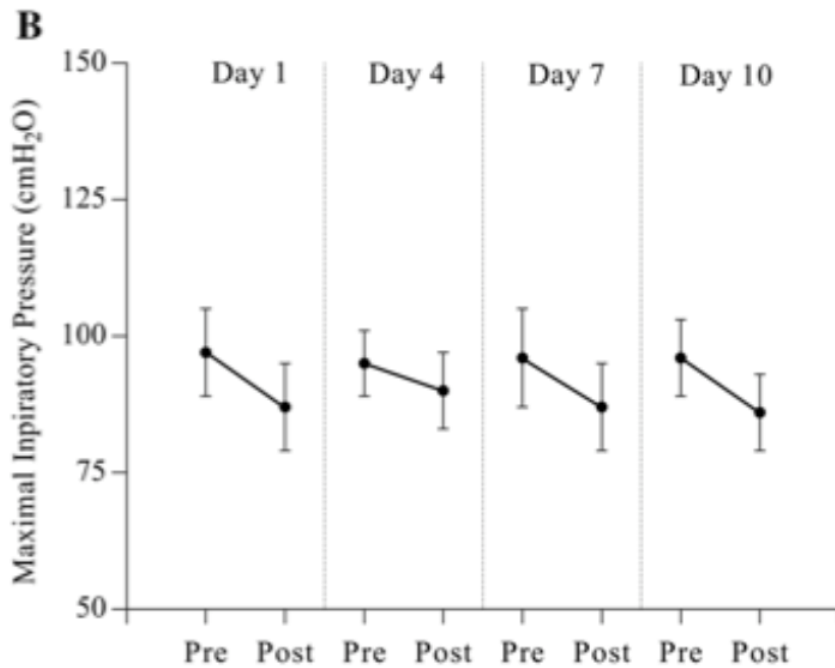
Mador ja Avedo (1991) sekä McConnell ja Lomax (2006) tutkimuksissa sisäänhengityslihaksia esiväsytettiin, jonka jälkeen tutkittiin esiväsytyksen vaikutusta suorituskykyyn. Mador ja Avedo (1991) tutkimuksessa sisäänhengityslihasten esiväsytyksellä vähensi 23 %:lla kykyä ylläpitää pyöräilyn tehoa 90 % maksimaalisesta hapenottokyvystä (VO_{2max}). Tutkittavien subjektiivisen tuntemuksen mukaan sisäänhengityslihasten väsytyksen (IMF, inspiratory muscle fatigue) jälkeen fyysinen kuormitus tuntui rasittavammalta. (Mador & Avedo 1991.) Samansuuntaisia tuloksia saivat McConnell ja Lomax (2006) tutkimuksessaan, kun plantaarifleksoreiden voimantuotto väheni sisäänhengityslihasten esiväsytyksen jälkeen nopeammin kuin ilman esiväsytystä. Tämän tutkimuksen perusteella on esitetty, että sisäänhengityslihasten väsymisellä on fyysistä suorituskykyä heikentävä vaikutus.

Samoin kuin sisäänhengityslihaksista on myös uloshengityslihaksista tehty tutkimuksia, joissa uloshengityslihaksia on esiväsytetty (EMF, expiratory muscle fatigue), jonka jälkeen on tutkittu esiväsytyksen vaikutusta fyysiseen suorituskykyyn. Taylor ja Romer (2008) tutkivat EMF:n vaikutusta suorituskykyyn pyöräilyssä. Uupumukseen asti suoritettun pyöräilyn aika väheni 33 %, kun sitä edelsi uloshengityslihasten esiväsytyksellä. Subjektiivisista mittareista hengityksen kuormittavuus ja jalkojen kuormittavuus lisääntyivät. Jalkojen väsymys oli myös suurempaa EMF:n jälkeen. Kuitenkin uloshengityslihasten esiväsytyksellä saatuja tuloksia tulee tarkastella varautuneesti, koska Taylor ja Romer (2009) osoittivat, että uloshengityslihasten kuormittaminen lisää sekä EMF:tä että IMF:tä. Täten voidaan ajatella, että suorituskyvyn heikkeneminen ei johdu ainoastaan EMF:stä (McConnell 2013, 73).

Sisään- ja uloshengityslihakset eivät väsy samoissa määrin. Sisäänhengityslihakset työskentelevät aina kovempaa kuin uloshengityslihakset rintakehän elastisuuden vuoksi. Kudosten venyminen sisäänhengityksessä auttaa uloshengityksessä. Hengityslihakset ovat myös eri tavalla harjoitettuja ja siksi väsyvät eri tavalla. Monet uloshengityslihakset työskentelevät myös ryhdin ylläpitäjinä, jolloin ne ovat voimakkaampia kuin sisäänhengityslihakset. Kolmas syy lihasten eri aikaiselle väsymiselle on, että erilaisissa fyysisissä kuormituksissa hengityslihakset työskentelevät eri tavalla. Esimerkiksi hiihdossa uloshengityslihakset kuormittuvat voimakkaasti selkärangan koukistuksessa samalla sisäänhengityslihasten kuormituksen jäädessä pienemmäksi. (McConnell 2013, 72.)

3.1 Fyysisen rasituksen vaikutus sisäänhengityslihasten voimantuottoon

Loke ym. (1982) raportoivat ensimmäisinä sisäänhengityslihasten väsymisestä fyysisen kuormituksen yhteydessä. He määrittelivät sisäänhengityslihasten väsymisen niin, että se oli tahdonalaisen voimantuoton vähenemistä fyysisen rasituksen seurauksena. Tämän indikaattorina toimi merkittävä MIP:n (Maximal inspiratory pressure, Maksimaalinen sisäänhengityksen paine) lasku (165.8 ± 11.0 vs. 138.5 ± 7.6 cmH₂O, $p < 0,01$). (Loke ym. 1982.) Myöhemmät tutkimukset ovat vahvistaneet tämän väitteen maratoneissa (Chevrolet ym. 1993), ultra-maratoneissa (Ker & Schultz 1996) ja triatloneissa (Hill ym. 1991). Näiden lisäksi IMF:stä on havaittu laboratorio- ja kenttämittauksissa soudussa (Volianitis ym. 2001, Griffiths & McConnell 2007), pyöräilyssä (Coast 1999, Romer ym. 2002c), uinnissa (Lomax & McConnell 2003), sprinttimatkalla triathlonissa (Sharpe ym. 1996, McConnell 2013, 72 mukaan) ja juoksumatto maratonilla (Ross ym. 2008). Kuitenkaan Tillerin ym. (2019) tutkimuksessa 10 peräkkäisenä päivänä juostut 10 maratonia eivät aiheuttaneet merkitsevää väsymystä sisäänhengityslihaksissa (KUVA 2.) Kaikki edellä mainitut tutkimuksissa mittasivat IMF:ää MIP:llä, joka edustaa kokonaisvaltaisesti sisäänhengityslihasten voimantuottoa.



KUVA 2. Maksimaalinen sisäänhengityksen paine vesisenttimetreinä päivinä 1, 4, 7 ja 10 juostujen maratonien ennen ja jälkeen. Pre = ennen maratonia, Post = maratonin jälkeen. Kopioitu kohteesta Tiller ym. 2019

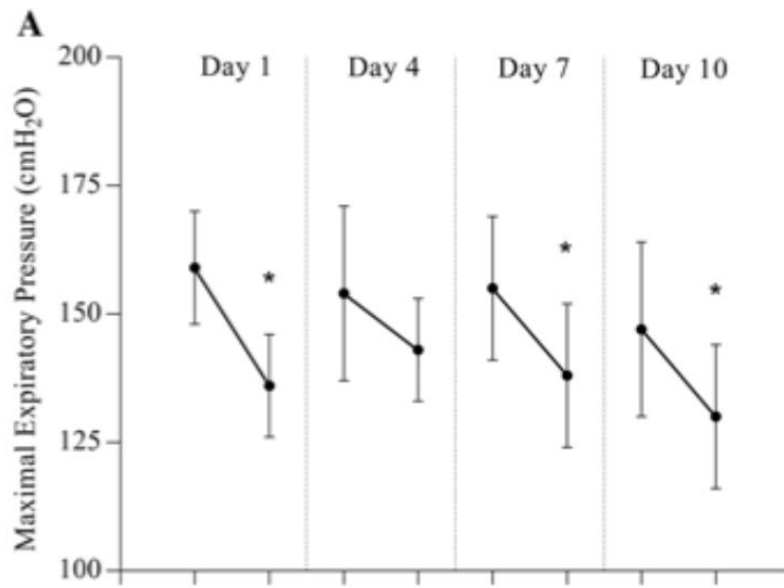
MIP kuvaa kokonaisvaltaisesti sisäänhengityslihasten voimantuottoa. MIP on noninvasiivinen, kenttäkäyttöön soveltuva, helppo ja nopea suorittaa, toistettava ja kokonaisvaltainen muuttuja. MIP:in heikkous on erilaisten suukappaleiden sopimattomuus eri kokoisille henkilöille. Toistaalta myös MIP-testin ollessa monelle melko tuntematon on oppimisen rooli testiä suoritettaessa suuri. MIP on aina riippuvainen tutkittavan yrityksestä. Toisin sanoen, fyysisen rasituksen jälkeen MIP voi olla pienempi tutkittavan pienemmästä yrityksestä johtuen eikä niinkään fysiologisista tekijöistä johtuen. Fyysisen rasituksen jälkeen on kuitenkin mitattu väsymistä pallean supistumiskyvyssä, kun palleahermo on stimuloitu sähköön tai magneettikentän avulla (Johnson ym. 1993, Mador ym. 1993, Babcock ym. 1998). Heikentynyt pallean supistumiskyky kertoo väsymyksestä perifeerisellä tasolla. Tällöin lihaksen voimantuoton väheneminen ei johdu pelkästään tutkittavan pienentyneestä yrityksestä.

3.2 Uloshengityslihasten väsyminen fyysisen rasituksen seurauksena

Uloshengityslihasten väsymistä on tutkittu vähemmän ja tulokset tutkimuksista ovat ristiriitaisia. Tutkimuksissa, joissa MIP laski, MEP ei laskenut maratonin seurauksena (Chevrolet ym. 1993, Ross ym. 2008), triathlonin seurauksena (Hill ym. 1991) tai

maksimaalisen polkupyöraergometritestin seurauksena (Coastin ym. 1999). Kuitenkin soudussa (Griffiths & McConnell 2007) MEP laski MIP laskun myötä. Taylor ym. (2006) ja Verges ym. (2006) huomasivat tutkimuksissaan kovaintensiteettisen uupumukseen asti tehtävän polkupyöraergometritestin vähentävän vatsalihasten voimantuottoa, kun niitä stimuloitiin magneettikentän avulla. Näyttääkin siltä, että uloshengityslihasten väsyminen on riippuvainen fyysisen rasituksen laadusta ja/tai tehosta. EMF:stä esiintyy luultavimmin tilanteissa, joissa intensiteetti on maksimaalinen ja/tai tilanteissa, joissa uloshengityslihakset ovat avainasemassa voimanvälittämisessä kuten soudussa. (McConnell 2013, 73.)

Tiller ym. (2019) raportoivat aiemmista tutkimuksista eroavia tuloksia. Heidän tutkimuksessaan 10 peräkkäisenä päivänä juostut 10 maratonia aiheuttivat akuutisti väsymystä uloshengityslihaksissa, vaikka ne eivät aiheuttaneet väsymystä sisäänhengityslihaksissa. Juoksijoiden keskiaika kaikille 10 maratonille oli 276 ± 35 min. Päivinä 1, 7 ja 10 MEP oli huomattavasti alempi maratonin jälkeen kuin ennen maratonia (KUVA 3.). Maratonit eivät kuitenkaan aiheuttaneet kroonista väsymystä uloshengityslihaksissa, sillä ne olivat aina palautuneet maratonia edeltävälle tasolle seuraavana päivänä. (Tiller ym. 2019.) Erot aikaisempiin tutkimuksiin saattavat johtua siitä, että Tiller ym. (2019) tutkimuksen juoksijat olivat harraste-juoksijoita, jolloin heillä suoritusta voivat todennäköisemmin rajoittaa muut tekijät enemmän kuin sisäänhengityslihasten väsyminen. Uloshengityslihakset toimivat myös ryhtiä ylläpitävinä lihaksina, jolloin niiden väsyminen saattaa olla suurempaa juoksutekniikan ollessa heikko.



KUVA 3. Maksimaalinen uloshengityksen paine vesisenttimetreinä päivinä 1, 4, 7 ja 10 juostujen maratonien ennen ja jälkeen. Pre = ennen maratonia, Post = maratonin jälkeen. * = $p < 0.05$ verrattuna mittausjaksoa edeltävään mittaukseen. Kopioitu kohteesta Tiller ym. (2019).

4 VASTUSHENGITYSHARJOITTELU

4.1 Vastushengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset hengityslihasten koossa

Enright ym. (2006) 8-viikon ja Downey ym. (2007) 4-viikon tutkimuksissa supistuneen pallean paksuus kasvoi n. 12 % 4 - 8 viikon harjoittelujakson aikana, kun sitä mitattiin ultraäänellä. Pallean paksuuntuessa myös MIP kasvoi 24 % 4 viikon aikana ja 41 % 8 viikon aikana. Pallea ei ollut merkitsevästi paksumpi Enright ym. (2006) tutkimuksessa 8-viikon harjoittelun jälkeen kuin Downey ym. (2007) tutkimuksessa 4-viikon jälkeen, vaikka MIP olikin huomattavasti isompi 8-viikon tutkimuksessa. Täten MIP:n suurentuminen ei johdu pelkästään pallean hypertrofiasta vaan myös neuraalisista tekijöistä palleassa sekä avustavien lihaksien voimantuottokyvyn paranemisesta. (McConnell 2013, 98.)

4.2 Vastushengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset hengityslihasten voimantuotossa

Niin kuin kaikissa harjoittelun muodoissa, voidaan myös vastushengitysharjoittelussa käyttää erilaisia kuormia erilaisten harjoitusvasteiden aikaansaamiseksi. Kun IMT:ssa käytetään kohtalaisia kuormia (n. 60 % MIP:sta), sisäänhengityslihakset voivat supistua nopeasti. Tällöin harjoittelulla saadaan aikaan sisäänhengityslihasten tehontuoton paranemista ja sisäänhengityksen maksimivirtauksen (PIF, peak inspiratory flow) kasvua (Tzelepis ym. 1994, Tzelepis ym. 1999, Romer & McConnell 2003). Kohtalaisia kuormia pystytään ylläpitämään noin 30 hengityksen ajan ja niillä on saatu myös merkittäviä parannuksia hengityslihasten kestävyudessa terveillä ihmisillä (Caine & McConnell 1998, McConnell 2013, 100 mukaan).

Lähes kaikki tutkimukset ovat osoittaneet, että IMT:lla saadaan aikaan sisäänhengityslihasten voimantuoton kasvua. Riganas ym. (2019) tutkimuksessa 6 viikon harjoittelu, 30 min päivässä, 5 kertaa viikossa johti sisäänhengityslihasten voimantuoton kasvuun. Yksi harjoitus koostui kuudesta 4 minuutin sarjasta, joiden välissä oli minuutin palautus. Hengitysfrekvenssin tutkittavat saivat määrittää itse. Harjoittelu aloitettiin 30 % MIP:sta ja vastusta lisättiin joka harjoituksen jälkeen 5 %, kunnes se oli melkein 80 % MIP:sta toisen harjoitusviikon lopulla. Harjoittelua jatkettiin 80 % MIP:sta seuraavien neljän viikon ajan ja vastus tarkistettiin viikoittain vastaamaan sen hetkistä MIP:ta. IMT paransi MIP:ta miehillä (135 ± 31 cmH₂O vs. 180 ± 22 cmH₂O) ja naisilla (93 ± 19 cmH₂O vs. 142 ± 22 cmH₂O) ($p < 0.05$). Karsten ym.

(2018) meta-analyysissä, jossa oli mukana 25 tutkimusta, IMT paransi MIP:ta merkitsevästi ($p < 0,001$), mutta ei MEP:ta. Myös McConnell ja Sharpe (2005), Brown ym. (2012), Bell ym. (2013), Faghyn ja Brownin (2016) ja Hartzin ym. (2018) tutkimuksissa IMT paransi merkitsevästi MIP:ta. Cavalcante Silvan ym. (2019) tutkimuksessa jo kahden viikon IMT paransi MIP:a merkitsevästi ($p < 0,001$).

Samanaikaisen sisään- ja uloshengitysharjoittelun vaikutukset eivät näyttäisi olevan yhtä hyviä kuin erikseen suoritettuina. Wells ym. (2005) tutkimuksessa samanaikainen sisään- ja uloshengitysharjoittelu ei muuttanut merkitsevästi MIP:ta tai MEP:ta nuorilla uimareilla, vaikka harjoittelussa käytettiin raskasta progressiivista ohjelmointia 12 viikon ajan. Griffiths ja Griffiths ja McConnell (2007) tutkimuksessakin löydettiin korkeintaan kohtalaisia muutoksia MIP:ssa ja MEP:ssa, kun harjoiteltiin samanaikaisesti molempia hengityssuuntia 6 viikon ajan. Tutkittavat raportoivat että, molempien hengitysten suorittaminen peräkkäin tuntui epämiellyttävältä ja oli mahdotonta suorittaa molemmat hengitykset maksimaalisesti. Tämä voi johtua siitä, että sisäänhengityslihakset työskentelevät myös maksimaalisessa uloshengityksessä. Kuitenkin Watsford ja Murphy (2008) tekemässä tutkimuksessa iäkkäät terveet naishenkilöt paransivat MIP:ta 22 % ja MEP:ta 30 % 8 viikon yhdistetyn vastustetun hengitysharjoittelunaikana. Tämä ero voisi johtua siitä, että iäkkäiden ihmisten hengityslihasten voimantuotto on heikompaa, kuin harjoitelleilla uimareilla tai soutajilla. Heidän potentiaalinsa kasvattaa hengityslihasten voimantuottoa on tällöin suurempi. Tästä johtuen iäkkäillä jo pienempi ärsyke riittää kasvattamaan hengityslihasten voimantuottoa.

Tutkimusten perusteella hengityslihakset reagoivat harjoitteluun samalla tavalla kuin muutkin luurankolihakset. Myös niiden anatomiset ja toiminnalliset adaptaatiot ovat riippuvaisia harjoituksen laadusta. Riippuen harjoittelun laadusta voidaan hengitysharjoittelulla lisätä hengityslihasten voimantuottoa, supistumisnopeutta, tehontuottoa ja kestävyyttä. (McConnell 2013, 102.) Harjoitukset, joissa vastus on kohtalainen (50 - 60 %) ja sarja tehdään sietokykyyn asti (noin 30 toistoa), ovat tuottaneet suurimmat toiminnalliset adaptaatiot (Romer & McConnell 2003).

5 VASTUSTETUN SISÄÄNHENGITYSHARJOITTELUN VAIKUTUKSET TERVEIDEN IHMISTEN SUORITUSKYKYYN JA FYSIOLOGISIIN MUUTTUJIIN

5.1 Vastustetun sisä hengitysharjoittelun vaikutus urheilijoiden suorituskykyyn

IMT:lla voidaan saada tilastollisesti merkittäviä tuloksia kestävyys suorituskyvyssä, oli sitten kyse kestävyystyypisestä tai voimatyypisestä sisä hengitysharjoittelusta, mutta EMT:lla ei (McConnell 2013, 103). Illi ym. (2012) meta-analyysin mukaan tutkimuksissa IMT:lla on saatu 1,7 – 4,6 % (1 - 60 minuuttia kestävässä testeissä) parannuksia aikaa vastaan tehtävissä testeissä, kun taas uupumukseen asti tehtävissä testeissä on saatu yli 30 % parannuksia (yli 30 minuuttia kestävässä testeissä). Lyhyemmissä kovaintensiteettisissä testeissä parannukset ovat pienempiä (n. 4 % testissä, joka kesti alle 4 min). (Illi ym. 2012.)

Karsten ym. (2018) systemaattisessa katsauksessa ja meta-analyysissä analysoitiin 25 tutkimusta, joissa urheilijat tekivät IMT:a. Heidän mukaansa IMT paransi urheilijoiden suorituskykyä tilastollisesti merkitsevästi ($p < 0,001$). Eniten IMT:sta hyötyivät kestävyysurheilijat, sen jälkeen intervallityyppisten lajien urheilijat ja pienin hyöty IMT:sta oli vedessä suoritettavissa lajeissa. Pieni hyöty IMT:sta vedessä suoritettavien lajien harrastajille saattaisi johtua siitä, että vedessä ollessaan he joutuvat tekemään hengityslihaksilla työtä veden hydrostaattista painetta vastaan, jolloin heidän sisä hengityslihaksensa ovat jo ennen vastustettua sisä hengitysharjoittelua kohtalaisen voimakkaita. Uudessa saatetaan käyttää myös joitain hengityslihaksia vartalon asennon stabilisointiin vedessä, jolloin niitä ei voida hyödyntää hengityksessä. Meta-analyysissä mukana olleiden tutkimusten mukaan IMT:sta on hyötyä kestävyysurheilussa (juoksu, pyöräily, soutu) ja intervallityyppisissä lajeissa (jalkapallo, tennis, koripallo, rugby), kun taas vedessä suoritettavassa urheilussa IMT:sta ei näyttäisi olevan hyötyä. (Karsten ym. 2018.)

Riganas ym. (2019) tutkivat IMT:n vaikutusta valtimoveren happisaturaatioon kovaintensiteettisen harjoituksen jälkeen, sisä hengityslihasten voimantuottoon, maksimaaliseen hapenottokykyyn, keuhkojen toimintakokeen eli spirometrian muuttujiin ja soudun suorituskykyyn. Tutkittavat ($n = 36$, miehiä 20) olivat nuoria hyvin harjoitelleita soutajia. Tutkittavat jaettiin IMT- ja kontrolliryhmiin ja edelleen sukupuolen mukaisesti omiin ryhmiinsä. Tutkittavat harjoittelivat 30 min päivässä, 5 kertaa viikossa, 6 viikon ajan. Yksi

harjoitus koostui kuudesta 4 minuutin sarjasta, joiden välissä oli minuutin palautus. Hengitysfrekvenssin tutkittavat saivat määrittää itse. Harjoittelu aloitettiin 30 % MIP:sta ja vastusta lisättiin joka harjoituksen jälkeen 5 % kunnes se oli melkein 80 % MIP:sta toisen harjoitusviikon lopulla. Harjoittelua jatkettiin 80 % MIP:sta seuraavien neljän viikon ajan ja vastus tarkistettiin viikoittain vastaamaan sen hetkistä MIP:ta. IMT paransi sisäänhengityselimien voimantuottoa miehillä ja naisilla. Vain naisilla valtimoveren happisaturaatio laski vähemmän IMT:n seurauksena. Naisten IMT-ryhmä paransi 2000 m aikaansa (487 ± 32 s vs. 461 ± 34 s) ja 5 minuutin testin matkaa (1285 ± 28 m vs. 1310 ± 36 m) ($p < 0.05$). Miehillä IMT paransi vain 5 minuutin testin matkaa (1651 ± 31 m vs. 1746 ± 37 m, $p < 0.05$). Lisäksi IMT lisäsi naisilla maksimiventilaatiota rasituksessa ja vähensi hengityksen raskauden tunnetta ($p < 0,05$). Keuhkojen tilavuus, ilmanvirtaus keuhkoputkissa tai VO_{2max} eivät muuttuneet harjoittelun seurauksena. Täten IMT voi olla hyvä väline lisäämään sisäänhengityselimien voimantuottoa ja suorituskykyä soudussa rasisuhypoksemiaa kokevilla soutajilla, erityisesti naisilla.

Faghy ja Brown (2016) tutkimuksessa tutkittiin IMT:n vaikutusta 2,4 km juoksuun 25 kg rinka selässä. Tutkittavat ($n = 19$, 26 ± 9 vuotta) jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen käytti vastuksena 50 % MIP:sta ja toinen ryhmä toimi kontrolliryhmänä. Harjoitusinterventio kesti 6 viikkoa, joiden aikana harjoiteltiin kaksi kertaa päivässä 6 päivänä viikossa 30 hengitystä kerralla. Hengitykset tuli suorittaa aloittaen jäännöstilavuudesta aina täysiin keuhkoihin asti. IMT alensi sykettä ja vähensi kuormittuneisuuden tunnetta IMT-ryhmässä ($p < 0,05$). IMT-ryhmä paransi juokсутestin aikaa 8 ± 4 % ($p < 0,05$). (Faghy & Brown 2016.)

Cavalcante Silva ym. (2019) tutkivat IMT:n vaikutusta toistettavaan sprinttikykyyhin (RSA = repeated sprint ability), rasituksen sietokykyyn, MIP:n ja PIF:n nuorilla (18 ± 1 vuotta) ammattilaisjalkapalloilijoilla ($n = 20$). Harjoittelua tehtiin kahden viikon ajan, joista ensimmäisellä tehtiin 15 vastustettua hengitystä 50 % MIP:sta ja toisella viikolla 30. Vastustetut hengitykset suoritettiin kerran päivässä 6 kertaa viikossa aina ennen jalkapalloharjoituksia. Sekä RSA ($p < 0,001$), MIP että PIF ($p < 0,0002$) paranivat merkitsevästi kahden viikon harjoittelujakson jälkeen. (Cavalcante Silva ym. 2019.) Matte ym. (2019) mukaan Cavalcante Silva ym. (2019) tutkimuksen tuloksiin täytyy kuitenkin suhtautua varautuneesti, koska tutkimuksessa ei ollut kontrolliryhmää. Parantuneet tulokset voivat täten johtua pelaajien oppimisesta sekä RSA-, MIP- että PIF-testeissä ja voivat olla osaltaan muun kuin IMT:n tuomaa parannusta. (Matte ym. 2019.)

Hartz ym. (2018) tutkimuksessa tutkittiin 12 viikon IMT:n vaikutusta nuorien käsipalloilijoiden ($n = 19$, 20 ± 3 vuotta) aerobiseen suorituskykyyn ja hengityselinten voimantuottoon. Tutkittavat jaettiin koe- ja kontrolliryhmiin. Koeryhmän VO_{2max} , MVV, hapenotto anaerobisella kynnyksellä ja anaerobisenkynnyksen juoksuvauhti olivat kehittyneet suhteessa kontrolliryhmään merkitsevästi. (Hartz ym. 2018.)

On olemassa myös tutkimuksia, joissa vastustettu sisäänhengitysharjoittelu ei parantanut suorituskykyä. Bell ym. (2013) tutkivat 9 viikon yhdistetyn hengitys-, voima- ja kestävyysharjoittelun vaikutuksia soudun suorituskykyyn. Tutkittavat ($n = 27$) jaettiin sattumanvaraisesti IMT- tai EMT-ryhmiin. Molemmat RMT-ryhmät suorittivat 3x10 hengitystä 6 päivänä viikossa. Lisäksi he harjoittelivat voimaa 3 kertaa viikossa ja kestävyyttä 3 kertaa viikossa. Molemmat ryhmät paransivat samoissa määrin 2000 m soutuajaa, voimaa ja MIP:ta sekä MEP:ta ($p < 0,05$). IMT- ja EMT-ryhmän tulokset eivät eronneet toisistaan merkitsevästi millään osa-alueella. Tutkijoiden mukaan RMT:lla ei saada parannusta aikaiseksi 2000 m soutuajassa, kun muuten harjoitellaan voimaa ja kestävyyttä kokonaisvaltaisesti. (Bell ym. 2013.)

5.2 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus kuntoilijoiden suorituskykyyn

Rodrigues ym. (2018) tutkimuksessa tutkittiin IMT:n vaikutusta fyysiseen suorituskykyyn ja sydämen autonomiseen säätelyyn iäkkäillä naisilla (64 ± 3 vuotta). Tutkittavat ($n = 20$) jaettiin kahteen ryhmään, joista toinen harjoitteli 50 % MIP:sta ja toinen 5 % MIP:sta (kontrolli). Harjoittelua suoritettiin kaksi kertaa päivässä viitenä päivänä viikossa. Jokaisella kerralla tehtiin 30 hengitystä. Tutkittavat tulivat viikon välein laboratorioon vastuksen säätöön, jotta se vastaisi 50 % MIP:sta. Intervention jälkeen MIP oli parantunut merkitsevästi IMT-ryhmässä ($p < 0,01$), mutta ei kontrolliryhmässä. Sydämen autonomisen hermoston säätelyä mitattiin sykevälivaihtelun avulla. Sykevälivaihtelun korkeataajuuksinen teho lisääntyi merkitsevästi ($p < 0,01$) jo kahden viikon harjoittelun jälkeen. Fyysistä suorituskykyä mitattiin 6-minuutin kävelytestin avulla (6MWT). Testin tulos parani merkitsevästi ($p = 0,04$) ja syke palautui nopeammin (HRR = heart rate recovery) kävelytestin jälkeen post-mittauksissa IMT-ryhmällä ($p = 0,02$). (Rodrigues ym. 2018.) Illi ym. (2012) meta-analyysin mukaan näyttäisi siltä, että vastustetusta hengitysharjoittelusta korkeimman hyödyn saisivat kuntoilijat, koska heillä on eniten potentiaalia parantaa suorituskykyään.

5.3 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus maksimaaliseen hapenottokykyyn

McConnell (2013) mukaan IMT ei näyttäisi parantavan maksimaalista hapenottokykyä eikä anaerobista kynnystä. Normaalityypisessä hengitys ei rajoita hapen diffuusiota kuormituksessa, täten ei ole myöskään oletettavaa, että maksimaalinen hapenottokyky parantuisi vastushengitysharjoittelun avulla. (McConnell 2013, 103.)

Uusimmat tutkimukset tukevat McConnell (2013) havaintoa IMT:n kyvyttömyydestä parantaa maksimaalista hapenottokykyä. Riganas ym. (2019) tutkimuksessa 6 viikon IMT harjoittelulla ei ollut vaikutusta maksimihapenottokykyyn miehillä eikä naisilla. Karstenin ym. (2018) meta-analyysissä maksimaalista hapenottokykyä tarkasteltiin kuudessa eri tutkimuksessa. IMT:n seurauksena VO_{2max} ei parantunut merkittävästi tutkimuksissa. (Karsten ym. 2018.)

Poikkeuksen muihin tutkimuksiin tekee Hartz ym. (2018) tutkimus käsipallonpelaajilla. Tutkimuksessa tutkittiin 12 viikon IMT:n vaikutusta nuorien käsipalloilijoiden ($n = 19, 20 \pm 3$ vuotta) aerobiseen suorituskykyyn ja hengityselinten voimantuottoon. Tutkimuksessa maksimaalinen hapenotto kasvoi IMT-ryhmällä (alku 54 ± 8 ml/kg/min, loppu 60 ± 7 ml/kg/min). Myös hapenotto anaerobisella kynnyksellä oli suurempaa IMT-ryhmällä (alku 46 ± 6 , loppu 50 ± 5 ml/kg/min). (Hartz ym. 2018.)

5.4 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus keuhkojen tilavuuteen ja ilman virtaukseen keuhkoputkissa levossa

Karsten ym. (2018) meta-analyysin mukaan IMT ei paranna urheilijoiden FVC:tä (Forced vital capacity, Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen maksimaalisesti uloshengitetyn ilman tilavuus), MVV:tä (Maximal voluntary ventilation, Maksimaalinen tahdonalainen ventilaatio) eikä FEV1:tä (Forced expiratory volume in 1 sec, Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeinen ensimmäisen sekunnin aikana uloshengitetyn ilman tilavuus). Karstenin ym. (2018) tutkimuksen päätelmiä tukee Riganas ym. (2019) tutkimus, jossa 6 viikon IMT:lla ei ollut vaikutusta spirometriamuuttujiin miehillä eikä naisilla. Spirometriamuuttujat eivät näyttäisi parantuvan myöskään EMT:n seurauksena (Bell ym. 2013). Bell ym. (2013) tutkimuksessa spirometriamuuttujat eivät muuttuneet 9 viikon IMT:n tai EMT:n seurauksena soutajilla. Tutkimusnäytön valossa näyttäisi siltä, että IMT:lla ei ole vaikutusta keuhkojen tilavuudesta kertoviin mittareihin. Keuhkojen tilavuutta tarkasteltaessa on kyse osittain rintakehän laajenemisesta, jolloin sisään- tai uloshengityselinten liikkuvuusharjoittelusta voisi olla

enemmän hyötyä kuin voimaharjoittelusta. Samalla tavalla kuin muussakin liikkuvuus harjoittelussa, lihaksia venytettäisiin viiden maksimilihaspituuksilla. Tämä voisi tapahtua vetämällä keuhkot täyteen ja yrittäen aktiivisesti lisätä sisään virtaavan ilman määrää käskyttämällä sisäänhengityslihaksia supistumaan.

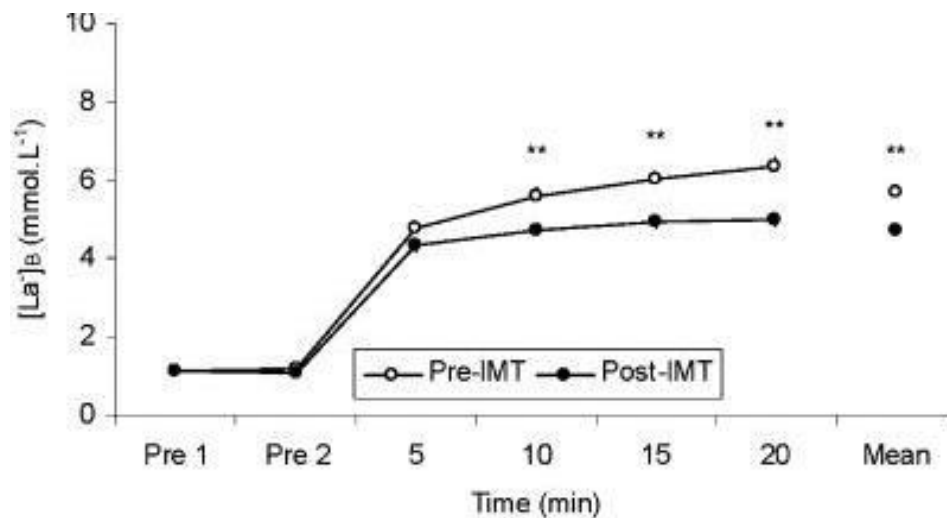
Kuitenkin Padkao ja Boonla (2020) tutkimuksessa rintakehän laajenimiskyky oli yhteydessä merkittävästi hengityslihasten voimantuottokykyyn. Tulos voisi selittyä sillä, että nuorempien henkilöiden rintakehän rusto on elastisempaa, jolloin heidän rintakehänsä laajenee enemmän. Iän on puolestaan todettu negatiivisesti korreloivan hengityslihasten voimantuoton kanssa.

On myös olemassa tutkimuksia, joissa IMT:n johdosta keuhkojen toiminnasta kertovissa muuttujissa tapahtui positiivisia muutoksia. Hartz ym. (2018) tutkimuksessa kuitenkin 12 viikon IMT lisäsi nuorien (n = 19, 20 ± 3 vuotta) käsipalloilijoiden maksimiventilaatiota (alku 162 ± 24 l, loppu 173 ± 30 l). Lisäksi Romer ym. (2002c) tutkimuksessa 6 viikon IMT paransi palloilijoiden PIF:iä (20.3 ± 2.3 %). Voimakkaammilla ja nopeammin supistuvilla lihaksilla saadaan muodostettua enemmän painetta, jolloin paine-ero keuhkojen ja kehon ulkopuolisen välillä kasvaa. Paine-ero pyrkii tasoittumaan mahdollisimman nopeasti, jolloin ilman virtaus kasvaa. Tämän pitäisi näkyä positiivisena muutoksena MVV:ssä, FIV1:ssä ja PIF:ssä.

5.5 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun veren laktaattipitoisuuteen

Brown ym. (2012) tutkivat IMT vaikutusta veren laktaattipitoisuuteen hieman anaerobisen kynnyksen alapuolella, tasossa, jossa laktaattipitoisuus on saavuttanut maksimaalisen tasapainotilan. (Maximal lactate steady state = MLSS.) Tutkimuksessa tutkittavat lisäsivät pyöräillessään tahdonalaisesti ventilaatiotaan tasolle, joka vastasi 90 % maksimiventilaatiosta rasiuksessa. Ennen interventiota veren laktaattipitoisuus lisääntyi lisääntyneen hengityslihasten tekemän työn johdosta 1.0 ± 0.6 mmol/l (+27 %) (p < 0.05) pyöräilyn aikana. IMT:n jälkeen ventilaation aiheuttamaan veren laktaattipitoisuuden nousua ei ollut havaittavissa (p < 0.05). Brown ym. (2012) oletivat muutoksen johtuvan sisäänhengityslihasten voimantuoton lisääntymisestä, jolloin niiden suhteellinen työskentelyteho oli pienempi intervention jälkeen. Samoin IMT on luultavasti aiheuttanut parannuksia hengityslihasten oksidatiivisessa kapasiteetissa ja kyvyssä kuljettaa laktaattia.

McConnell ja Sharp (2005) tutkimuksessa 6 viikon IMT vähensi veren laktaattipitoisuutta merkitsevästi MLSS:ssä (-1.17 ± 1.01 mmol/l) progressiivisessa pyöräilytestissä. MLSS:ssä saavutettu pyöräilyn teho ei kuitenkaan lisääntynyt IMT:n myötä, eikä anaerobinen kynnys siirtynyt. Griffiths ja McConnell (2007) tutkimuksen tulokset viittaisivat siihen, että IMT voisi vähentää veren laktaattipitoisuutta myös maksimaalisissa suorituksissa. Romer ym. (2002c) toistettavan sprinttikyvyn testissä veren laktaattipitoisuus oli myös vähäisempää IMT jälkeen eri palloilulajien urheilijoilla (KUVA 4).



KUVA 4. Muutokset veren laktaattipitoisuudessa ennen (Pre-IMT) ja jälkeen (Post-IMT) vastustetun sisä hengitysharjoittelun toistettavan sprinttikyvyn testissä. Time = aika minuutteina, $[La]B$ mmol.L⁻¹ = veren laktaattipitoisuus mmol/l, Mean = veren laktaattipitoisuuden keskiarvo, ** = $p \leq 0,01$. Kopioitu kohteesta Romer ym. 2002c

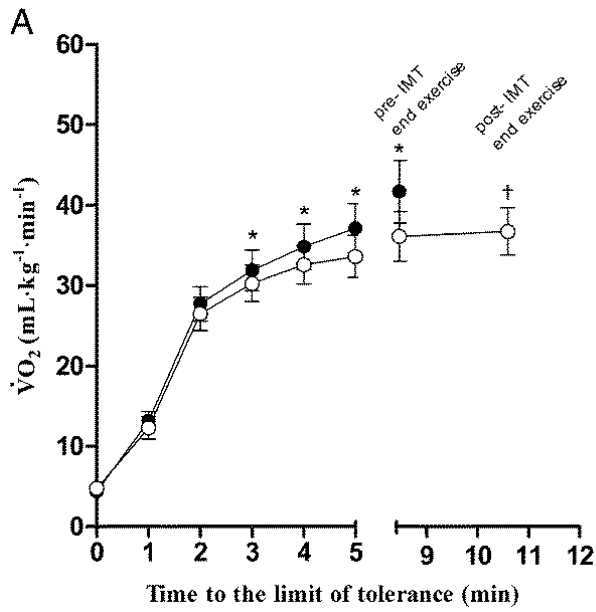
Vähentynyt veren laktaattipitoisuus IMT:n jälkeen voisi johtua myös siitä, että työskentelevien raajojen verisuonten vasokonstriktio on pienempää. Sisä hengitysharjoittelun metaborefleksin myöhästymisestä/pienentymisestä johtuen, jolloin työskentelevissä lihaksissa virtaa enemmän verta. Näin lihakset saavat enemmän happea, metaboliittien poisto on tehokkaampaa ja laktaatin tuotto on pienempää. Vaikka IMT vähentää veren laktaattipitoisuutta, sen ei ole todettu siirtävän anaerobista kynnystä. Näyttää siltä, että IMT vähentää laktaatin määrää, mutta ei muuta sitä intensiteettiä, jolla laktaatin tuotto ylittää merkitsevästi sen poiston. (McConnell 2013, 103.)

5.6 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus hengityksen taloudellisuuteen

Korkeaintensiteettisen pitkäkestoisen fyysisen rasituksen on todettu vähentävän sisäänhengityslihasten voimantuottoa (Loke ym. 1982, Hill ym. 1991, Chevrolet ym. 1993, Johnson ym. 1993, Mador ym. 1993, Babcock ym. 1998, Coast 1999, Ker & Schultz 1996, Volianitis ym. 2001, Romer ym. 2002b, Lomax & McConnell 2003, Griffiths & McConnell 2007, Ross ym. 2008). Sisäänhengityslihasten voimantuottoa voidaan harjoittaa vastustetulla sisäänhengitysharjoittelulla (Tzelepis ym. 1994, Tzelepis ym. 1999, Romer ym. 2002c, Romer & McConnell 2003, McConnell & Sharpe 2005, Enright ym. 2006, Downey ym. 2007, Watsford & Murphy 2008, Brown ym. 2012, Faghy & Brown 2016, Hartz ym. 2018, Karsten ym. 2018, Cavalcante Silva ym. 2019, Riganas ym. 2019 ja Antonelli ym. 2020).

Turner ym. (2012) mukaan sisäänhengityslihasten väsymisen viivästyessä, hengityksen koettu rasittavuus säilyy matalampana pidempään, jolloin voidaan säilyttää taloudellisempi, syvempi ja hitaampi hengitysrytmi. Heidän tutkimuksessaan 6 viikon IMT (30 toistoa 50 % MIP:sta) vähensi hyperventilaation hapenkulutusta 5 - 12 %. Suurin hapenkulutuksen väheneminen havaittiin, kun hengityslihasten tekemä työ oli suurimmillaan. Tämä voisi johtaa siihen, että muilla lihaksilla on enemmän happea käytettävissä rasituksessa ja suorituskyky paranee. (Turner ym. 2012.)

Turner ym. (2011) aikaisemmin tekemässä tutkimuksessa 6 viikon IMT vähensi astmaatikoiden hapenkulutusta ($p < 0,05$) uupumukseen asti tehdyssä testissä, mutta silti heidän suorituskykynsä parani (22 %, $p < 0,05$) (KUVA 5.). Myös hiilidioksidin tuotto oli pienempää IMT-ryhmällä intervention jälkeen ($p < 0,05$).



KUVA 5. Uupumukseen asti suoritettua polkupyöräergometristin hapenkulutus ennen ja jälkeen IMT intervention. Mustat ympyrät kuvaavat hapenkulutusta ennen harjoittelua ja valkoiset harjoittelun jälkeen. $\dot{V}O_2$ = hapenkulutus (ml/kg/min), Time to the limit of tolerance (min) = aika uupumukseen, * = tilastollisesti merkitsevä ero alkutilanteeseen ($p < 0,05$), † tilastollisesti merkitsevä ero alkumittauksen viimeiseen arvoon ($p < 0,05$).

6 FYSIOLOGISET TEKIJÄT SUORITUSKYVYN PARANEMISEN TAUSTALLA SISÄÄNHENGITYSHARJOITUKSEN SEURAUKSENA

Suorituskyvyn paranemisen, vastustetun sisäähengitysharjoittelun seurauksena, ajatellaan johtuvan kolmesta asiasta. Vastustetun sisäähengitysharjoittelun uskotaan viivästyttävän sisäähengityslihasten metaborefleksin aktivoitumista, sen uskotaan parantavan hengityksen taloudellisuutta ja vähentävän koettua räsitusta.

Vastustetun sisäähengitysharjoittelun aiheuttamia mekanismeja voidaan tutkia suorittamalla vastustettua sisäähengitysharjoittelua, jonka tuloksena sisäähengityslihaksat vahvistuvat ja suhteellinen kuorma hengitettäessä pienenee tai vähentämällä hengityksestä koituvaa kuormaa hengityskoneen avulla. Harms ym. (1997) tutkimuksessa vähennettiin hengityslihasten tekemää työtä käyttämällä hengityskonetta. He tarkkailivat muutoksia räsituksen sietokyvyssä ja jalkojen verenvirtauksessa. Kun hengittämisen suoritti hengityskone, jalkojen verenvirtaus lisääntyi 4,3 %. Samoin kun sisäähengityslihasten tekemää työtä lisättiin, jalkojen verenvirtaus laski 7 %. Muutokset verenvirtauksessa johtuivat muutoksista raajojen verisuonten neuraalisesta käskytyksestä. Verisuonten vasokonstriktio lisääntyi, kun sisäähengityslihasten työtä lisättiin ja verisuonten dilataatio lisääntyi, kun sitä vähennettiin. (Harms ym. 1997.) Raajojen vasokonstriktion aiheuttaa hengityslihasten väsyessä kardiovaskulaarinen refleksi sisäähengityslihaksissa, joka tunnetaan sisäähengityslihasten metaborefleksinä (inspiratory muscle metaboreflex) (St Croix ym. 2000, Sheel ym. 2001, Sheel ym. 2002, McConnell & Lomax 2006, Katayama ym. 2012). Näyttäisi siltä, että jo keskitehoinen räsitus yhdistettynä sisäähengityslihasten kuormittamiseen voi saada aikaa sisäähengityslihasten metaborefleksin aktivoitumisen (Katayama ym. 2012).

Sisäähengityslihasten metaborefleksi aktivoituu, kun sisäähengityslihaksiin kertyy metaboliitteja. Aineenvaihduntatuotteiden kertyminen sisäähengityslihaksiin stimuloi III- ja IV-afferentteja. Näiden afferenttien stimulointi lisää sympaattisten efferenttien aktiivisuutta, joka lisää yleistä vasokonstriktiota. Verenvirtauksen rajoittaminen vähentää hapen kuljetusta työskenteleville lihaksille sekä aineenvaihduntatuotteiden poistoa. Tämä johtaa siihen, että lihasväsymys ilmenee aikaisemmin ja suorituskyky laskee. (McConnell & Lomax, 2006.) On kuitenkin tärkeää huomata, että supistumistehokkuuden väheneminen ei ole edellytys sisäähengityslihasten metaborefleksin aktivoitumiselle. Refleksin aktivoituminen edellyttää

aineenvaihduntatuotteiden kertymistä ja tätä ei aina tapahdu, vaikka lihaksen supistumiskyky heikkenisi. (McConnell 2013, 74.)

Useimmiten kuitenkin metaboliittien kertyminen on yhteydessä sisäänhengityslihasten väsymiseen sentraalisella ja perifeerisellä tasolla. Täten voidaan olettaa, että harjoittamalla sisäänhengityslihaksia niiden väsyminen viivästyy, jolloin myös metaboliittien kertyminen sisäänhengityslihaksiin viivästyy tai vähenee. Täten myös sisäänhengityslihasten metaborefleksin ilmaantuminen viivästyy/heikkenee, jolloin voidaan ylläpitää kauemmin verenvirtausta raajalihaksissa, jolloin voimantuotto säilyy korkeammalla. IMT:n avulla on tutkitusti onnistuttu viivyttämään sisäänhengityslihasten metaborefleksin ilmaantumista (McConnell & Lomax 2006, Witt ym. 2007, Bailey ym. 2010) ja sisäänhengityslihasten laktaatintuottoa (Brown ym. 2012). IMT:n aiheuttamaa uupumisen viivästyttämistä voitaisiin selittää myös raajojen verenkierron paranemisella, jolloin laktaattia tuotetaan vähemmän ja työskentelevissä lihaksissa on täten vähemmän metaboliitteja, jotka stimuloivat III- ja IV-afferentteja, joiden aktiivisuus vaikuttaa koettuun rasitukseen (Amann ym. 2010) ja väsymiseen (Gandevia 2001, Amann ym. 2009).

IMT vähentää laktaattia, sykettä ja tuntemusta hengityksen vaativuudesta ja raajojen tekemästä työstä (McConnell 2013, 106). Lisäksi hengityksestä tulee syvempää ja hitaampaa ja aineenvaihdunnallisesti tehokkaampaa (Turner ym. 2012). Ehkä tärkeimpänä, IMT viivyyttää rasituksesta johtuvaa MIP:n laskua tai poistaa sen kokonaan. Täten IMT viivästyttää sisäänhengityslihasten väsymistä (Romer ym. 2002b).

7 HENGITYSLIHASTEN HARJOITTAMISEN PERIAATTEET

Hengityslihakset eroavat muista luurankolihasista huomattavasti siinä mielessä, että ne ovat aktiivisina koko elämän ajan. Kuitenkin niiden harjoittamiseen pätevät samanlaiset periaatteet kuin muidenkin luurankolihasien harjoittamiseen, joita ovat tasapainotilan järkyttäminen, spesifisyys ja palautuvuus. Jotta saataisiin harjoitusvaikutus aikaseksi, tulee lihassolun tasapainotilaa järkyttää tarpeeksi suurella kemiallisella tai mekaanisella kuormituksella. Kuormitusta suunniteltaessa tulee ottaa huomioon kuormituksen kesto, intensiteetti ja frekvenssi. (McConnell 2013, 135.)

Terveillä henkilöillä hengityslihaksia on harjoitettu tutkimuksissa pääasiassa kahdella eri tavalla. Lisäämällä hengityksen vastusta suuhun asetettavalla vastuksella tai tahdonalaisesti hyperventiloimalla. Molemmissa tapauksissa harjoittelu on ollut päivittäistä tai vähintään kolme kertaa viikossa tapahtuvaa. (McConnell 2013, 135.) Tutkimuksissa, joissa on käytetty ulkoista kuormaa, on sisäänhengityslihasten harjoittelun intensiteettinä käytetty 50 % sisäänhengityslihasten voimantuotosta (50 % MIP), frekvenssi on ollut 1-2 kertaa päivässä ja 5-7 päivän ajan viikossa (McConnell & Romer, 2004). Tyypillisesti 50-70 % kuormat johtavat uupumiseen ja ennen aikaiseen lopettamiseen, kun tavoitellaan 30 hengitystä tai 2-3 minuutin suoritusta. Tilastollisesti merkitseviä muutoksia on havaittu 3 viikon harjoittelun jälkeen (Romer & McConnell 2003), kun tasanne harjoittelussa saavutetaan noin 6 viikon harjoittelun jälkeen, vaikka kuormitusta kasvatettaisiin progressiivisesti (Volianitis ym. 2001, Romer & McConnell 2003). Kahden viikon sisällä harjoittelun alkamisesta nähtävät lihaksen voimantuoton muutokset johtuvat suurimmilta osin neuraalisista tekijöistä (Jones ym. 1989). Kuitenkin jo neljän viikon IMT:n jälkeen on havaittu 8 - 12 % muutoksia pallean paksuudessa (Downey ym. 2007).

McConnell (2013, 136) mukaan kaksi kertaa päivässä tapahtuva korkea intensiteettinen IMT (70 - 80 % MIP), voi aiheuttaa kroonisen sisäänhengityslihasten ylikuormitustilan, kun urheilijat harjoittelevat muuten kokonaisvaltaisesti. Tällöin sisäänhengityslihakset eivät pääse palautumaan pitkälläkään aikavälillä, jolloin tämänlaisella liian intensiivisellä harjoittelulla saadaan suboptimaalisia tuloksia. Täten kohtalaisilla intensiteeteillä (30 - 60 % MIP) voidaan harjoitella päivittäin, mutta korkeilla intensiteeteillä (> 70 % MIP:sta) vain joka toinen päivä. (McConnell 2013, 136.)

Samalla tavalla kuin muussakin harjoittelussa, pätee myös sisäänhengitysharjoittelussa harjoituksen spesifisyys siitä aiheutuville adaptaatioille. Korkeilla kuormilla, mutta alhaisella frekvenssillä saadaan aikaan parannuksia sisäänhengityslihasten maksimaalisessa voimantuotossa. Se ei kuitenkaan aiheuta adaptaatioita lihasten supistumisnopeudessa, vaan siihen tarvitaan pienempiä kuormia, jotta lihasten supistuminen voi tapahtua nopeasti. Kohtalaisilla kuormilla ja kohtalaisilla supistumisnopeuksilla harjoittelu parantaa sekä maksimaalista voimantuottoa että supistumisnopeutta (Tzelepis ym. 1994, Romer & McConnell 2003). Kun taas kuorman ollessa alhainen ja toistojen määrän suuri, voidaan harjoittaa lihasten kestävyysominaisuuksia.

Harjoitusvasteisiin vaikuttaa myös lihasten pituus työtä tehdessä eli keuhkojen tilavuus voimantuotto hetkellä. Tzelepis ym. (1994) tutkimuksessa huomattiin, että IMT:n aiheuttamat adaptaatiot voimassa ovat lihaspituusspesifisiä. Tutkimuksessa kolme eri ryhmää harjoitteli staattisia vastustettuja sisäänhengitysharjoituksia kolmella eri keuhkojen tilavuudella 6 viikon ajan. Yksi ryhmä harjoitteli niin, että keuhkoissa oli vain jäännöstilavuuden (RV) verran ilmaa. Toisella ryhmällä oli toiminnallisen jäännöstilavuuden (FRC) verran ilmaa. Kolmannella ryhmällä keuhkoissa oli toiminnallinen jäännöstilavuus ja puolet sisäänhengityskapasiteetista (FRC + 1/2IC). Suurimmat voimantuotolliset adaptaatiot saavutettiin, sillä lihaspituudella millä harjoiteltiin. Lisäksi adaptaatiot olivat suurimpia pienillä keuhkotilavuuksilla. Pienet keuhkotilavuudet myös aiheuttivat suurimmat adaptaatiot, kun verrattiin voimantuottoa kaikilla lihaspituuksilla. (Tzelepis ym. 1994.) Täten IMT:ta tulisi harjoittaa mahdollisimman suurella liikelaajuudella aloittaen mahdollisimman läheltä jäännöstilavuutta. Toisaalta jos harjoituksen aloittaa liian tyhjistä keuhkoista liian kovalla vastuksella voi olla, että vastus on liian suuri isoilla lihaspituuksilla hengityksen loppuun saattamiseksi. (McConnell 2013, 138.)

Niin kuin kaikki harjoitusvasteet ovat myös sisäänhengityslihasten harjoitusvasteet palautuvia. McConnell (2013, 138) mukaan 9 viikon IMT harjoittelun jälkeen 18 viikon harjoitus vapaa jakso laski 32 % saavutetusta voiman lisäyksestä, 65 % saavutetusta maksimaalisesta supistumisnopeudesta ja 75 % saavutetusta kestävyydestä. Kuitenkin saavutettuja tuloksia voidaan ylläpitää, kun sisäänhengityslihaksia harjoitetaan 2 kertaa viikossa (Romer & McConnell 2003).

Hengityksen lisäksi pallealla on tärkeä rooli ryhdin ylläpidossa ja keskivartalon stabiloinnissa. Tästä johtuen hengityslihaksia voidaan harjoittaa myös ilman vastushengitysharjoittelua. DePalo ym. (2004) tutkimuksessa 3-4 kertaa viikossa tehty vatsarutistus ja hauiskääntö harjoittelu 16 viikon harjoittelu paksunsi palleaa ja lisäsi sisään- ja uloshengityslihasten voimantuottoa (MIP = 134 ± 22 cmH₂O vs. 171 ± 16 cmH₂O, $p < 0.002$, MEP = 195 ± 20 cmH₂O vs. 267 ± 40 cmH₂O $p < 0.002$). (DePalo ym. 2004.)

8 TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT

Tutkimusongelma 1. Vaikuttaako vastustettu sisäänhengitysharjoittelu sisäänhengityslihasten voimantuottoon?

Hypoteesi 1. Vastustettu sisäänhengitysharjoittelu lisää sisäänhengityslihasten voimantuottoa.

Perustelu 1. Sisäänhengityslihaksia voidaan harjoittaa samalla tavalla kuin muitakin luurankolihasia. Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun avulla, lihaksia voidaan kuormittaa kohdennetusti, jolloin sisäänhengityslihasten voimantuotto paranee (Antonelli ym. 2020).

Tutkimusongelma 2. Vaikuttaako vastustettu sisäänhengitysharjoittelu kestävyys suorituskykyyn?

Hypoteesi 2. Vastustettu sisäänhengitysharjoittelu parantaa kestävyys suorituskykyä kestävyys harjoitteleilla miehillä.

Perustelu 2. Vastustetulla sisäänhengitysharjoittelulla voidaan viivyttää sisäänhengityslihasten metaborefleksin ilmenemistä (Bailey ym. 2010), jolloin raajojen veren virtaus säilyy tehokkaampana. Tästä johtuen, raajojen voimantuotto säilyy suurempana pidempään, jolla on suora vaikutus kestävyys suorituskykyyn. Lisäksi se voi lisätä hengityksen taloudellisuutta (Turner ym. 2012), jolloin muille lihaksille jää enemmän verta käytettäväksi.

Tutkimusongelma 3. Muuttuuko koettu rasittavuus submaksimaalisessa kuormituksessa vastustetun sisäänhengitysharjoittelun seurauksena?

Hypoteesi 3. Koettu rasittavuus tietyillä submaksimaalisella kuormalla pienenee vastustetun sisäänhengitysharjoittelun seurauksena.

Perustelu 3. Voimakkaampien sisäänhengityslihasten ansiosta sisäänhengityslihasten tekemä työ tietyillä submaksimaalisella kuormalla, on suhteellisesti pienempää kuin ennen harjoittelua. Tällöin koettu rasittavuus on pienempää tietyillä submaksimaalisella kuormalla (Turnerin ym. 2012).

Tutkimusongelma 4. Pieneneekö hengitysharjoittelun koettu rasittavuus (RPE) hengitysharjoittelun myötä? (Ensimmäisen harjoitus viikon ja neljännen harjoitusviikon vertailu)

Hypoteesi 4. Koettu rasittavuus hengitysharjoittelussa pienenee vastustetun sisäänhengitysharjoittelun seurauksena.

Perustelu 4. Sisäänhengityslihasten vahvistuessa sisäänhengitysharjoittelun seurauksena (Antonelli ym. 2020). suhteellinen rasittavuus samalla absoluuttisella vastuksella pienenee.

Tutkimusongelma 5. Eroaako hengitysharjoittelun koettu rasittavuus (RPE) koe- ja kontrolliryhmien välillä?

Hypoteesi 5. Koettu rasittavuus eroaa ryhmien välillä.

Perustelu 5. Koetun rasittavuuden on melko hyvin todettu kuvaavan myös sisäistä rasitusta. Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun tapahtuessa eri suuruisilla absoluuttisilla vastuksilla eri ryhmillä myös harjoittelun koettu rasittavuus eroaa ryhmien välillä.

Tutkimusongelma 6. Väheneekö hengityslihasten maksimaalinen voimantuotto akuutisti maksimaalisen porrattaisen polkupyöraergometrillä tehtävän kestävyyskuormituksen seurauksena?

Hypoteesi 6. Hengityslihasten maksimaalinen voimantuotto vähenee maksimaalisen kestävyysuorituksen seurauksena.

Perustelu 6. Maksimaalisessa kestävyysuorituksessa lihaksiston hapentarve lisääntyy merkittävästi. Lisääntynyttä hapentarvetta pyritään kompensoimaan lisääntyneellä keuhkotuuletuksella. Pitkäkestoinen ja voimakas hengityslihasten venymis-lyhenimissykli väsyttää hengityslihaksia samalla tavalla kuin muutkin luurankolihakset väsyvät. Väsymisen johdosta hengityslihasten maksimaalinen voimantuotto vähenee maksimaalisen kestävyysuorituksen seurauksena (Tiller ym 2019).

9 TUTKIMUSMENETELMÄT

9.1 Tutkimusasetelma

Tutkimus toteutettiin satunnaistettuna kontrolloituna tutkimuksena. Tutkittavat (n=25) jaettiin satunnaisesti koe- ja kontrolliryhmiin. Molemmat ryhmät suorittavat alkutestit ja harjoittelevat samalla tavalla 4 viikon ajan. Kontrolliryhmän käyttämä kuormitusintensiivetti harjoittelussa oli kuitenkin huomattavasti pienempi ja sen ei ole huomattu aikaisemmissa tutkimuksissa aiheuttavan merkittäviä fysiologisia adaptaatioita. Interventiojakson jälkeen molemmat ryhmät suorittivat testit uudestaan. Tutkittavat osallistuivat tutkimukseen vapaaehtoisesti ja heillä oli oikeus keskeyttää tutkittavina toimiminen milloin tahansa ilman erillistä syytä. Kaikki tulokset kerättiin mittauspöytäkirjaan (liite 1), josta ne siirrettiin sähköiseen muotoon. Tutkimukselle myönnettiin Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan lausunto.

9.2 Tutkittavat

Tutkimukseen rekrytoitiin 25 kestävyysharjoittelutta miestä. Valloillaan oleva COVID19-pandemia supisti kuitenkin tutkittavien määrän seitsemääntoista. Rekrytointi vaiheessa tutkittavien arvioitu VO₂max juosten tuli olla yli 45 ml/kg/min. Lisäksi koehenkilöiden tuli olla harrastanut säännöllisesti kestävyystyypisistä liikuntaa ≥ 3 vuotta. Tutkittavilla ei saanut olla aikaisempaa kokemusta vastustetusta hengitysharjoittelusta eikä tupakointitautaa viimeisen 10 vuoden ajalta. Alkumittauksissa tutkittavajoukkojen välillä ei ollut merkittäviä eroja (ikä koe 31 ± 7 v vs. kont. 30 ± 7 v, Maksimiteho koe 293 ± 17 vs. kontrolli 313 ± 41 w, VO₂max koe $48,8 \pm 3,5$ vs. kont. $50,5 \pm 3,6$ ml/kg/min).

Tutkittavia rekrytoitiin Jyväskylän yliopiston kanavien kautta käyttäen koehenkilötiedotetta. Lisäksi kontaktoitiin paikallisia urheiluseuroja ja heitä pyydettiin jakamaan koehenkilötiedotetta omissa kanavissaan. Tutkittavat ilmoittautuvat tutkimukseen lähettämällä sähköpostia ennalta määritettyyn osoitteeseen.

9.3 Aineistonkeruu ja analysointi

9.3.1 Kehon koostumuksen mittaaminen

Saapuessaan laboratoriolle tutkittavat allekirjoittivat suostumuslomakkeen (liite 2), jonka he olivat saaneet sähköpostiinsa jo etukäteen luettavaksi. Tämän jälkeen tutkittavilta otettiin pituus

ja paino sekä kehonkoostumus bioimpedanssia hyödyntävällä InBody 720-laitteella (InBody Co Ltd, Soul, Korea) (KUVA 6). Tutkittavat eivät paastonneet ennen kehonkoostumusmittausta. Kehonkoostumuksen mittaus suoritettiin samalla tavalla sekä alkua että lopputesteissä.



KUVA 6. InBody 720-laite (InBody Co Ltd, Soul, Korea)

9.3.2 Hengityslihasten voimantuoton mittaaminen

Kehonkoostumismittauksen jälkeen tutkittavat suorittavat 5 minuutin lämmittelyn polkupyöräergometrillä (Monark LC4, Cycleurope Sverige AB, Ruotsi.) (KUVA 7) maksimaalisen porrattaisen rasiustestin aloituskuormalla. Tämän jälkeen tutkittavat suorittavat maksimaalisen sisään- ja uloshengityslihasten voimantuoton testin (MIP) Vyoaire MicroRPM-laitteella (Vyoaire Medical, Mettawa, Illinois, Yhdysvallat.) (KUVA 8). Testit suoritettiin istuen ja testeissä käytettiin kertakäyttöisiä filttareita, suukappaleita ja nenäklipsejä. Testattavaa ohjeistettiin sanoin ”*Puhalla keuhkot täysin tyhjäksi, jonka jälkeen aseta suukappale tiiviisti paikoilleen, jonka jälkeen vedä mahdollisimman voimakkaasti ilmaa keuhkoihisi.*” Sisäänhengityksen testit aloitettiin aina jäännöstilavuudesta vakioiden näin työskentelevien lihaksien lihaspituuden ja suhteellisen ilman tilavuuden keuhkoissa. Maksimaalisia sisäänhengityksiä suoritettiin vähintään kolme kappaletta ja maksimissaan kahdeksan kappaletta. Maksimaaliset sisäänhengitykset lopetettiin, kun tulos ei enää parantunut merkittävästi. Yksittäisten mittausten välillä oli n. 20 sekunnin tauko, jonka aikana tulos kirjattiin ylös ja laite nollattiin. Maksimimaalisen sisäänhengityslihasten voimantuoton mittaamisen jälkeen siirryttiin uloshengityslihasten maksimaalisen voimantuoton

mittaamiseen. Uloshengityslihasten voimantuottoa mitattaessa käytettiin samanlaisia kriteereitä kuin sisäänhengityslihasten voimantuottoa mitattaessa. Testattavaa ohjeistettiin sanoin ”*Täytä keuhkot täysiksi, jonka jälkeen aseta suukappale tiiviisti paikoilleen, jonka jälkeen puhalla mahdollisimman voimakkaasti.*” Uloshengityksen aikana testinjohtaja tuki testattavan poskia painamalla niitä kämmenillä sisäänpäin, suojellen näin testattavan tärykalvoja ja varmistaakseen maksimaalisen voimantuoton. Osalla testattavista uloshengityksen aikana huulet irtosivat suukappaleesta paineen vuoksi, jolloin heidän uloshengityslihasten maksimaalista voimantuottoa ei näin saatu mitattua. Tämänlaisia testattavia ohjeistettiin painamaan toisella kädellä huuliaan suukappaletta vasten, jotta maksimaalinen tulos saataisiin mitattua. Tämänlaisessa tapauksessa tutkittava käytti sekä alkuetä lopputesteissä toista kättä apuna. MIP- ja MEP-mittaukset suoritettiin uudestaan välittömästi maksimaalisen polkupyöraergometritestin jälkeen.



KUVA 7. Monark LC4 polkupyöraergometri (Cycleurope Sverige AB, Ruotsi.)



KUVA 8. Vyoaire MicroRPM-laite (Vyoaire Medical, Mettawa, Illinois, Yhdysvallat).

9.3.3 Hengitysharjoittelun toteutus

Tutkittavat ohjeistettiin harjoitteluun ensimmäisellä tutkimuskäynnillään sekä heille jaettiin Youtube-linkki, jonka avulla he pääsivät tutustumaan WellO2-laitteen (WellO2 Oy, Tampere, Suomi.) (KUVA 9) käyttöönottoon sekä harjoitteluun. Koeryhmä harjoitti sisäänhengityslihaksia laitteen vastuksella 3, joka vastaa 90-120 cmH₂O (ilman virtauksen ollessa 0,3 l/s eli 18 l/min), joka on keskimäärin 69,2 - 92,3 prosenttia koeryhmän tuloksista (n=7) absoluuttisten arvojen vaihdellessa välillä 63 - 186 cmH₂O ennen interventiota. kontrolliryhmä harjoitteli vastuksella 0 joka vastaa 20 - 25 cmH₂O (ilman virtauksen ollessa 0,3 l/s eli 18 l/min), joka on keskimäärin 14,0 - 17,5 prosenttia kontrolliryhmän tuloksista (n=10) absoluuttisten arvojen vaihdellessa välillä 103 - 168 cmH₂O ennen interventiota. Molemmat ryhmät harjoittelivat 4 viikon ajan 5 kertaa viikossa vapaavalintaisina päivinä 30 hengitystä kerrallaan. Molemmat ryhmät harjoittelivat vastuksen kanssa vain sisäänhengitystä. Uloshengitys tapahtui ilman vastusta. Jokainen sisäänhengitys aloitettiin aina jäännöstilavuudesta, jotta harjoittelu olisi vakioitua ja lihaksia saataisiin harjoitettua koko lihaspituudelta. Harjoittelu suoritettiin istuen ja ilman että laitteessa oli vettä tai höyryä. Hengitysten välissä tutkittavat saivat pitää haluamansa pituisia taukoja.

Ensimmäisen tutkimuskäynnin yhteydessä tutkittaville annettiin harjoituspäiväkirja (liite 3), johon he merkitsivät päivän, jona harjoittelivat, hengitysten määrän, harjoitusvastuksen, harjoittelun rasittavuuden sekä huomioita harjoittelusta. Muuta harjoittelua ei vakioitu, mutta se ohjeistettiin pitämään samanlaisena kuin ennen tutkimusjaksoa



KUVA 9. WellO2-laite (WellO2 Oy, Tampere, Suomi.)

9.3.4 Kestävyysuorituskyvyn mittaukset

Polkupyöraergometrillä (Monark LC4, Cycleurope Sverige AB, Sweden.) tehdystä maksimaalisesta porrattaisesta kestävyysuorituskykytestistä mitattiin Vyntus cpx metabolic cartilla (Vyoaire Medical, Mettawa, Illinois, Yhdysvallat.) (KUVA 10) maksimaalinen hapenkulutus, hapenkulutus eri kuormilta, hengitysfrekvenssi ja kertahengityksen tilavuus eri kuormilta (liite 4), syke eri kuormilta (Polar V800, Polar Electro Oy, Kempele, Suomi.) (KUVA 11), testin kesto, viimeisen suoritettun kuorman teho, koettu rasittavuus (RPE 6-20), ja veren laktaattipitoisuus aerobiselta ja anaerobiselta kynnykseltä. Hengityskaasuja mitattiin kuormituksen aikana vain alkumittauksissa.



KUVA 10. Vyntus cpx metabolic cart (Vyoaire Medical, Mettawa, Illinois, Yhdysvallat.)



KUVA 11. Polar V800-sykemittari (Polar Electro Oy, Kempele, Suomi.)

9.3.5 Spirometriamittaukset

Alkumittauksissa, hengityselinten voimantuoton mittaamisen jälkeen, mitattiin myös keuhkojen toimintaa spirometrian avulla (Vyntus cpx metabolic cart, Vyoaire Medical, Mettawa, Illinois, USA.) (KUVA 10). Spirometriamittaukset suoritettiin vähintään kolme kertaa, mutta enintään kahdeksan kertaa luotettavien tuloksien varmistamiseksi ja väsymisen estämiseksi. Tutkittavilta mitattiin ensin maksimaalisen sisäänhengityksen kapasiteetti (FIVC), jonka jälkeen uloshengityksen kapasiteetti (FEVC), josta saadaan myös maksimaalinen ilman virtaus ensimmäisen sekunnin aikana uloshengityksessä (FEV1). Spirometrian tulokset luettiin sähköisestä tiedostosta (liite 5). Tutkittavat suorittivat mittaukset tutkimuksen johtajan määräämässä tahdissa.

9.4 Tilastolliset menetelmät

Tilastollinen tarkastelu tehtiin käyttäen IBM SPSS 24.0- (IBM Corporation, Armonk, New York, USA) ja Microsoft Excel (Microsoft Corporation, Redmond, WA, Yhdysvallat) -ohjelmien avulla. Muuttujien normaali jakautuminen tarkistettiin Kolmogorov-Smirnovin- ja Shapiro-Wilk- testeillä. Kaikki muu data tutkimuksessa oli normaalijakautunutta paitsi, MIP2pre, MEP2pre, MIP1post ja MEP2post. Kaikki tulokset on esitetty keskiarvoina sekä keskihajontoina. Tilastollisen merkitsevyyden rajoina tutkimuksessa toimivat p-arvot: $p \leq 0,05$; $p \leq 0,01$ ja $p \leq 0,001$. Tilastollinen analyysi suoritettiin yksisuuntaisten toistomittausten varianssianalyysillä (ANOVA). Korrelaatiota tarkasteltiin Spearmanin non-parametrisellä järjestyskorrelaatiokertoimella kaikkien alkumittauksissa olleiden kesken (n=24).

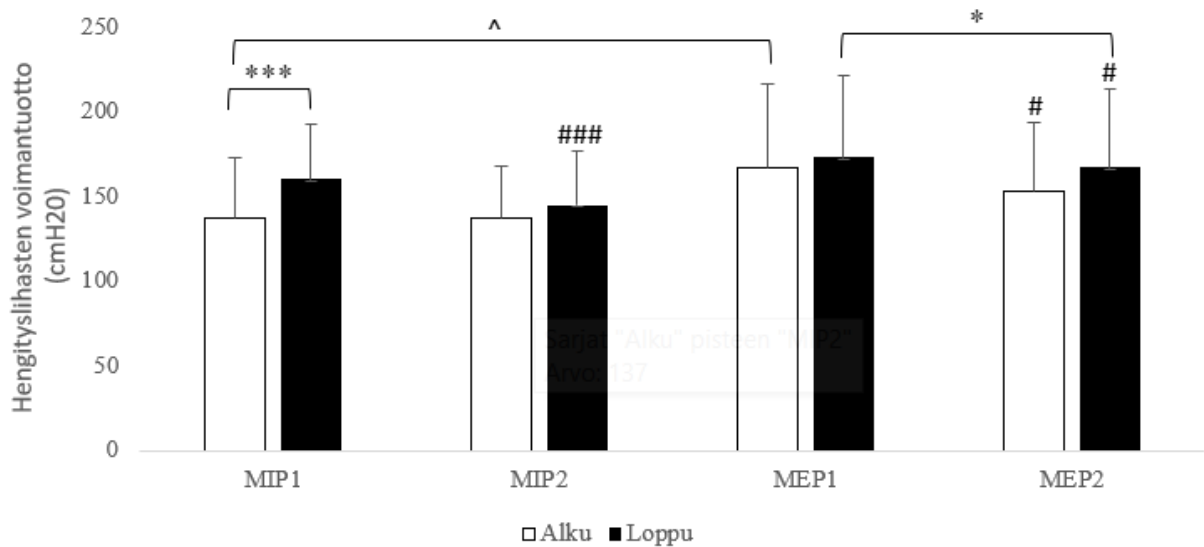
10 TULOKSET

10.1 Hengityslihasten voimantuotto

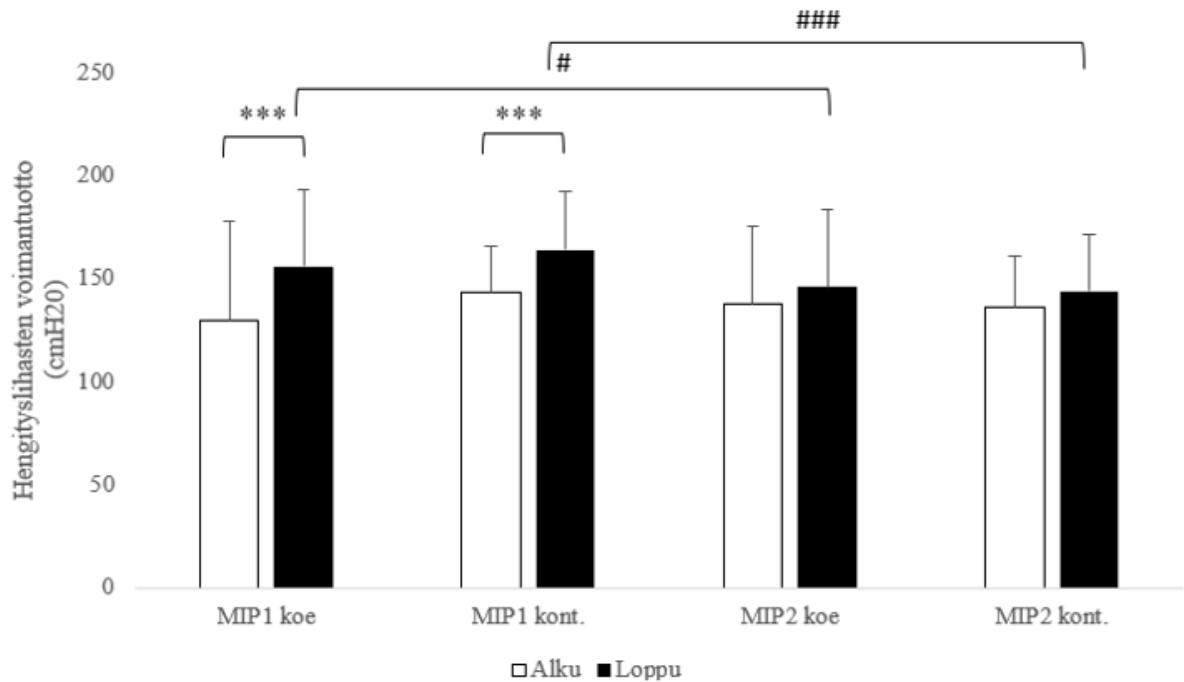
Interventiojakson aikana sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto lisääntyi molemmilla tutkimusryhmillä tilastollisesti erittäin merkitsevästi sekä koko tutkimusjoukolla yhteensä (koe alku 130 ± 48 cmH₂O vs. koe loppu 156 ± 37 cmH₂O $p < 0,001$, kont. alku 143 ± 23 vs. 164 ± 28 cmH₂O $p < 0,001$) (KUVAT 11, 12 ja 9 sekä TAULUKKO 1). Loppumittauksissa sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää rasituksen jälkeen kuin ennen rasitusta molemmilla ryhmillä (kaikki = $p < 0,001$, koe = $p < 0,05$, kont. = $p < 0,001$) (KUVAT 11 ja 12 sekä TAULUKKO 1).

Tutkimusryhmän ja kontrolliryhmän rasituksen jälkeinen uloshengityslihasten voimantuotto oli merkitsevästi suurempi interventiojakson jälkeen kuin ennen interventiojaksoa ($p < 0,05$) (KUVAT 11, 12 ja 14 sekä TAULUKKO 1). Rasituksen jälkeen uloshengityslihasten voimantuotto oli tilastollisesti merkitsevästi heikentynyt sekä alku- että loppumittauksissa rasitusta edeltäneeseen voimantuottoon verrattuna ($p < 0,05$) (KUVA 11 ja TAULUKKO 1).

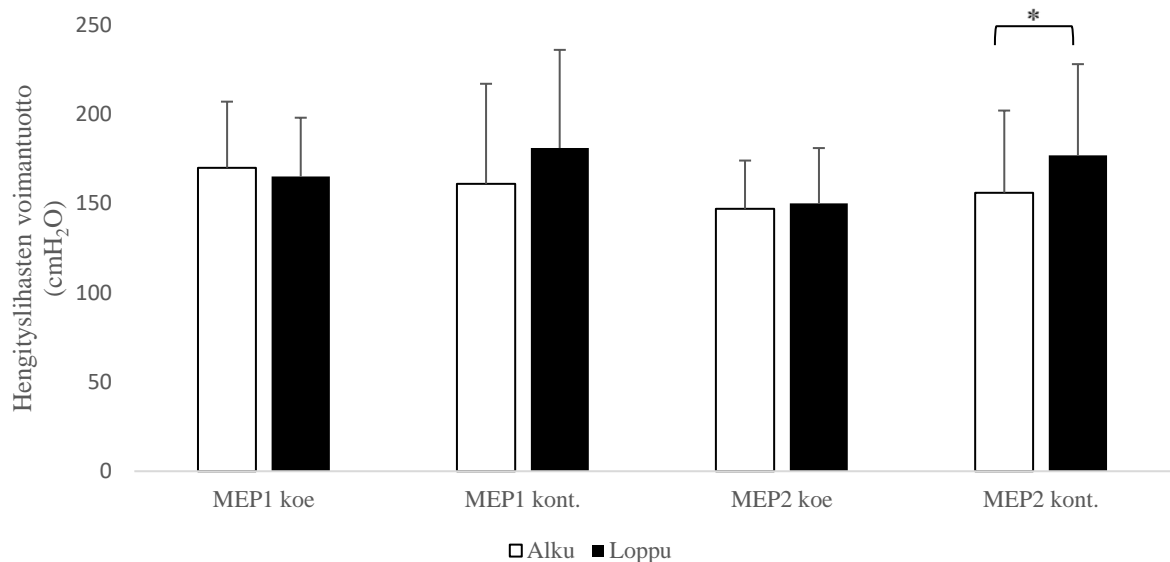
Alkumittauksissa ennen rasitusta sisäänhengityslihasten voimantuotto oli tilastollisesti merkitsevästi pienempää uloshengityslihasten voimantuottoon verrattuna koko tutkimusjoukolla (137 ± 36 vs. 167 ± 49 cmH₂O, $p < 0,05$) (KUVA 11 ja TAULUKKO 1), kuitenkin olematta merkitsevästi pienempää muissa mittapisteissä.



KUVA 11. Sisään- ja uloshengityslihasten maksimaaliset voimantuotot tutkittavilla vesisenttimetreissä. Luvut esitetty keskiarvoina sekä keskihajontoina alku- ja loppumittauksissa ennen maksimaalista rasitusta ja maksimaalisen rasituksen jälkeen. MIP1 = sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MIP2 = sisäänhengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen, MEP1 = uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MEP2 = uloshengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen. n=17, (MEP2 n=16). * (p < 0,05); *** (p < 0,001) = ero on tilastollisesti merkitsevä alkumittauksiin verrattuna. # (p < 0,05); ### (p < 0,001) ero on tilastollisesti merkitsevä rasitusta edeltäneisiin mittauksiin verrattuna. ^ (p < 0,05) = ero on tilastollisesti melkein merkitsevä sisäänhengityslihasten voimantuottoon verrattuna.

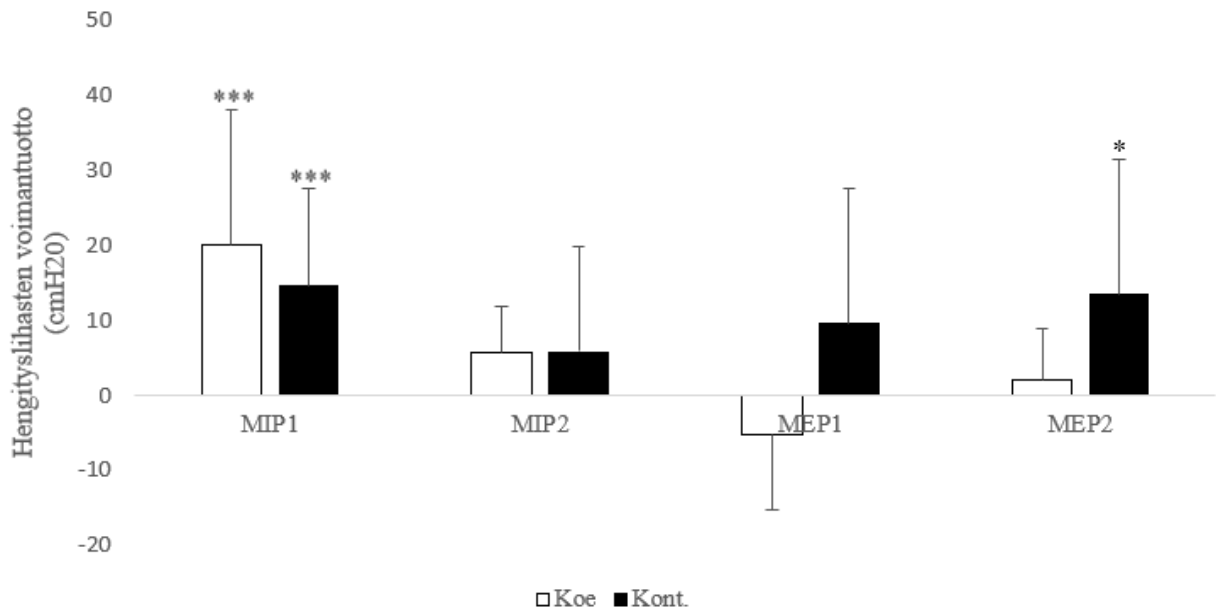


KUVA 12. Sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto tutkimusryhmittäin vesisenttimetreissä. Luvut esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina alku- ja loppumittauksissa ennen maksimaalista rasitusta ja maksimaalisen rasituksen jälkeen. MIP1 = sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MIP2 = sisäänhengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen. Koeryhmä n=7, kontrolliryhmä n=10. * (p < 0,05); *** (p < 0,001) = ero on tilastollisesti merkitsevä alkumittauksiin verrattuna. # (p < 0,05); ### (p < 0,001) ero on tilastollisesti merkitsevä rasitusta edeltäneisiin mittauksiin verrattuna.



KUVA 13. Uloshengityslihasten maksimaalinen voimantuotto tutkimusryhmittäin vesisenttimetreissä. Luvut esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina alku- ja loppumittauksissa ennen maksimaalista rasitusta ja maksimaalisen rasituksen jälkeen. MEP1 = uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MEP2 = uloshengityslihasten

voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen. Koeryhmä n=7, kontrolliryhmä n=10. Koeryhmä MEP2 n=6. * (p < 0,05) = ero on tilastollisesti merkitsevä alkumittauksiin verrattuna.



KUVA 14. Sisään- ja uloshengityslihasten maksimaalisten voimantuottojen muutos tutkimusryhmittäin vesisenttimetreissä. Luvut esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina alku- ja loppumittauksissa ennen maksimaalista rasitusta ja maksimaalisen rasituksen jälkeen. MIP1 = sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MIP2 = sisäänhengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen, MEP1 = uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MEP2 = uloshengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen. Koeryhmä n=7, kontrolliryhmä n=10. Koeryhmä MEP2 n=6. * (p < 0,05); *** (p < 0,001)

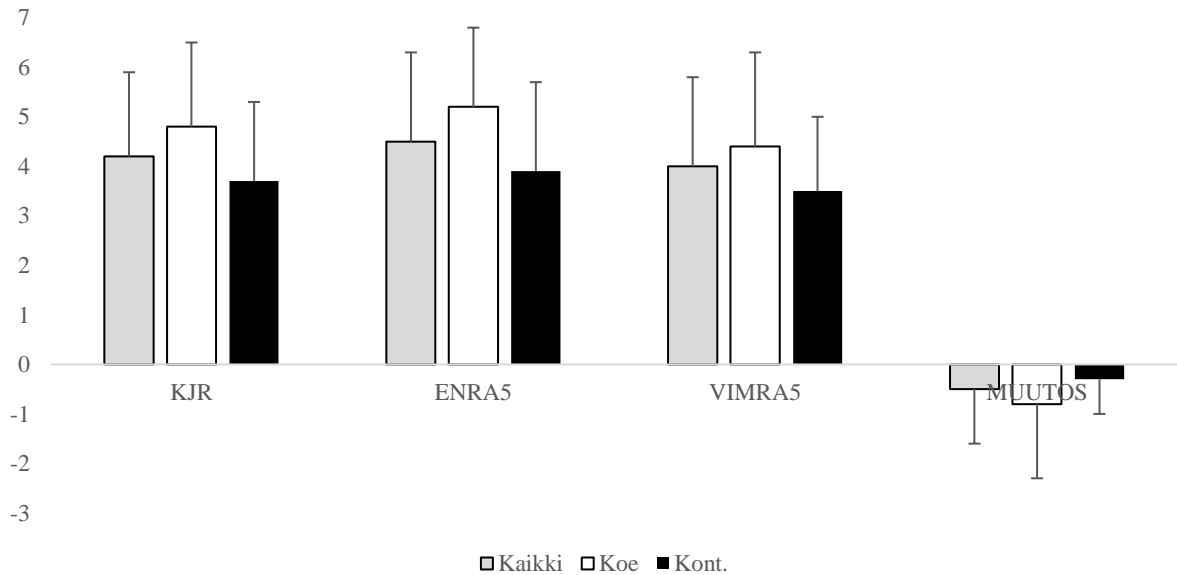
TAULUKKO 1. Hengityslihasten maksimaalinen voimantuotto tutkimusryhmittäin vesisenttimetreissä. Luvut esitetty keskiarvoina ja keskihajontoina alku- ja loppumittauksissa ennen maksimaalista rasitusta ja maksimaalisen rasituksen jälkeen.

	MIP1	MIP2	MEP1	MEP2
Alku kaikki (cmH ₂ O)	137 (36)	137 (31)	167 (49) ^	153 (40) #
Loppu kaikki (cmH ₂ O)	160 (32)	145 (32) ###	173 (48)	167 (46) #
Abs.muutos (cmH ₂ O)	23 (20) ***	8 (17)	6 (26)	15 (22) *
%-muutos (%)	16,8 (20,7) ****	5,8 (16,4)	3,6 (18,3)	9,2 (16,1) *
Alku koe (cmH ₂ O)	130 (48)	138 (37)	170 (37)	147 (27)
Loppu koe (cmH ₂ O)	156 (37)	146 (37)	161 (33)	150 (31)
Abs.muutos (cmH ₂ O)	26 (18) ***	8 (6)	-9 (10)	3 (7)
%-muutos (%)	20,0 (28,0) ****	5,8 (8,3)	-5,3 (9,8)	2,0 (9,0)
Alku kont. (cmH ₂ O)	143 (23)	136 (25)	165 (56)	156 (46)
Loppu kont. (cmH ₂ O)	164 (28)	144 (27)	181 (55)	177 (51)
Abs.muutos (cmH ₂ O)	21 (13) ***	9 (14)	16 (18)	21 (18) *
%-muutos (%)	14,7 (9,7) ****	5,9 (20,3)	9,7 (19,7)	13,5 (17,5) *

MIP1 = sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MIP2 = sisäänhengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen, MEP1 = uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta, MEP2 = uloshengityslihasten voimantuotto välittömästi rasituksen jälkeen. Koeryhmä n=7, kontrolliryhmä n=10. Koeryhmä MEP2 n=6. * (p < 0,05); *** (p < 0,001) = ero on tilastollisesti merkitsevä alkumittauksiin verrattuna. # (p < 0,05); ### (p < 0,001) ero on tilastollisesti merkitsevä rasitusta edeltäneisiin mittauksiin verrattuna. ^ (p < 0,05) = ero on tilastollisesti melkein merkitsevä sisäänhengityslihasten voimantuottoon verrattuna.

10.2 Hengitysharjoittelun rasittavuus

Sisäänhengitysharjoittelun koetussa raskaudessa ei ollut tilastollisesti merkitseviä eroja ryhmien välillä. ($4,8 \pm 1,7$ vs. $3,7 \pm 1,6$). Molemmilla ryhmillä harjoittelun rasittavuus ei laskenut interventiojakson aikana, vaikka trendi oli havaittavissa (KUVA 10).



KUVA 15. Hengitysharjoittelun subjektiivisen rasittavuuden (RPE) keskiarvot ja keskihajonnat. Koeryhmä n=7, kontrolliryhmä n=10. KJR = Koko harjoitusjakson koettu rasittavuus, ENRA5 = Ensimmäisen viiden päivän harjoittelun koettu rasittavuus, VIMRA5 = Viimeisen viiden päivän harjoittelun koettu rasittavuus.

10.3 Kestävyyssuorituskyky, koettu rasittavuus ja maksimisyke

Polkupyöraergometritestin suoritus aika ei muuttunut tilastollisesti merkitsevästi tutkimusjakson aikana. Myöskään koetussa rasituksessa (RPE) submaksimaalisilla kuormilla (75-200 w) ja maksimisykkeessä ei ollut merkittävää muutosta mittauskertojen välillä (TAULUKKO 2).

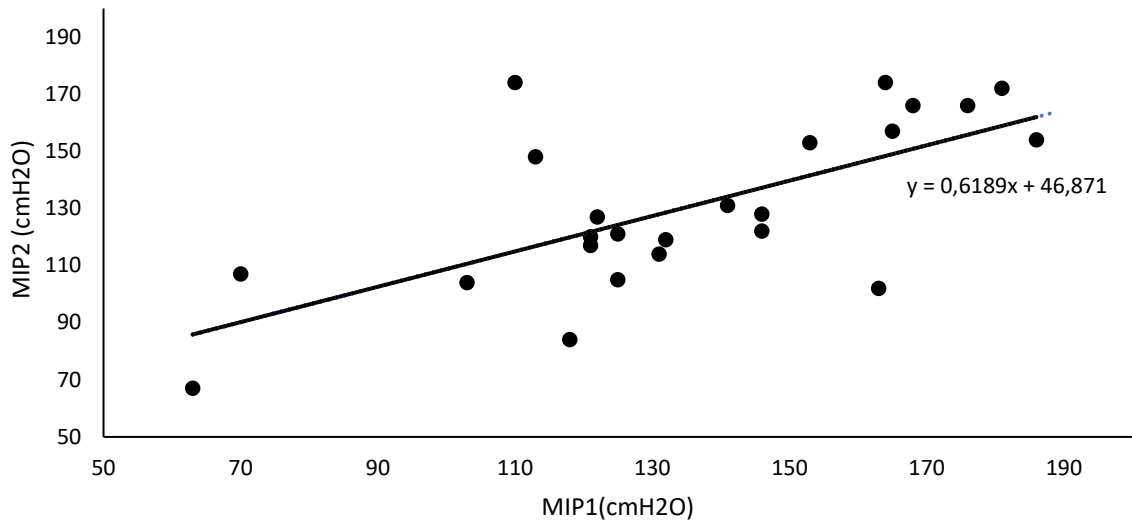
TAULUKKO 2. Suoritusajan, subjektiivisen rasituksen submaksimaalisilla kuormilla ja maksimisykkeen keskiarvot ja keskihajonnat.

	Suoritus aika	Sub.max RPE	Hrmax (l/min)
Alku kaikki	21:37 (02:42)	11,2 (0,7)	187 (8)
Loppu kaikki	21:27 (02:50)	10,9 (1,0)	186 (7)
Abs.muutos	-00:10 (00:51)	-0,4 (0,7)	-1 (3)
%-muutos (%)	-0,77 (3,76)	-3,4 (2,5)	-0,53 (1,83)
Alku koe	20:55 (01:59)	11,4 (0,5)	188 (8)
Loppu koe	20:21 (01:39)	11,2 (1,1)	186 (6)
Abs.muutos	-00.34 (00:36)	-0,2 (0,8)	-2 (3)
%-muutos (%)	-2,71 (2,65)	-1.7 (2,0)	-1,09 (1,50)
Alku kont.	22:07 (03:01)	11,2 (0,8)	185 (7)
Loppu kont.	22:14 (03:13)	10,7 (0,9)	185 (7)
Abs.muutos	00:07 (00:53)	-0,5 (0,6)	0 (4)
%-muutos (%)	0,53 (3,91)	-4,6 (4,0)	-0,04 (1,91)

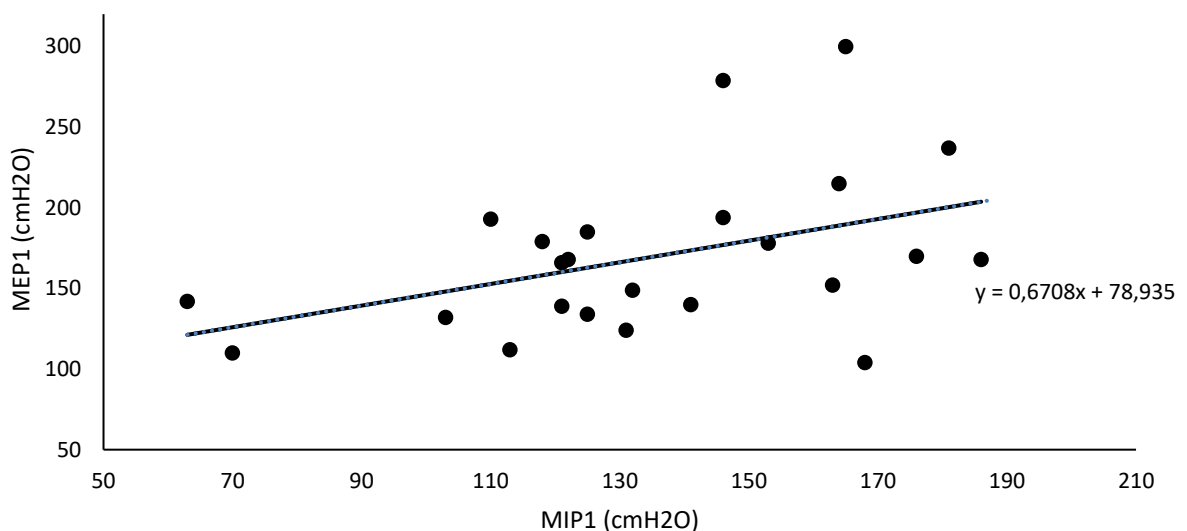
Sub.max RPE = koettu rasittavuus (6-20) submaksimaalisilla kuormilla (75-200 w), Hrmax (l/min) = maksimisyke (l/min).

10.4 Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton yhteys uloshengityslihasten maksimaaliseen voimantuottoon, spirometria-arvoihin, suoritukseen kestoon sekä antropometriaan

Sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasi tusta korreloi tilastollisesti erittäin merkitsevästi sisäänhengityslihasten voimantuoton kanssa rasi tuksen jälkeen ($r = 0,669$ $p < 0,001$) (KUVA 16.). Samoin uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasi tusta korreloi tilastollisesti erittäin merkitsevästi uloshengityslihasten voimantuoton kanssa rasi tuksen jälkeen ($r = 0,704$ $p < 0,001$). Ulos- ja sisäänhengityslihasten voimantuotto korreloivat keskenään MIP1 ja MEP1 ($r = 0,431$ $p < 0,05$) (KUVA 17), MIP1 ja MEP2 ($r = 0,535$ $p < 0,01$) sekä MIP2 ja MEP2 ($r = 0,460$ $p < 0,05$) ($n=24$).



KUVA 16. Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton korrelaatio ennen rasiutusta ja rasiutuksen jälkeen alkumittauksissa. MIP1 = sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto ennen rasiutusta, MIP2 = sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto rasiutuksen jälkeen.



KUVA 17. Sisään- ja uloshengityslihasten maksimaalisen voimantuoton korrelaatio ennen rasiutusta alkumittauksissa. MIP1 = sisäänhengityslihasten maksimaalinen voimantuotto ennen rasiutusta, MEP1 = uloshengityslihasten maksimaalinen voimantuotto ennen rasiutusta.

Sisään- ja uloshengityslihasten absoluuttisten voimantuottoarvojen suuruus tutkimuksen alussa ei korreloinut negatiivisesti tai positiivisesti havaitun voimantuoton muutoksen kanssa. Sen sijaan uloshengityslihasten voimantuoton kasvu havaittiin kokonaisvaltaisena uloshengityslihasten voimantuoton kasvuna sekä ennen rasiutusta että rasiutuksen jälkeen (MEP1- ja MEP2 muutos korreloivat keskenään $r = 0,602$, $p < 0,05$). Sisäänhengityslihasten

voimantuoton muutoksia tarkasteltaessa, vastaavaa korrelaatiota ei ollut havaittavissa. MIP2 oli yhteydessä mep2 muutokseen ($r = 0,732$, $p < 0,01$) eli jos sisäänhengityslihasten voimantuotto oli suurempaa intervention ja rasituksen jälkeen, niin myös uloshengityslihasten voimantuotto oli suurempaa.

Spirometriatuloksista ainoastaan MEF25 korreloi negatiivisesti MIP1pre kanssa ($r = -0,434$ $p < 0,05$). Hengityslihasten voimantuotolla ei ollut yhteyttä keuhkojen tilavuuteen tai uloshengityksen virtausnopeuteen tutkimuksessa. Pituus tai paino eivät korreloineet hengityslihasten voimantuoton kanssa. Maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometritestin kesto ei myöskään korreloinut sisään- eikä uloshengityslihasten maksimaalisenvoimantuoton kanssa.

10.5 Keuhkojen toiminnallisuus

Tutkittavien spirometrioiden tulokset olivat kaikki viitearvojen sisällä ja tutkittavilla ei havaittu poikkeavuuksia (TAULUKKO 3.). Keuhkojen kokonaistilavuus oli $5,96 \pm 0,57$ l, FEV1% $77,59 \pm 7,15$ ja PEF $9,67 \pm 1,29$ l/s.

TAULUKKO 3. Tutkittavien keuhkojen toiminnallisuus

Muuttuja	pr.VCMAX	VCMAX	pr.FVC	FVC	pr.FEV1	FEV1
		5,96				
Kaikki	5,67 (0,49)	(0,57)	5,67 (0,49)	8,99 (12,36)	4,57 (0,38)	4,62 (0,57)
		5,97		13,14		
Koe	5,64 (0,53)	(0,45)	5,64 (0,53)	(17,83)	4,54 (0,36)	4,44 (0,19)
		5,95				
Kont.	5,69 (0,46)	(0,65)	5,69 (0,46)	5,77 (0,76)	4,59 (0,39)	4,75 (0,71)

Muuttuja	pr.FEV1%	FEV1%	IC_F	pr.PEF	PEF	pr.MEF75
	80,95	77,59				
Kaikki	(1,40)	(7,15)	4,24 (0,50)	10,74 (0,45)	9,67 (1,29)	8,58 (0,27)
		74,89				
Koe	80,9 (1,81)	(6,53)	4,25 (0,24)	10,75 (0,60)	9,76 (1,31)	8,58 (0,36)
	80,98	79,69				
Kont.	(0,95)	(6,90)	4,23 (0,62)	10,74 (0,29)	9,60 (1,27)	8,58 (0,17)

Muuttuja	MEF75	pr.MEF50	MEF50	pr.MEF25	MEF25
		5,16			
Kaikki	8,19 (1,65)	(0,28)	4,88 (1,47)	2,09 (0,29)	2,02 (0,84)
		5,13			
Koe	8,05 (1,88)	(0,21)	4,33 (0,81)	2,05 (0,22)	1,70 (0,46)
		5,18			
Kont.	8,29 (1,44)	(0,29)	5,31 (1,71)	2,12 (0,34)	2,27 (0,98)

pr. = oletettu arvo tutkittavan ikään, painoon, pituuteen, sukupuoleen ja etniseen taustaan verraten. VCMAX = keuhkojen vitaalikapasiteetti, FVC = Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeen maksimaalisesti uloshengitetyn ilman tilavuus, FEV1 = Maksimaalisen sisäänhengityksen jälkeinen ensimmäisen sekunnin aikana uloshengitetyn ilman tilavuus, FEV1% = FEV1/FVC, PEF = Maksimaalisen uloshengityksen ilman virtaus, MEF25 - 75 Uloshengitysvirtaus viimeisen kolmen tilavuusneljänneksen (25 - 75%) kohdalla FVC:stä.

11 POHDINTA

Tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää vaikuttaako vastustettu sisäänhengitysharjoittelu kestävyyskuntoilija miehillä hengityselinten voimantuottoon, kestävyyskykyyn ja koettuun rasitukseen submaksimaalisessa kuormituksessa sekä hengitysharjoittelussa. Lisäksi selvitettiin maksimaalisen polkupyöräergometritestin vaikutusta hengityselinten akuuttiin voimantuottoon. Tutkimuksen päätuloksia olivat:

- 1) Neljän viikon vastustettu sisäänhengitysharjoittelu nosti kestävyyskuntoilija miesten sisäänhengityselinten voimantuottoa merkitsevästi koe- ja kontrolliryhmillä.
- 2) Sisäänhengityselinissä havaittiin akuuttia voimantuoton laskua maksimaalisen polkupyöräergometrikormituksen seurauksena alkumittauksissa ja uloshengityselinissä sekä alku- että loppumittauksissa.
- 3) Neljän viikon interventio jaksolla ei ollut merkitsevää vaikutusta kestävyyskuntoilijoiden suorituskykyyn maksimaalisessa polkupyöräergometritestissä.

11.1 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun aiheuttamat muutokset sisäänhengityselinten maksimaalisessa voimantuotossa ja koossa

Vastustetulla sisäänhengitysharjoittelulla on saatu aikaan positiivisia vaikutuksia niin hengityselinten koossa kuin niiden voimantuotossa aikaisemmissa tutkimuksissa. Näyttäisi siltä, että MIP:n suureneminen hengitysharjoittelun seurauksena johtuu sekä neuraalisista että hypertrofisista tekijöistä niin kuin muillakin luurankolihasilla. Enright ym. (2006) ja Downey ym. (2007) tutkimuksissa sekä pallean koko että MIP kasvoivat sisäänhengitysharjoittelun seurauksena 4 - 8 viikon tutkimusjakson aikana.

Tässä tutkimuksessa koeryhmä harjoitteli vastuksella, joka vastaa 90 - 120 cmH₂O (ilman virtauksen ollessa 0,3 l/s eli 18 l/min), joka on keskimäärin 69 - 92 prosenttia koeryhmän alkumittauksen tuloksista. Kontrolliryhmä harjoitteli vastuksella, joka vastaa 20 - 25 cmH₂O (ilman virtauksen ollessa 0,3 l/s eli 18 l/min), joka on keskimäärin 14 - 17 prosenttia kontrolliryhmän tuloksista. Molemmat ryhmät harjoittelivat 4 viikon ajan 5 kertaa viikossa vapaavalintaisina päivinä 30 hengitystä kerrallaan. Molemmat ryhmät harjoittelivat vastuksen kanssa vain sisäänhengitystä.

Koko tutkimusryhmä paransi tulostaan maksimaalisessa sisäänhengityslihasten voimantuoton testissä (137 ± 36 cmH₂O vs. 160 ± 32 cmH₂O $p < 0,001$), absoluuttisen muutoksen ollessa 23 ± 20 cmH₂O ja prosentuaalisen muutoksen $16,8 \pm 20,7$ % Tarkasteltaessa tuloksia ryhmittäin ei tuloksissa ollut tilastollisesti merkittäviä eroja, vaikkakin koeryhmä paransi absoluuttisesti ja prosentuaalisesti hieman kontrolliryhmää enemmän (absoluuttinen muutos 26 vs. 21 cmH₂O, prosentuaalinen muutos 20,0 vs. 14,7 %) (TAULUKKO 1.).

Riganas ym. (2019) tutkimuksessa 6 viikon harjoittelu, 30 min päivässä, 5 kertaa viikossa lisääntyvällä absoluuttisella intensiteetillä johti sisäänhengityslihasten voimantuoton kasvuun. Yksi harjoitus koostui kuudesta 4 minuutin sarjasta, joiden välissä oli minuutin palautus. Hengitysfrekvenssin tutkittavat saivat määrittää itse. Harjoittelu aloitettiin 30 % MIP:sta ja vastusta lisättiin joka harjoituksen jälkeen 5 % kunnes se oli melkein 80 % MIP:sta toisen harjoitusviikon lopulla. Harjoittelua jatkettiin 80 % MIP:sta seuraavien neljän viikon ajan ja vastus tarkistettiin viikoittain vastaamaan sen hetkistä MIP:ta. IMT paransi MIP:ta miehillä (135 vs. 180 cmH₂O. $p < 0,05$). Verrattaessa Riganas ym. (2019) tutkimuksen tuloksia tämän tutkimuksen tuloksiin, voidaan todeta, että noudattamalla progressiivisuutta harjoittelussa sekä pidentämällä harjoitusjakson pituutta voidaan saada aikaan vielä suurempia muutoksia sisäänhengityslihasten maksimaalisessa voimantuotossa.

Aikaisempien sekä tämän tutkimuksen perusteella voidaan todeta, että vastustettu sisäänhengitysharjoittelu on tehokas keino kasvattaa sisäänhengityslihasten maksimaalista voimantuottoa (Tzelepis ym. 1994, Tzelepis ym. 1999, Romer ym. 2002c, Romer & McConnell 2003, McConnell & Sharpe 2005, Enright ym. 2006, Downey ym. 2007, Watsford & Murphy 2008, Brown ym. 2012, Bell ym. 2013, Faghy & Brown 2016, Hartz ym. 2018, Karsten ym. 2018, Rodriques ym. 2018 Cavalcante Silva ym. 2019, Riganas ym. 2019 ja Antonelli ym. 2020) sekä mahdollisesti myös kasvattaa sisäänhengityslihasten kokoa (Enright ym. 2006 ja Downey ym. 2007).

Riippuen harjoittelun laadusta voidaan erilaisilla vastuksilla harjoittaa lihasten erilaisia voimantuotollisia ominaisuuksia kuten tehontuottoa (Tzelepis ym. 1994, Tzelepis ym. 1999, Romer & McConnell 2003) ja kestävyyttä (Caine & McConnell 1998, McConnell 2013, 100 mukaan). Harjoitukset, joissa vastus on kohtalainen (50 - 60 %) ja sarja tehdään sietokykyyn asti (noin 30 toistoa), ovat tuottaneet suurimmat toiminnalliset adaptaatiot (Romer & McConnell 2003). Näyttäisi myös siltä, että samanaikaisella vastustetulla sisään- ja

uloshengitysharjoittelulla ei saada aikaiseksi yhtä hyviä tuloksia sisäänhengityslihasten voimantuotossa, sillä tutkittavat raportoivat että, molempien hengitysten suorittaminen peräkkäin tuntui epämiellyttävältä ja oli mahdotonta suorittaa molemmat hengitykset maksimaalisesti (Wells ym. 2005 ja McConnell 2007).

11.2 Hengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena

Maksimaalisessa kuormituksessa lihasten lisääntynyt hapentarve ja hiilidioksidin tuotto lisäävät ventilaatiota eli keuhkotuulesta. Keuhkotuuletus voi nousta kuormituksen aikana jopa viisinkertaiseksi lepoventilaatioon verrattuna, joka lisää huomattavasti hengityslihasten supistumisfrekvenssiä, niiden liikelaaajuutta sekä voimantuoton tarvetta. Jatkuvat voimakkaat supistukset johtavat lihaksen väsymiseen. Maksimaalisen rasituksen seurauksena hengityslihaksissa on todettu esiintyvän akuuttia väsymystä (Loke ym. 1982, Hill ym. 1991, Chevrolet ym. 1993, Johnson ym. 1993, Ker & Schultz 1996, Sharpe ym. 1996, Babcock ym. 1998, Coast 1999, Volianitis ym. 2001, Romer ym. 2002b, Romer ym. 2002c, Lomax & McConnell 2003, Verges ym. 2006, Griffiths & McConnell 2007, Taylor ym. (2006) Ross ym. 2008, Queslati ym. 2018 ja Tiller ym 2019). Tässä tutkimuksessa maksimaalinen porrattainen polkupyöräergometrikuormitus vähensi sekä sisään- että uloshengityslihasten akuuttia maksimaalista voimantuottoa.

11.2.1 Sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena

Samoin kuin aikaisemmissa tutkimuksissa (Loke ym. 1982, Chevrolet ym. 1993, Ker & Schultz 1996, Sharpe ym. 1996, Hill ym. 1991, Coast 1999, Volianitis ym. 2001, Romer ym. 2002c, Lomax & McConnell 2003, Griffiths & McConnell 2007, Ross ym. 2008 ja Queslati ym. 2018) myös tässä tutkimuksessa sisäänhengityslihasten akuutti voimantuotto laski maksimaalisen kestävyyskuormituksen seurauksena molemmilla ryhmillä (160 vs. 145 cmH₂O $p < 0,001$) (KUVAT 11 ja 12 sekä TAULUKKO 1), mutta kuitenkin vain loppumittauksissa. Alkumittauksissa merkittävää voimantuoton heikkenemistä ei ollut havaittavissa. Tämä voi johtua siitä, että alkumittauksissa ennen rasitusta tutkittavat eivät vielä täysin osanneet tuottaa maksimaalisesti voimaa MIP-mittauksessa, jonka takia voimantuoton heikkenemistä ei ollut havaittavissa rasituksen jälkeen. Samoin kuin tässä tutkimuksessa, kaikissa edellä mainituissa

tutkimuksissa sisäänhengityslihasten väsymystä mitattiin MIP:llä, joka edustaa kokonaisvaltaisesti sisäänhengityslihasten maksimaalista voimantuottoa.

Myös voimantuoton vähenemisen suuruus on linjassa aikaisempien tutkimusten kanssa. Loke ym. (1982) tutkimuksessa sisäänhengityslihasten voimantuotto laski 23 cmH₂O (165.8 ± 11.0 vs. 138.5 ± 7.6 cmH₂O, p < 0,01), kun tässä tutkimuksessa se laski 15 cmH₂O (160 ± 32 vs. 145 ± 32 cmH₂O p < 0,001). On kuitenkin myös tutkimuksia, joissa maksimaalisen kuormitus ei vähentänyt sisäänhengityslihasten voimantuottoa tilastollisesti merkitsevästi, vaikka trendi olikin tuloksista havaittavissa (Tiller ym. 2019) (KUVA 2).

Tuloksien heikentyminen maksimaalisen rasituksen jälkeen on voinut johtua myös tutkittavien yrityksen puutteesta, jolloin MIP jää todellista maksimaalista voimantuottoa alhaisemmaksi. Tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin motivoinnilla saada jokainen tutkittava yrittämään parhaansa jokaisessa mittaustilanteessa. Useissa tutkimuksissa (Johnson ym. 1993, Mador ym. 1993 ja Babcock ym. 1998) pallean supistumiskyky heikkeni maksimaalisen suorituksen seurauksena, kun pallehermoa stimuloitiin sähköön tai magneettikentän avulla. Pallean supistumiskyvyn heikkeneminen kertoo vähentyneestä sisäänhengityslihasten voimantuotosta. Täten voidaan olettaa, että sisäänhengityslihasten voimantuoton laskussa on ollut kyse perifeerisestä väsymyksestä eikä pelkästään tutkittavien yrityksen puutteesta.

11.2.2 Uloshengityslihasten maksimaalisen voimantuoton akuutti heikentyminen maksimaalisen polkupyöräergometrikuormituksen seurauksena

Tutkimusten mukaan uloshengityslihasten voimantuoton väheneminen maksimaalisen rasituksen seurauksena ei ole yhtä selkeää kuin sisäänhengityslihasten voimantuoton väheneminen. Tässä tutkimuksessa rasituksen jälkeen uloshengityslihasten voimantuotto oli merkitsevästi heikentynyt sekä alku- että loppumittauksissa maksimaalisen rasituksen seurauksena (p < 0,05) (KUVA 11 ja TAULUKKO 1) samoin kuin Queslat ym. (2018) tutkimuksessa maksimaalisen porrattaisen testin jälkeen. MEP ei laskenut maratonin seurauksena Chevrolet ym. (1993) ja Ross ym. (2008) tutkimuksissa, kun taas Tiller ym. (2019) tutkimuksessa 10 peräkkäisenä päivänä juostut 10 maratonia aiheuttivat akuutisti väsymystä uloshengityslihaksissa (KUVA 3) samoin kuin maksimaalinen soutuosuoritus (Griffiths & McConnell 2007). MEP ei laskenut triathlonin seurauksena (Hill ym. 1991) tai maksimaalisen polkupyöräergometritestin seurauksena (Coastin ym. 1999).

Samoin kuin sisäänhengityslihasten voimantuottoa mitattaessa, voi uloshengityslihasten voimantuoton lasku olla peräisin tutkittavien pienemmästä yrittämisestä. Tutkimuksessa pyrittiin kuitenkin motivoinnilla saada jokainen tutkittava yrittämään parhaansa jokaisessa mittaustilanteessa. Samoin kuin pallean voimantuottoa on mitattu magneettistimuloinnin avulla, myös vatsalihasten voimantuottoa on mitattu magneetikenttästimulaation avulla. Taylor ym. (2006) ja Verges ym. (2006) huomasivat tutkimuksissaan kovaintensiteettisen uupumukseen asti tehtävän polkupyöräergometritestin vähentävän vatsalihasten voimantuottoa, kun niitä stimuloitiin magneetikentän avulla. Täten voidaan olettaa, että voimantuoton lasku ei johdu pelkästään tutkittavien motivaatiosta maksimaalisen rasituksen jälkeen. Uloshengityslihakset toimivat myös pitkälti muiden luurankoli hasten tapaan voimantuottajina ihmisen liikkeessä, jolloin ne väsyvät myös muiden vaikutusten kautta kuin pelkästään kohonneen ventilaation ansiosta. EMF:sta esiintyy luultavimmin tilanteissa, joissa intensiteetti on maksimaalinen ja/tai tilanteissa, joissa uloshengityslihakset ovat avainasemassa voiman välittämisessä kuten soudussa. (McConnell 2013, 73.)

11.3 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun vaikutus kestävyys suorituskykyyn ja koettuun rasitukseen submaksimaalisessa kuormituksessa

Tutkimuksessa kummankaan tutkimusryhmän kestävyys suorituskyky ei parantunut merkitsevästi eikä muutosta ollut myöskään havaittavissa tutkittavien koetussa rasituksessa (RPE) submaksimaalisilla kuormilla (75 - 200 w) (TAULUKKO 3), vaikka Illi ym. (2012) ja Karsten ym. (2018) sekä muut (McConnell 2013; 103, Faghy & Brown 2016 ja Antonelli ym. 2020) ovat havainneet merkitsevää kestävyys suorituskyvyn nousua vastusten sisäänhengitysharjoittelun seurauksena. (Illi ym. 2012, McConnell 2013; 103, Faghy & Brown 2016, Karsten ym. 2018, Riganas ym. 2019 ja Antonelli ym. 2020). Illi ym. (2012) meta-analyysin mukaan tutkimuksissa IMT:lla on saatu 1,7 – 4,6 % (1-60 minuuttia kestävässä testeissä) parannuksia aikaa vastaan tehtävissä testeissä, kun taas uupumukseen asti tehtävissä testeissä on saatu yli 30 % parannuksia (yli 30 minuuttia kestävässä testeissä). Lyhyemmissä kovaintensiteettisissä testeissä parannukset ovat pienempiä (n. 4 % testissä, joka kesti alle 4 min). Illin ym. (2012) tuloksiin verraten, yksi tekijä minkä takia kestävyys suorituskyky ei parantunut voi olla maksimaalisen polkupyöräergometritestin lyhyys ajallisesti. Keskiarvallisesti testi loppui noin 22 minuutin kohdalla. Tässä tutkimuksessa ei myöskään kontrolloitu muuta harjoittelua, jolla on iso rooli kestävyys suorituskyvyn kehittymisen kannalta. Tutkittavia ohjeistettiin pitämään harjoittelu samanlaisena kuin ennen

interventiojaksoa. Lisäksi valloillaan oleva COVID-19 pandemia saattoi aiheuttaa muutoksia tutkittavien fyysiseen aktiivisuuteen tai liikuntakäyttäytymiseen, jolla on suora yhteys kestävyysuorituskykyyn. Osittain valloillaan olevasta pandemiasta johtuen tutkittavien viimeisen harjoituspäivän ja lopputestipäivän välillä saattoi olla maksimissaan 13 päivää, joka myös vaikuttaa tuloksiin. Tutkimuksen alussa maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometritestin kuormien vaihto automatisoitiin liittämällä Monark LC4 polkupyöräergometri USB-johdolla kannettavaan tietokoneeseen ja Monark test Software-ohjelmistoon, jossa oli tutkimukselle ennalta määritetyt kuormat sekä kuormien kestot. Ohjelmiston käytöstä kuitenkin luovuttiin tutkimuksen aikana, sillä sen käytössä esiintyi huomattavia ongelmia. Tämän jälkeen kuormia nostettiin manuaalisesti. Automatisoidun ja manuaalisen kuormien noston välisestä erosta on voinut aiheutua mittavirhettä tutkimuksessa.

Riganas ym. (2019) tutkimuksessa IMT vähensi hengityksen raskauden tunnetta naisilla merkitsevästi, mutta ei miehillä. Vaikka rasituksen tunne kuormituksen aikana vähentyi, lisääntyi naisten maksimiventilaatio rasituksessa. Täten voidaan varovaisesti olettaa, että suurempi ventilaatio vähentää hengityksen rasittuneisuuden tunnetta. Faghy ja Brown (2016) tutkimuksessa IMT alensi sykettä sekä vähensi rasittuneisuuden tunnetta kuormituksessa. Tässä Jyväskylän yliopiston tutkimuksessa ei kuitenkaan merkitsevää tilastollista eroa havaittu rasittuneisuuden tunteessa submaksimaalisilla kuormilla alku- ja lopputestien välillä. Pieni trendi tutkimuksessa oli havaittavissa, sillä koettu rasittuneisuus submaksimaalisilla kuormilla oli lopputesteissä 3,4 % pienempi alkutesteihin verrattuna. Voi olla, että tuloksissa olisi ollut tilastollisesti merkitsevä ero, jos olisi kysytty hengityksen raskauden tunnetta, eikä yleistä kuormittuneisuuden tunnetta. Kuormittuneisuuden tunnetta maksimaalisessa porrattaisessa polkupyöräergometrikuormituksessa ohjaa luultavasti pitkälti jalkojen kuormittuneisuuden tunne. Tutkittavilla ei ollut juurikaan pyöräilytaustaa, mikä varmasti vaikutti jalkojen kuormittuneisuuden tunteeseen ja sitä kautta yleiseen rasittuneisuuden tunteeseen. Lisäksi tilastollinen merkitsevyys olisi voinut olla isompi, jos tutkimusjoukko olisi ollut suurempi. Riganas ym. (2019) tutkimuksessa kuormitus tehtiin soutaen, jolloin hengityslihakset väsyvät luultavasti huomattavasti enemmän, koska ne osallistuvat myös voimantuottoon urheilusuorituksessa. Täten niiden kehittäminen on parantanut myös itse urheilusuorituksen suorittamista. Faghy ja Brown (2016) tutkimuksessa kannettiin juosten 25 kg rinkkaa, joka asettaa biomekaniikaltaan ja keskivartalon voimantuoton vaateiltaan aivan erilaiset lähtökohdat. Täten myös kuormitusmalli voi selittää eroja tutkimusten välillä.

11.4 Vastustetun sisäänhengitysharjoittelun rasittavuus

Vaikka tutkimuksessa tutkimusryhmien vastukset erosivat huomattavasti toisistaan 20 - 25 cmH₂O vs. 90 - 120 cmH₂O (ilman virtauksen ollessa 0,3 l/s eli 18 l/min), ei ilman hengitysharjoittelun koetussa rasittavuudessa ollut merkittäviä eroja. Prosentuaalisesti kontrolliryhmän ja koeryhmän käytetyt vastukset olivat 14 - 17 % vs. 69 - 92 MIP:sta. Hyvin pieni ero rasittavuudessa johtunee siitä, että vastus mukautuu ilmanvirtauksen nopeuteen. Mitä nopeammin ilma virtaa vastuksen läpi, sitä enemmän se vastustaa hengitystä. Täten suhteellinen intensiteetti molemmilla tutkimusryhmillä oli kutakuinkin sama, joka näkyy samana rasittavuutena (RPE 4,2 – 4,8) (TAULUKKO 2). Toisaalta vastustettuhengitysharjoittelu ja aktiivinen sisäänhengitysilihasten harjoittaminen oli kaikille tutkittaville uutta, jolloin subjektiivisen rasituksen arviointi on ollut hankalaa. Tämä arviointi harha oltaisiin voitu saada poistettua niin, että tutkittavat olisivat saaneet kokeilla laitteen kaikkia vastuksia, mutta tällöin olisi ollut riski siinä, että tutkittava tietää olevansa varmuudella kontrolliryhmässä.

Tässä Jyväskylän yliopiston tutkimuksessa sisäänhengitysilihasten voimantuotto kasvoi harjoittelun seurauksena (KUVA 11.) Oletettavaa olisi, että harjoiteltaessa samalla kuormalla sisäänhengitysilihasten voimantuoton kasvu vähentäisi harjoittelun kuormittavuutta harjoittelun edetessä. Harjoittelun rasittavuus ei kuitenkaan pienentynyt merkitsevästi harjoitusjakson aikana, vaikka staattinen hengitysvastus oli koko harjoitusjakson ajan sama (TAULUKKO 2). Tämä johtunee siitä, että sisäänhengitysilihasten voimantuoton kasvaessa myös ilman virtausnopeus kasvaa. Lisääntyneestä ilman virtausnopeudesta johtuen, suhteellinen intensiteetti ja kuormittavuus säilyy korkeana hengitysilihasten voimatasojen kasvaessa.

11.5 Sisäänhengitysilihasten maksimaalisen voimantuoton yhteys uloshengitysilihasten maksimaaliseen voimantuottoon, spirometria-arvoihin, lopetusaikaan sekä antropometriaan

Spirometriamuuttujista ainoastaan MEF25 korreloi negatiivisesti MIP1pre kanssa ($r = -0,434$ $p < 0,05$). Hengitysilihasten voimantuotolla ei siis ollut yhteyttä keuhkojen tilavuuteen tai uloshengityksen virtausnopeuteen tutkimuksessa. Myöskään useimmissa aikaisemmissa tutkimuksissa ei ole havaittu spirometria-arvojen paranemista sisäänhengitysilihaksia harjoittamalla (Bell ym. 2013, Karsten ym. 2018 ja Riganas ym. 2019). Heidän tutkimuksen

päätelmiä tukee Bell ym. (2013) ja Riganas ym. (2019) tutkimukset. Voidaan sanoa, että pääasiassa ihmisen liikkumisesta vastaavat luurankolihasien voimantuotto korreloi pituuden sekä painon kanssa (Samson ym. 2000). Tässä tutkimuksessa ei kuitenkaan löydetty merkittävää korrelaatiota sisäänhengityslihasten maksimaalisen voimantuoton ja pituuden sekä painon välillä. Tämä tulos johtuu luultavasti liian homogeenisestä ja pienestä tutkimusjoukosta, jolloin merkittävää korrelaatiota ei saada näkyviin. Jalayondeja ym. (2014) mukaan MIP korreloi painon ja pituuden kanssa ja naisilla vain painon osalta. MEP ei puolestaan korreloi pituuden tai painon kanssa sekä naisilla että miehillä.

Akinoglu ym. (2019) tutkimuksessa urheilijoilla jalkojen ojentajien ja koukistajien voimantuotto korreloi hengityslihasten voimantuoton kanssa merkitsevästi. Samoin terveillä ikääntyneillä ihmisillä, sairaalahoidossa olevilla potilailla, aivoinfarktтин saaneilla yli 50-vuotiailla käden puristusvoima korreloi hengityslihasten voimantuoton kanssa (Shin ym. 2017, Kim 2018 ja Peterson ym. 2020). Sawaya ym. (2020) tutkimuksessa luurankolihasmassaindeksi korreloi positiivisesti MEP:n kanssa yli 65-vuotiailla pitkäaikaishoidettavilla ja Shin ym. (2017) tutkimuksessa terveillä ikääntyneillä ihmisillä luurankolihasmassaindeksi korreloi positiivisesti sekä MIP:n että MEP:n kanssa. Yllä mainittujen tulosten perusteella voidaan olettaa, että hengityslihakset kehittyvät muiden lihasten mukana harjoiteltaessa kuormittavasti ja samoin niiden toimintakyky heikkenee muiden lihasten toimikyvyn heiketessä sairaalahoidossa tai vuodelevossa. Ikääntymisellä on myös negatiivinen vaikutus hengityslihasten voimantuottoon (Nambiar ym. 2015). Vaikkakin Jalayondeja ym. (2014) tutkimuksen mukaan MIP laskee merkitsevästi vasta 60 ikävuoden jälkeen ja MEP:n sillä ei ole vaikutusta.

Maksimaalisen porrattaisen polkupyöräergometritestin lopetusaika ei korreloinut sisään- eikä uloshengityslihasten maksimaaliseen voimantuoton kanssa. Täten ei voida suoraan sanoa, että hengityslihasten absoluuttisilla maksimivoimatasoilla ja kestävyysuorituskyvyllä polkupyöräergometritestissä olisi yhteys, vaikkakin yksilön sisäänhengityslihasten voimatasojen paraneminen näyttäisi olevan yhteydessä kestävyysuorituskyvyn paranemiseen (Illi ym. 2012, McConnell 2013; 103, Faghy & Brown 2016, Karsten ym. 2018, Riganas ym. 2019).

Sisäänhengityslihasten voimantuotto ennen rasiutusta korreloi tilastollisesti erittäin merkitsevästi sisäänhengityslihasten voimantuoton kanssa rasiutuksen jälkeen ($r = 0,669$ $p <$

0,001) (KUVA 16.). Samoin uloshengityslihasten voimantuotto ennen rasitusta korreloi tilastollisesti erittäin merkitsevästi uloshengityslihasten voimantuoton kanssa rasituksen jälkeen ($r = 0,704$ $p < 0,001$). Nämä tulokset eivät ole missään muodossa yllättäviä, koska edellä mainittujen tulosten tuleekin korreloida keskenään lihasten fysiologian ja anatomian mukaisesti. Ulos- ja sisäänhengityslihasten voimantuotto korreloivat keskenään MIP1 ja MEP1 ($r = 0,431$ $p < 0,05$) (KUVA 17.), MIP1 ja MEP2 ($r = 0,535$ $p < 0,01$) sekä MIP2 ja MEP2 ($r = 0,460$ $p < 0,05$). Täten voidaan olettaa, että henkilöllä, jolla on vahvat sisäänhengityslihakset ovat myös uloshengityslihakset vahvat.

Sisään- ja uloshengityslihasten absoluuttisten voimantuottoarvojen suuruus tutkimuksen alussa ei korreloinut negatiivisesti tai positiivisesti nähdyn voimantuoton muutoksen kanssa. Tämä tulos on vastoin Illi ym. (2012) tutkimusta, jossa he totesivat heikompi kuntoisten hyötyvät eniten vastushengitysharjoittelusta, koska heidän absoluuttinen ja prosentuaalinen parannuspotentiaali on suurin. Sen sijaan uloshengityslihasten voimantuoton kasvu näkyy kokonaisvaltaisena uloshengityslihasten voimantuoton kasvuna sekä ennen rasitusta että rasituksen jälkeen (MEP1- ja MEP2 muutos korreloivat keskenään $r = 0,602$, $p < 0,05$). Tämä on myös luonnollinen tulos, sillä absoluuttisten voimatasojen kasvaessa myös absoluuttiset voimatasot väsytyksen jälkeen ovat korkeammalla. Kuitenkaan sisäänhengityslihasten voimantuoton muutoksia tarkasteltaessa, vastaavaa korrelaatiota ei ollut havaittavissa. Korrelaation puuttumiseen ei ole luonnollista syytä. Jos sisäänhengityslihasten voimantuotto oli suurempaa intervention ja rasituksen jälkeen, niin myös uloshengityslihasten voimantuotto oli suurempaa (MIP2- ja MEP2-muutos korreloi $r = 0,732$, $p < 0,01$). Luultavasti tämä johtuu oppimisesta testin suorittamisessa, jolloin tutkittavat pystyivät tuottamaan enemmän voimaa molemmissa testeissä.

11.6 Käytännön sovellutukset ja johtopäätökset

Urheilijat ja valmentajat etsivät koko ajan uusia tapoja parantaa suorituskykyä sekä tapoja, joilla voisivat saada kilpailuetua verrattuna muihin urheilijoihin. Tämän tutkimuksen perusteella näyttäisi siltä, että vastustettu sisäänhengitysharjoittelu on menetelmänä kykeneväinen vastaamaan edellä mainittuihin vaateisiin.

Tämän tutkimuksen sekä aikaisemman tutkimusnäytön perusteella vastustettu sisäänhengitysharjoittelu on erittäin tehokas keino lisätä sisäänhengityslihasten maksimaalista

voimantuottoa (Tzelepis ym. 1994, Tzelepis ym. 1999, Romer ym. 2002c, Romer & McConnell 2003, McConnell & Sharpe 2005, Enright ym. 2006, Downey ym. 2007, Watsford & Murphy 2008, Brown ym. 2012, Bell ym. 2013, Faghy & Brown 2016, Hartz ym. 2018, Karsten ym. 2018, Rodriques ym. 2018 Cavalcante Silva ym. 2019, Riganas ym. 2019, Antonelli ym. 2020). Tämän tutkimuksen mukaan vastustetulla sisäänhengitysharjoittelulla voi olla myös joitakin positiivisia vaikutuksia uloshengityshusten maksimaalisen voimantuoton paranemisen kannalta, vaikka suurin osa parannuksesta tapahtuukin luultavasti oppimisen kautta.

Maksimaalisen kestävyysuorituksen seurauksena hengityshustaksissa ilmenee väsymystä, joka todetaan sekä tässä tutkimuksessa että aikaisemmissa tutkimuksissa (Loke ym. 1982, Hill ym. 1991, Chevrolet ym. 1993, Johnson ym. 1993, Ker & Schultz 1996, Sharpe ym. 1996, Babcock ym. 1998, Coast 1999, Volianitis ym. 2001, Romer ym. 2002b, Romer ym. 2002c, Lomax & McConnell 2003, Verges ym. 2006, Griffiths & McConnell 2007, Taylor ym. (2006) Ross ym. 2008, Queslati ym. 2018 ja Tiller ym. 2019). Vaikka tässä tutkimuksessa tutkittavien kestävyysuorituskyky ei parantunut merkitsevästi, voidaan IMT:lla mahdollisesti parantaa sitä aikaisempien tutkimusten mukaan (Illi ym. 2012, McConnell 2013; 103, Faghy & Brown 2016, Karsten ym. 2018, Riganas ym. 2019 ja Antonelli ym. 2020). Fysiologiset muuttajat parantuneen kestävyysuorituskyvyn taustalla luultavasti liittyvät vahventuneisiin ja kestävämpiin sisäänhengityshustuksiin. Vahvempien sisäänhengityshusten ansiosta sisäänhengityshusten metaborefleksi myöhästyy ja työskentelevien raajojen verisuonten vasokonstriktio on pienempää. Näin lihakset saavat enemmän happea, metaboliittien poisto on tehokkaampaa ja laktaatin tuotto on pienempää. On myös mahdollista, että kestävyysuorituskyvyn paraneminen johtuu maksimaalisen hapenottokyvyn, spirometriamuuttujien sekä hengityshusten laktaatin poiston ja oksidaativisen kapasiteetin kehittymisestä, joskin näiden mekanismien todennäköisyys on kirjallisuuden pohjalta arvioituna pienempi.

Vastustettua sisäänhengitysharjoittelua voidaan käyttää niin ikäihmisillä, urheilijoilla, liikkumisrajoitteisilla kuin sairailta kestävyysuorituskyvyn parantamiseen muun kehittävän harjoittelun tukena sen suuren skaalautuvuuden vuoksi. Vastustetussa sisäänhengitysharjoittelussa tulee noudattaa muiden luurankolihasien kehittämisen tapaan intensiteetin, volyymin, frekvenssin, keston, lihastyötavan, liikelaajuuden ja progressiivisuuden periaatteita, jotta kehittyminen on mahdollisimman tehokasta, pitkäaikaista ja tarkoituksen mukaista.

LÄHTEET

- Akinoglu, B., kest, T. & Ozkan, T. 2019. The relationship between peripheral muscle strength and respiratory function and respiratory muscle strength in athletes. *Journal of Exercise Rehabilitation* 15 (1), 44-49. doi:10.12965//jer.1836518.259 [doi].
- Amann, M., Blain, G. M., Proctor, L. T., Sebranek, J. J., Pegelow, D. F. & Dempsey, J. A. 2010. Group III and IV muscle afferents contribute to ventilatory and cardiovascular response to rhythmic exercise in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 109 (4), 966-976. doi:10.1152/jappphysiol.00462.2010 [doi].
- Amann, M., Proctor, L. T., Sebranek, J. J., Pegelow, D. F. & Dempsey, J. A. 2009. Opioid-mediated muscle afferents inhibit central motor drive and limit peripheral muscle fatigue development in humans. *The Journal of Physiology* 587 (1), 271-283. doi:10.1113/jphysiol.2008.163303 [doi].
- Babcock, M. A., Pegelow, D. F., Taha, B. H. & Dempsey, J. A. 1998. High frequency diaphragmatic fatigue detected with paired stimuli in humans. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 30 (4), 506-511. doi:10.1097/00005768-199804000-00006 [doi].
- Bailey, S. J., Romer, L. M., Kelly, J., Wilkerson, D. P., DiMenna, F. J. & Jones, A. M. 2010. Inspiratory muscle training enhances pulmonary O₂ uptake kinetics and high-intensity exercise tolerance in humans. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 109 (2), 457-468. doi:10.1152/jappphysiol.00077.2010 [doi].
- Bell, G. J., Game, A., Jones, R., Webster, T., Forbes, S. C. & Syrotuik, D. 2013. Inspiratory and expiratory respiratory muscle training as an adjunct to concurrent strength and endurance training provides no additional 2000 m performance benefits to rowers. *Research in Sports Medicine (Print)* 21 (3), 264-279. doi:10.1080/15438627.2013.792090 [doi].
- Brancatisano, T. P., Dodd, D. S. & Engel, L. A. 1984. Respiratory activity of posterior cricoarytenoid muscle and vocal cords in humans. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 57 (4), 1143-1149. doi:10.1152/jappl.1984.57.4.1143 [doi].
- Brown, P. I., Sharpe, G. R. & Johnson, M. A. 2012. Inspiratory muscle training abolishes the blood lactate increase associated with volitional hyperpnoea superimposed on exercise and

- accelerates lactate and oxygen uptake kinetics at the onset of exercise. *European Journal of Applied Physiology* 112 (6), 2117-2129. doi:10.1007/s00421-011-2185-8 [doi].
- Cavalcante Silva, R. L., Hall, E. & Maior, A. S. 2019a. Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional soccer players. *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 23 (3), 452-455. doi:S1360-8592(19)30070-1 [pii].
- Chevrolet, J. C., Tschopp, J. M., Blanc, Y., Rochat, T. & Junod, A. F. 1993. Alterations in inspiratory and leg muscle force and recovery pattern after a marathon. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 25 (4), 501-507.
- Coast, J. R., Haverkamp, H. C., Finkbone, C. M., Anderson, K. L., George, S. O. & Herb, R. A. 1999. Alterations in pulmonary function following exercise are not caused by the work of breathing alone. *International Journal of Sports Medicine* 20 (7), 470-475. doi:10.1055/s-1999-8828 [doi].
- DePalo, V. A., Parker, A. L., Al-Bilbeisi, F. & McCool, F. D. 2004. Respiratory muscle strength training with nonrespiratory maneuvers. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 96 (2), 731-734. doi:10.1152/jappphysiol.00511.2003 [doi].
- Downey, A. E., Chenoweth, L. M., Townsend, D. K., Ranum, J. D., Ferguson, C. S. & Harms, C. A. 2007. Effects of inspiratory muscle training on exercise responses in normoxia and hypoxia. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 156 (2), 137-146. doi:S1569-9048(06)00239-4 [pii].
- Enright, S. J., Unnithan, V. B., Heward, C., Withnall, L. & Davies, D. H. 2006. Effect of high-intensity inspiratory muscle training on lung volumes, diaphragm thickness, and exercise capacity in subjects who are healthy. *Physical Therapy* 86 (3), 345-354.
- Faghy, M. A. & Brown, P. I. 2016. Training the inspiratory muscles improves running performance when carrying a 25 kg thoracic load in a backpack. *European Journal of Sport Science* 16 (5), 585-594. doi:10.1080/17461391.2015.1071878 [doi].
- Gandevia, S. C. 2001. Spinal and supraspinal factors in human muscle fatigue. *Physiol Rev.*
- Griffiths, L. A. & McConnell, A. K. 2007. The influence of inspiratory and expiratory muscle training upon rowing performance. *European Journal of Applied Physiology* 99 (5), 457-466. doi:10.1007/s00421-006-0367-6 [doi].

- Guyton, A. C. & Hall, J. E. 2011. Textbook of medical physiology. 12. painos. Philadelphia, PA: W.B. Saunders.
- HajGhanbari, B., Yamabayashi, C., Buna, T. R., Coelho, J. D., Freedman, K. D., Morton, T. A., Palmer, S. A., ym. 2013. Effects of respiratory muscle training on performance in athletes: A systematic review with meta-analyses. *Journal of Strength and Conditioning Research* 27 (6), 1643-1663. doi:10.1519/JSC.0b013e318269f73f [doi].
- Harms, C. A., Babcock, M. A., McClaran, S. R., Pegelow, D. F., Nিকেle, G. A., Nelson, W. B. & Dempsey, J. A. 1997. Respiratory muscle work compromises leg blood flow during maximal exercise. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 82 (5), 1573-1583. doi:10.1152/jappl.1997.82.5.1573 [doi].
- Hartz, C. S., Sindorf, M. A. G., Lopes, C. R., Batista, J. & Moreno, M. A. 2018. Effect of inspiratory muscle training on performance of handball athletes. *Journal of Human Kinetics* 63, 43-51. doi:10.2478/hukin-2018-0005 [doi].
- Hill, N. S., Jacoby, C. & Farber, H. W. 1991. Effect of an endurance triathlon on pulmonary function. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 23 (11), 1260-1264.
- Hoh, J. F. 2005. Laryngeal muscle fibre types. *Acta Physiologica Scandinavica* 183 (2), 133-149. doi:APS1402 [pii].
- Illi, S. K., Held, U., Frank, I. & Spengler, C. M. 2012. Effect of respiratory muscle training on exercise performance in healthy individuals: A systematic review and meta-analysis. *Sports Medicine* (Auckland, N.Z.) 42 (8), 707-724. doi:10.2165/11631670-000000000-00000 [doi].
- Jalayondeja, W., Verner, O., Jarungjitaree, S. & Tscheikuna, J. 2014. Respiratory muscle strength explained by age and weight in female and male. *Journal of the Medical Association of Thailand = Chotmaihet Thangphaet* 97 Suppl 7, 16.
- Johnson, B. D., Babcock, M. A., Suman, O. E. & Dempsey, J. A. 1993. Exercise-induced diaphragmatic fatigue in healthy humans. *The Journal of Physiology* 460, 385-405. doi:10.1113/jphysiol.1993.sp019477 [doi].
- Jones, D. A., Rutherford, O. M. & Parker, D. F. 1989. Physiological changes in skeletal muscle as a result of strength training. *Quarterly Journal of Experimental Physiology* (Cambridge, England) 74 (3), 233-256. doi:10.1113/expphysiol.1989.sp003268 [doi].

- Karsten, M., Ribeiro, G. S., Esquivel, M. S. & Matte, D. L. 2018. The effects of inspiratory muscle training with linear workload devices on the sports performance and cardiopulmonary function of athletes: A systematic review and meta-analysis. *Physical Therapy in Sport : Official Journal of the Association of Chartered Physiotherapists in Sports Medicine* 34, 92-104. doi:S1466-853X(18)30165-2 [pii].
- Katayama, K., Iwamoto, E., Ishida, K., Koike, T. & Saito, M. 2012. Inspiratory muscle fatigue increases sympathetic vasomotor outflow and blood pressure during submaximal exercise. *American Journal of Physiology.Regulatory, Integrative and Comparative Physiology* 302 (10), 1167. doi:10.1152/ajpregu.00006.2012 [doi].
- Ker, J. A. & Schultz, C. M. 1996. Respiratory muscle fatigue after an ultra-marathon measured as inspiratory task failure. *International Journal of Sports Medicine* 17 (7), 493-496. doi:10.1055/s-2007-972884 [doi].
- Kim, N. S. 2018. Correlation between grip strength and pulmonary function and respiratory muscle strength in stroke patients over 50 years of age. *Journal of Exercise Rehabilitation* 14 (6), 1017-1023. doi:10.12965/jer.1836444.222 [doi].
- Loke, J., Mahler, D. A. & Virgulto, J. A. 1982. Respiratory muscle fatigue after marathon running. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology* 52 (4), 821-824. doi:10.1152/jappl.1982.52.4.821 [doi].
- Lomax, M. E. & McConnell, A. K. 2003. Inspiratory muscle fatigue in swimmers after a single 200 m swim. *Journal of Sports Sciences* 21 (8), 659-664. doi:10.1080/0264041031000101999 [doi].
- Mador, M. J. & Acevedo, F. A. 1991. Effect of respiratory muscle fatigue on subsequent exercise performance. *Journal of Applied Physiology (Bethesda, Md.: 1985)* 70 (5), 2059-2065. doi:10.1152/jappl.1991.70.5.2059 [doi].
- Mador, M. J., Magalang, U. J., Rodis, A. & Kufel, T. J. 1993. Diaphragmatic fatigue after exercise in healthy human subjects. *The American Review of Respiratory Disease* 148 (6 Pt 1), 1571-1575. doi:10.1164/ajrccm/148.6_Pt_1.1571 [doi].
- Matte, D. L., Ribeiro, G. S., Esquivel, M. S. & Karsten, M. 2019. Regarding: "Inspiratory muscle training improves performance of a repeated sprints ability test in professional

- soccer players". *Journal of Bodywork and Movement Therapies* 23 (3), 443-444. doi:S1360-8592(19)30107-X [pii].
- McConnell, A.K. 2013. *Respiratory muscle training. Theory and practice*. 1. painos. Edinburgh, PA: Elsevier
- McConnell, A. K. & Copestake, A. J. 1999. Maximum static respiratory pressures in healthy elderly men and women: Issues of reproducibility and interpretation. *Respiration; International Review of Thoracic Diseases* 66 (3), 251-258. doi:29386 [pii].
- McConnell, A. K. & Lomax, M. 2006. The influence of inspiratory muscle work history and specific inspiratory muscle training upon human limb muscle fatigue. *The Journal of Physiology* 577 (Pt 1), 445-457. doi:jphysiol.2006.117614 [pii].
- McConnell, A. K. & Romer, L. M. 2004. Respiratory muscle training in healthy humans: Resolving the controversy. *International Journal of Sports Medicine* 25 (4), 284-293. doi:10.1055/s-2004-815827 [doi].
- McConnell, A. K. & Sharpe, G. R. 2005. The effect of inspiratory muscle training upon maximum lactate steady-state and blood lactate concentration. *European Journal of Applied Physiology* 94 (3), 277-284. doi:10.1007/s00421-004-1282-3 [doi].
- Murakami, Y. & Kirchner, J. A. 1972. Mechanical and physiological properties of reflex laryngeal closure. *The Annals of Otology, Rhinology, and Laryngology* 81 (1), 59-71. doi:10.1177/000348947208100106 [doi].
- Nambiar, Veena & Ravindra, Savita. (2015). MAXIMAL RESPIRATORY PRESSURES AND THEIR CORRELATES IN NORMAL INDIAN ADULT POPULATION: A CROSS-SECTIONAL STUDY. *International Journal of Physiotherapy and Research*. 3. 1188-1196. 10.16965/ijpr.2015.169.
- Oueslati, F., Berriri, A., Boone, J. & Ahmaidi, S. 2018. Respiratory muscle strength is decreased after maximal incremental exercise in trained runners and cyclists. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 248, 25-30. doi:S1569-9048(17)30195-7 [pii].

- Padkao, T. & Boonla, O. 2020. Relationships between respiratory muscle strength, chest wall expansion, and functional capacity in healthy nonsmokers. *Journal of Exercise Rehabilitation* 16 (2), 189-196. doi:10.12965/jer.2040080.040 [doi].
- Peterson, S. J., Park, J., Zellner, H. K., Moss, O. A., Welch, A., Sclamberg, J., Moran, E., Hicks-McGarry, S., Becker, E. A. & Foley, S. 2020. Relationship between respiratory muscle strength, handgrip strength, and muscle mass in hospitalized patients. *JPEN. Journal of Parenteral and Enteral Nutrition* 44 (5), 831-836. doi:10.1002/jpen.1724 [doi].
- Riganas, C., Papadopoulou, Z., Margaritelis, N. V., Christoulas, K. & Vrabas, I. S. 2019. Inspiratory muscle training effects on oxygen saturation and performance in hypoxemic rowers: Effect of sex. *Journal of Sports Sciences* 37 (22), 2513-2521. doi:10.1080/02640414.2019.1646582 [doi].
- Rodrigues, G. D., Gurgel, J. L., Goncalves, T. R. & da Silva Soares, P P. 2018. Inspiratory muscle training improves physical performance and cardiac autonomic modulation in older women. *European Journal of Applied Physiology* 118 (6), 1143-1152. doi:10.1007/s00421-018-3844-9 [doi].
- Romer, L. M. & McConnell, A. K. 2003. Specificity and reversibility of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 35 (2), 237-244. doi:10.1249/01.MSS.0000048642.58419.1E [doi].
- Romer, L. M., McConnell, A. K. & Jones, D. A. 2002a. Effects of inspiratory muscle training on time-trial performance in trained cyclists. *Journal of Sports Sciences* 20 (7), 547-562. doi:10.1080/026404102760000053 [doi].
- Romer, L. M., McConnell, A. K. & Jones, D. A. 2002b. Effects of inspiratory muscle training upon recovery time during high intensity, repetitive sprint activity. *International Journal of Sports Medicine* 23 (5), 353-360. doi:10.1055/s-2002-33143 [doi].
- Romer, L. M., McConnell, A. K. & Jones, D. A. 2002c. Inspiratory muscle fatigue in trained cyclists: Effects of inspiratory muscle training. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 34 (5), 785-792. doi:10.1097/00005768-200205000-00010 [doi].
- Ross, E., Middleton, N., Shave, R., George, K. & McConnell, A. 2008. Changes in respiratory muscle and lung function following marathon running in man. *Journal of Sports Sciences* 26 (12), 1295-1301. doi:10.1080/02640410802104904 [doi].

- Samson, M. M., Meeuwssen, I. B., Crowe, A., Dessens, J. A., Duursma, S. A. & Verhaar, H. J. 2000. Relationships between physical performance measures, age, height and body weight in healthy adults. *Age and Ageing* 29 (3), 235-242. doi:10.1093/ageing/29.3.235 [doi].
- Sawaya Y, Ishizaka M, Kubo A, Shiba T, Hirose T, Onoda K, Maruyama H, Urano T. Association between skeletal muscle mass index and lung function/respiratory muscle strength in older adults requiring long-term care or support. *J Phys Ther Sci.* 2020 Nov;32(11):754-759. doi: 10.1589/jpts.32.754. Epub 2020 Nov 11.
- Segizbaeva, M. O. & Aleksandrova, N. P. 2021. Respiratory muscle strength and ventilatory function outcome: Differences between trained athletes and healthy untrained persons. *Advances in Experimental Medicine and Biology* 1289, 89-97. doi:10.1007/5584_2020_554 [doi].
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Morgan, B. J., Pegelow, D. F., Jacques, A. J. & Dempsey, J. A. 2001. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex reduction in resting leg blood flow in humans. *The Journal of Physiology* 537 (Pt 1), 277-289. doi:PHY_12616 [pii].
- Sheel, A. W., Derchak, P. A., Pegelow, D. F. & Dempsey, J. A. 2002. Threshold effects of respiratory muscle work on limb vascular resistance. *American Journal of Physiology. Heart and Circulatory Physiology* 282 (5), 1732. doi:10.1152/ajpheart.00798.2001 [doi].
- Shin, H. I., Kim, D. K., Seo, K. M., Kang, S. H., Lee, S. Y. & Son, S. 2017. Relation between respiratory muscle strength and skeletal muscle mass and hand grip strength in the healthy elderly. *Annals of Rehabilitation Medicine* 41 (4), 686-692. doi:10.5535/arm.2017.41.4.686 [doi].
- St Croix, C. M., Morgan, B. J., Wetter, T. J. & Dempsey, J. A. 2000. Fatiguing inspiratory muscle work causes reflex sympathetic activation in humans. *The Journal of Physiology* 529 Pt 2, 493-504. doi:PHY_1211 [pii].
- Suzuki, M., & Kirchner, J. A. 1969. The posterior cricoarytenoid as an inspiratory muscle. *Annals of Otolaryngology, Rhinology & Laryngology*, 78(4), 849-864. Doi:10.1177/000348946907800417.

- Taylor, B. J., How, S. C. & Romer, L. M. 2006. Exercise-induced abdominal muscle fatigue in healthy humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 100 (5), 1554-1562. doi:01389.2005 [pii].
- Taylor, B. J. & Romer, L. M. 2008. Effect of expiratory muscle fatigue on exercise tolerance and locomotor muscle fatigue in healthy humans. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 104 (5), 1442-1451. doi:10.1152/jappphysiol.00428.2007 [doi].
- Taylor, B. J. & Romer, L. M. 2009. Effect of expiratory resistive loading on inspiratory and expiratory muscle fatigue. *Respiratory Physiology & Neurobiology* 166 (3), 164-174. doi:10.1016/j.resp.2009.03.002 [doi].
- Tiller, N. B., Turner, L. A. & Taylor, B. J. 2019. Pulmonary and respiratory muscle function in response to 10 marathons in 10 days. *European Journal of Applied Physiology* 119 (2), 509-518. doi:10.1007/s00421-018-4037-2 [doi].
- Turner, L. A., Mickleborough, T. D., McConnell, A. K., Stager, J. M., Tecklenburg-Lund, S. & Lindley, M. R. 2011. Effect of inspiratory muscle training on exercise tolerance in asthmatic individuals. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 43 (11), 2031-2038. doi:10.1249/MSS.0b013e31821f4090 [doi].
- Turner, L. A., Tecklenburg-Lund, S. L., Chapman, R. F., Stager, J. M., Wilhite, D. P. & Mickleborough, T. D. 2012. Inspiratory muscle training lowers the oxygen cost of voluntary hyperpnea. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 112 (1), 127-134. doi:10.1152/jappphysiol.00954.2011 [doi].
- Tzelepis, G. E., Kasas, V. & McCool, F. D. 1999. Inspiratory muscle adaptations following pressure or flow training in humans. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology* 79 (6), 467-471. doi:10.1007/s004210050538 [doi].
- Tzelepis, G. E., Vega, D. L., Cohen, M. E., Fulambarker, A. M., Patel, K. K. & McCool, F. D. 1994. Pressure-flow specificity of inspiratory muscle training. *Journal of Applied Physiology* (Bethesda, Md.: 1985) 77 (2), 795-801. doi:10.1152/jappl.1994.77.2.795 [doi].
- Verges, S., Schulz, C., Perret, C. & Spengler, C. M. 2006. Impaired abdominal muscle contractility after high-intensity exhaustive exercise assessed by magnetic stimulation. *Muscle & Nerve* 34 (4), 423-430. doi:10.1002/mus.20599 [doi].

- Volianitis, S., McConnell, A. K., Koutedakis, Y., McNaughton, L., Backx, K. & Jones, D. A. 2001. Inspiratory muscle training improves rowing performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 33 (5), 803-809. doi:10.1097/00005768-200105000-00020 [doi].
- Watsford, M. & Murphy, A. 2008. The effects of respiratory-muscle training on exercise in older women. *Journal of Aging and Physical Activity* 16 (3), 245-260. doi:10.1123/japa.16.3.245 [doi].
- Wells, G. D., Pyley, M., Thomas, S., Goodman, L. & Duffin, J. 2005. Effects of concurrent inspiratory and expiratory muscle training on respiratory and exercise performance in competitive swimmers. *European Journal of Applied Physiology* 94 (5-6), 527-540. doi:10.1007/s00421-005-1375-7 [doi].
- Witt, J. D., Guenette, J. A., Rupert, J. L., McKenzie, D. C. & Sheel, A. W. 2007. Inspiratory muscle training attenuates the human respiratory muscle metaboreflex. *The Journal of Physiology* 584 (Pt 3), 1019-1028. doi:jphysiol.2007.140855 [pii].

LIITTEET

LIITE 1. MITTAUSPÖYTÄKIRJA

MITTAUSPÖYTÄKIRJA WELLO2 75W

Suora maksimaalisen hapenottokyvyn (VO_{2max}) pyörätesti

Testin pvm ja kellonaika: _____ Syntymäaika: _____

Tutkittavan ID: _____, Pituus (cm): _____, Paino (kg): _____, Maskin koko: _____

Penkin korkeus: _____ Polar V800 nro: _____ VO_{2max} (ml/kg/min): _____

MIP (pre): _____ MEP (pre): _____

Lopetusaika: _____ HRmax: _____

MIP (post): _____ MEP (post): _____

MIP post ajat (mm:ss): _____ MEP post ajat (mm:ss): _____

Aika (min)	Vastus (W)	Syke (lyöntiä/min)	RPE (6 – 20)	VO2 (ml/kg/min)	Laktaatti (mmol/l)	Huomiot!
Lepo						
0-2	75					
2-4	100					
4-6	125					
6-8	150					
8-10	175					
10-12	200					
12-14	225					
14-16	250					
16-18	275					
18-20	300					
20-22	325					
22-24	350					
24-26	375					

- Ennen testin alkua 5 minuutin lämmittely aloituskuormalla
- Lepotilanteessa lämmittelyn jälkeen mitataan syke, laktaatti ja RPE
- Aloituskuorma 75 W
- RPE kysytään jokaisen kuorman lopussa (15 s), syke kuorman viimeisen 15 s KA, laktaatin oton aloitus 30 s ennen kuorman loppua

Muistiinpanot ja huomiot testin ajalta:

LIITE 2. SUOSTUMULOMAKE

JYVÄSKYLÄN YLIOPISTO



LIITE 7 SUOSTUMUSLOMAKE

SUOSTUMUS OSALLISTUA TIETEELLISEEN TUTKIMUKSEEN

Vastustetun hengitysharjoittelun vaikutus kestävyyskuntoilijan ja palloilijan hengitysmuuttujiin sekä suorituskykyyn: satunnaistettu kontrolloitu tutkimus

Olen ymmärtänyt, että tutkimukseen osallistuminen on vapaaehtoista ja voin milloin tahansa ilmoittaa, etten enää halua osallistua tutkimukseen. Tutkimuksen keskeyttämisestä ei aiheudu minulle kielteisiä seuraamuksia. Keskeyttämiseen asti minusta kerättyjä tutkimusaineistoja voidaan edelleen hyödyntää tutkimuksessa.

Olen saanut riittävät tiedot tutkimuksesta ja henkilötietojeni käsittelystä. Olen saanut tiedotteen tutkimuksesta tutkittavalle sekä tietosuojailmoituksen.

Suostun siihen, että tutkimuksessa käsitellään erityisiin henkilötietoryhmiin kuuluvia tietoja, joita tässä tutkimuksessa ovat terveyttä koskevat tiedot.

Kyllä

En osallistu mittauksiin flunssaisena, kuumeisena, toipilaana tai muuten huonovointisena.

Kyllä

Olen ymmärtänyt saamani tiedot ja haluan osallistua tutkimukseen.

Allekirjoittamalla suostumuslomakkeen hyväksyn tietojeni käytön tiedotteessa kuvattuun tutkimukseen tutkittavaksi sekä annan luvan kohtiin, joiden kohdalla olen merkinnyt kohdan "Kyllä". Jos en ole merkinnyt jotakin kohtaa, se tarkoittaa, että en anna lupaa henkilötietojeni käyttämiseen kyseiseen tarkoitukseen. Voin silti osallistua tutkimukseen.

Tutkimukseen osallistuvan allekirjoitus, nimenselvennys ja päivämäärä (tai sähköinen osallistuvan ilmoitus)

Yhteystiedot:

Tutkimuksen vastuullinen johtaja

Johanna Ihalainen, LitT

puh. 0408347106, sähköposti: johanna.k.ihalainen@jyu.fi

Y-tunnus:
00458847
Sähköposti:
etunimi.sukunimi@jyu.fi

Puhelin:
(014) 260 1211
Faksi:
(014) 260 1021

Jyväskylän yliopisto
PL 35
40014 Jyväskylän yliopisto
www.jyu.fi

Tutkimuksen suorittajat:

Joel Wenning, LitK, Jyväskylän Yliopisto.

puh. 0451345994, sähköposti: josewenn@student.jyu.fi

Maarit Valtonen, LT, Kilpa- ja huippu-urheilututkimuskeskus

Jos asiakirja on allekirjoitettu, se jää tutkimuksen vastuullisen johtajan arkistoon. Suostumusta osallistua tutkimukseen säilytetään tietoturvallisesti niin kauan kuin aineisto on tunnisteellisessa muodossa. Jos aineisto anonymisoidaan tai hävitetään, suostumusta ei tarvitse enää säilyttää.

LIITE 3. HARJOITUSPÄIVÄKIRJA

Vastustetun hengitysharjoittelututkimuksen harjoituspäiväkirja

Tutkittavan ID: _____

Testipäivämäärä: _____ Vastus: _____

Täytä alla olevaan taulukkoon harjoituksen päivämäärä, suoritettujen hengitysten määrä, harjoittelun vastus (annetaan mittausten yhteydessä), harjoittelun rasittavuus asteikolla 0-10 (0 = ei lainkaan rasittava, 10 = äärimmäisen rasittava) sekä mahdollisia huomioita harjoittelusta.

Päivämäärä	Hengitysten määrä (30)	Vastus	Harjoittelun rasittavuus (0-10)	Huomioita

Päivämäärä	Hengitysten määrä (30)	Vastus	Harjoittelun rasittavuus (0-10)	Huomioita

Päivämäärä	Hengitysten määrä (30)	Vastus	Harjoittelun rasittavuus (0-10)	Huomioita

Päivämäärä	Hengitysten määrä (30)	Vastus	Harjoittelun rasittavuus (0-10)	Huomioita

