

**SUORAN VESIJUOKSUTESTIN TOISTETTAVUUS SEKÄ VAIKUTUKSET
HERMOLIHASJÄRJESTELMÄN VÄSYMYKSEEN**

Otto Loukkalahti

Valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän yliopisto
Kevät 2017
Työnohjaaja: Juha Ahtiainen ja Benjamin Waller

TIIVISTELMÄ

Loukkalahti, O. 2017. Suoran vesijuokсутестin toistettavuus sekä vaikutukset hermolihasjärjestelmän väsymykseen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, Jyväskylän yliopisto, valmennus- ja testausopin kandidaatintutkielma, 62 s., 3 liitettä.

Johdanto. Vesijuoksu on urheilijoiden keskuudessa suosittu korvaava harjoitusmuoto. Vesijuoksuharjoittelusta voivat hyötyä etenkin loukkaantumisista kärsivät urheilijat. Vesijuoksun selkeä etu on harjoitusmuodon turvallisuus ja vammariskittömyys. Veden hydrodynaamiset ominaisuudet tekevät vesijuoksemisesta merkittävästi erilaisen harjoitusmuodon tasamaalla juoksemiseen verrattuna. Urheilijat tarvitsevat päivitettyä tietoa, mitä muuttujia vesijuoksuharjoittelussa tulisi seurata. Vesijuokсутестejä on teetetty aikaisemmin, mutta niiden validoimisessa ja raportoinnissa on ollut puutteita.

Menetelmät. Tutkimukseen osallistui 13 (7 miestä ja 6 naista) kestävyysjuoksijaa tai suunnistajaa. Iältään miestutkittavat olivat 25.8 ± 6.4 ja naistutkittavat 23.1 ± 1.6 vuotta. Pituus oli miestutkittavilla 180.3 ± 7.9 ja naistutkittavilla 167.5 ± 7.2 cm. Painoa miestutkittavilla oli 70.2 ± 7.9 ja naistutkittavilla 60.4 ± 6.6 kg. Tutkimukseen sisältyi vesijuokсутekniikan opetuskerta ja kaksi suoraa hapenottokyvyn testiä vesijuosten. Testeissä määritettiin maksimaaliset, kuormakohtaiset, aerobista sekä anaerobista kynnystä vastaavat sykkeet, hapenoton arvot ja veren laktaattipitoisuudet. Kynnysten määrittäminen perustui KLab-ohjelmaan. Hermolihasjärjestelmän väsymistä tutkittiin ennen ja jälkeen vesijuokсутестin suoritetuilla kevennyshypyillä.

Tulokset. Tutkittavien maksimitulokset olivat jokaisen muuttujan osalta toistettavia. Ensimmäisellä ja toisella testikerralla tulokset olivat $HR_{max} 177 \pm 12$ ja 176 ± 11 bpm ($r=0.94$, $p \leq 0.001$); $VO2_{max} 56.7 \pm 8.1$ ja 56.3 ± 8.3 ml/kg/min ($r=0.90$, $p \leq 0.001$), $Lac_{max} 8.5 \pm 2.5$ ja 9.0 ± 2.6 mmol/l ($r=0.75$, $p \leq 0.01$). Testiä kuormakohtaisesti katsottaessa tilastollisesti merkitsevää eroa testien välillä tapahtui ainoastaan $VO2$ osalta ensimmäisellä kahdella kuormalla parittaisen t-testin mukaan. Sisäkorrelaatiokertoimen (ICC) korrelaatiot olivat keskimäärin sykkeille (0.847), hapenotolle (0.868) ja laktaatille (0.747). Yksilön sisäinen vaihtelu oli variaatiokertoimen (CV) mukaan sykkeelle 1.6–6.9, hapenotolle 2.4–10.1 ja laktaatille 11.1–22.6 %. Kevennyshyppyjen muutosprosentit olivat koko otoksessa -2.0 ± 8.7 ja -4.1 ± 7.3 % ($r=0.774$, $p < 0.01$).

Pohdinta ja johtopäätökset. Syke ja hapenotto olivat testikertojen välillä toistettavia ja yksilön sisäinen vaihtelu näiden muuttujien osalta oli vähäistä. Laktaatissa yksilön sisäinen vaihtelu oli suurta, mutta testien välinen toistettavuus oli testissä paikoitellen hyvää. Syke on luotettava menetelmä vesijuoksurasituksen seuraamista varten. Laktaatin seuraamisessa tuloksiin tulee suhtautua varauksella. Hermolihasjärjestelmän väsymystä tapahtui koko otosta katsottaessa, mutta sukupuolten välillä oli eroja. Tämän tutkimuksen perusteella voidaan suositella vesijuokсутekniikkaa suurilla liikelaajuuksilla. Suora hapenottokyvyn testi vesijuosten voisi toimia tulevaisuudessa kestävyysominaisuuksien vaihtoehtoisena testimuotona. Lisää tutkimusnäyttöä tarvitaan vesijuoksuharjoittelun vaikutuksista.

Avainsanat: vesijuoksu, maksimaalinen hapenotto, aerobinen kynnys, anaerobinen kynnys, toistettavuus, hermolihasjärjestelmän väsymys

KÄYTETYT LYHENTEET

AeK	Aerobinen kynnys
AnK	Anaerobinen kynnys
BA	Bland-Altman plot. Graafi toistettavuuden tutkimiseen
CMJ	Counter movement jump, kevennyshyppy
CV	Coefficient of variation, variaatiokerroin. Laskettu kaavalla: $CV (\%) = 100 \times \frac{SD}{\text{Mean}}$
DWR	Deep water running, vesijuoksu syvässä vedessä
HR	Heart rate, sydämen syke
ICC	Intraclass correlation coefficient, sisäkorrelaatiokerroin
KIHU	Kilpa ja huippu-urheilun tutkimuskeskus
Lac	Blood lactate concentration, veren laktaattipitoisuus
RPE	Rating of perceived exertion, koettu rasittavuuden tila
SD	Keskihajonta. Laskettu kaavalla: $SD = \sqrt{\frac{\sum (\chi_1 - \chi_2)^2}{2n}}$
SPM	Stride per minute, poljinkierrosta minuutissa
SWR	Shallow water running, vesijuoksu matalassa vedessä
TMR	Treadmill running, juoksumattojuoksu
VO _{2max}	Maksimaalinen hapenotto- ja verenkiertoelimistön kyky kuljettaa happea maksimaalisessa fyysisessä rasituksessa

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO	1
2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY.....	3
2.1 Kestävyysuorituskyvyn määritelmä	3
2.2 Maksimaalinen hapenotto-kyky	4
2.3 Kestävyysominaisuuksien testaaminen.....	5
3 VESIELEMENTIN VAIKUTUKSET FYYSISEEN SUORITUSKYKYYN	7
3.1 Fysiikan lait.....	7
3.2 Biomekaaniset tekijät.....	10
3.3 Fysiologiset tekijät.....	12
4 VESIJUOKSUSUORITUS.....	14
4.1 Vesijuoksutekniikka.....	14
4.2 Vesijuoksutesti.....	16
4.2.1 Käytetyt vesijuoksutestit ja -tutkimukset.....	17
4.2.2 Vesijuoksutestin toistettavuus.....	18
5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESIT	20
6 MENETELMÄT	21
6.1 Tutkittavat	21
6.2 Koeasetelma.....	21
6.3 Aineiston keräys ja analysointi	22
6.4 Tilastolliset menetelmät.....	26
7 TULOKSET.....	29

7.1	Maksimiarvot.....	29
7.1.1	Maksimisyke.....	30
7.1.2	Maksimihapenotto.....	31
7.1.3	Maksimilaktaatti	33
7.2	Kynnysarvot.....	35
7.3	Kevennyshypyt	39
7.4	Toistettavuus.....	42
7.4.1	Syke.....	42
7.4.2	Hapenotto.....	43
7.4.3	Laktaatti	44
7.4.4	Kynnykset ja kevennyshypyt.....	46
7.5	Yksilön sisäinen vaihtelu	47
8	POHDINTA.....	49
9	JOHTOPÄÄTÖKSET.....	55
	LÄHTEET.....	57
	LIITTEET	

1 JOHDANTO

Vesijuoksu eli DWR (deep water running) on urheilijoiden keskuudessa suosittu korvaava harjoitusmuoto. Vesijuoksun avulla harjoittelun kokonaismäärää pystytään helposti lisäämään, mistä hyötyvät etenkin loukkaantumisista kärsivät urheilijat. Yleensä urheilijat ryhtyvät hyödyntämään vesijuoksua harjoittelussaan loukkaantumisista toipumisen ajaksi tavoitteenaan säilyttää hankittu aerobinen kunto. (Azevedo 2010; Brennan & Wilder 2011; Liem ym. 2013.) Vesijuoksun selkeä etu on harjoitusmuodon turvallisuus ja vammariskittömyys johtuen vähäisestä mekaanisesta kuormituksesta (Koury 1996; Brennan & Wilder 2011). Urheilupiireissä suhtaudutaan vesijuoksuun kuitenkin epäilevästi, sillä harjoitusmuodon laadukkuudesta ja tehokkuudesta ei ole laajalti tutkimusnäyttöä. Vesijuoksun suhteen on epäselvää mitä fysiologisia muuttujia tulisi seurata harjoittelun intensiteetin suhteen.

Haasteellisuutta intensiteetin seuraamiseen tuo myöskin se, että urheilijat reagoivat vesijuoksurasitukseen eri tavoin fysiologisten muuttujien osalta. Urheilijat raportoivat myös koetun rasittavuuden tilan (RPE, Rating of perceived exertion) eri suuruisiksi. (Azevedo ym. 2010; Becker 2011; Brennan & Wilder 2011; Liem ym. 2013.) Urheilututkimuksissa suuren suosion saavuttaneita muuttujia rasituksen seuraamista ja kontrollointia varten ovat sydämen lyöntitiheys (HR), hengityskaasumuuttujat ja veren laktaattipitoisuus (Lac). Tämän vuoksi urheilijat tarvitsevat tutkimukseen perustuvaa tietoa siitä, mitä muuttujia heidän tulisi seurata vesijuoksuharjoittelua hyödyntäessään. Biomekaaniset erot vesijuoksun ja maanosketuksen sisältävän juoksun välillä ilmenevät todennäköisesti eroina hermo-lihasjärjestelmän väsymisessä ja harjoittelun seurauksena syntyneissä lihasvaurioissa.

Veden hydrodynaamiset ominaisuudet tekevät vesijuoksemisesta merkittävästi erilaisen harjoitusmuodon tasamaalla juoksemiseen verrattuna. Vesijuoksun kannalta lainalaisuuksia, jotka tulisi tiedostaa, ovat veden vastus, noste ja hydrostaattinen paine. Nämä ominaisuudet ovat seurausta veden tiheydestä, sillä vesi on miltei 1000 kertaa ilmaa tiheämpää. (Becker 2011, 24-26.) Veden vaikutus, samoin kuin veden ja liikunnan yhteisvaikutus, ihmisen elimistöön olisi tunnettava tarkkaan, jotta urheilija voisi toteuttaa tavoitteellista vesijuoksuharjoittelua (Keskinen 2003).

Kehitettyjä vesijuokсутestiprotokollia on useita, mutta niiden perusteellisessa validoimisessa on parannettavaa. Lisäksi useissa tutkimuksissa käytetyn tekniikan raportointi on ollut puutteellista tai heikkoa.

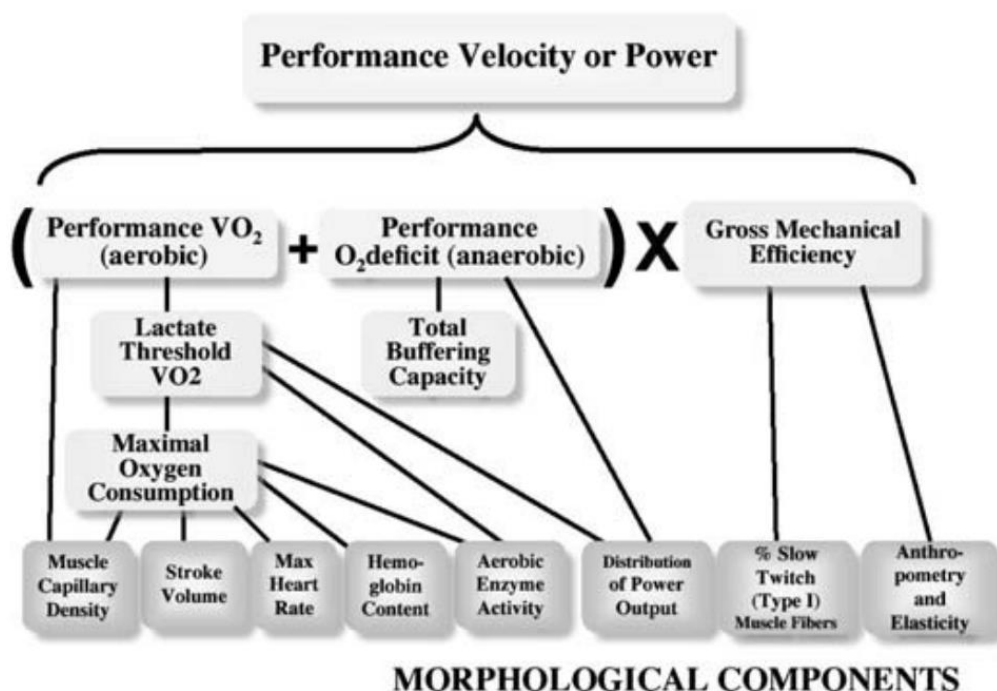
Tässä työssä tutkitaan miten fysiologiset muuttujat; sydämen lyöntitiheys, hapenotto ja veren laktaattipitoisuus, käyttäytyvät kehityssä vesijuokсутestissä ja ovatko tulokset testien välillä toistettavia. Lisäksi tarkastellaan hermolihas-järjestelmän väsymystä toteutetun testin seurauksena. Tutkimuksen tieteellinen merkitys on tuottaa tutkimustietoa vesijuoksemisesta edistämään kestävyysurheilijoiden harjoittelua.

Tämä tutkielma oli yksi osa Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskuksen vesijuokсуhanketta. Tutkimuksessa vertailtiin keskenään suoran hapenottokyvyn testejä vesi- ja juoksumattosuoritusten välillä, mutta tässä tutkielmassa keskitytään kehitetyn vesijuokсутestin toistettavuuteen.

2 KESTÄVYYSSUORITUSKYKY

2.1 Kestävyysuorituskyvyn määritelmä

Kestävyysuoritukset perustuvat aerobiseen energiantuottoon. Tämän vuoksi maksimaalinen aerobinen energiantuottokyky eli maksimaalinen hapenottokyky (VO_{2max}) on tärkeä ominaisuus kestävyyslajeissa (Joyner & Coyle 2008; Nummela 2016, 272). Maksimaaliseen kestävyysuorituskykyyn vaikuttaa useita tekijöitä maksimaalisen hapenottokyvyn lisäksi. Muita tärkeitä tekijöitä ovat aerobinen ja anaerobinen kynnystaso, suorituksen taloudellisuus sekä hermolihasjärjestelmän suorituskykyisyys. Suorituksen kesto, intensiteetti ja laji vaikuttavat siihen mitkä tekijät painottuvat ja kuinka suuresti. Kuten kuvasta 1 on todettavissa, taustatekijöinä kaikille kestävyyslajeille ovat maksimaalinen hapenottokyky, anaerobinen laktaattikynnys ja suorituksen taloudellisuus. (Joyner & Coyle 2008.)



KUVA 1. Kestävyysuorituskyvyn osatekijät (Joyner & Coyle 2008).

Kestävyysuuden merkitys korostuu lajeissa, joiden kesto ylittää kaksi minuuttia. Maalla juostessa tämä tarkoittaa yli 800 metrin mittaisia matkoja. Kestävyysuorituskykyä selittäviä tekijöitä ovat maksimaalinen aerobinen teho, suorituksen suhteellinen teho, suorituksen taloudellisuus

ja hermo-lihasjärjestelmän tehontuottokyky. Vaikka energiaa voidaan tuottaa maksimaalisella aerobisella teholla vain noin 10 minuutin ajan, vaikuttaa VO_{2max} pitkäaikaiseen kestävyyyteen asettamalla aerobiselle energiantuotolle ylärajan. (Nummela 2016, 272.)

2.2 Maksimaalinen hapenottokyky

VO_{2max} kuvastaa niin sanottua maksimaalista aerobista ATP:n resynteesitasoa, eli tasoa kun adensiinitrifosfaattia (ATP) voidaan muodostaa hapen avulla (Katch ym. 2011, 192). Maksimaalinen hapenottokyky on määritelty suurimmaksi hapenkulutukseksi, joka saavutetaan suurien lihasryhmien työskennellessä progressiivisesti nousevassa, uupumukseen asti nousevassa kuormituksessa. Tästä on johdettu useita erilaisia muuttujia ja kynnyksarvoja, jotka ovat edelleen suuressa suosiossa kestävyysvalmennuksessa. Maksimaalisen suorituskyvyn kannalta yhtenä tärkeimpänä tekijänä pidetään anaerobista kynnystä (AnK). Suuren aerobisen kapasiteetin on osoitettu vähentävän anaerobisen työn osuutta ja näin lykkäävään tulevaa uupumusta. (Joyner & Coyle 2008.)

Maksimaaliseen hapenottokykyyn vaikuttavat tekijät voidaan karkeasti jakaa sentraalisiin sekä perifeerisiin tekijöihin. Sentraalisilla tekijöillä tarkoitetaan hapenkuljetusta keuhkoista lihaksiin. Perifeerisillä tekijöillä taas viitataan hapen hyödyntämiskykyyn lihaksessa. Edelleen on epäselvää rajoittaako maksimaalista hapenottokykyä yleisemmin sentraaliset vai perifeeriset tekijät. (Basset & Hawley 2000.)

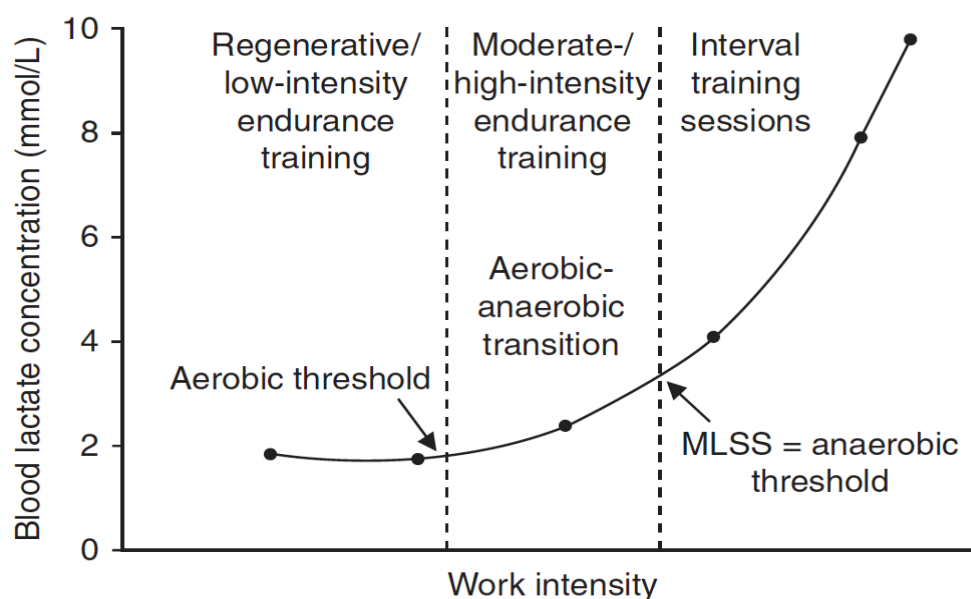
Lihasten kyvyllä käyttää happea aineenvaihdunnassa on vaikutus hapenottokykyyn. Ominaisuutta tarkastellaan valtimo-laskimohappieron (a-v O_2 difference) avulla. Aerobisen aineenvaihdunnan tehokkuuteen lihastasolla vaikuttavat mitokondrioiden määrä lihaksessa, aerobinen entsyymiaktiivisuus sekä lihaksen sisäinen verenkierto. Lihaksen runsas hiussuonitus taas tarkoittaa runsasta verisuonten diffuusiopinta-alaa, mikä helpottaa lihaksen hapenottoa. (Bassett & Howley 2000.)

Veri kuljettaa happea keuhkoista kudoksille veren nestemäisessä fysikaalisessa liuoksessa tai hemoglobiiniin sitoutuneena. Energiantuottoon tarvittava happi kuljetetaan pääasiallisesti hemoglobiiniin sitoutuneena. Miehillä hemoglobiinin määrä veressä noin 15 - 16 g/dl ja

naisilla vastaava lukema on noin 14 g/dl. Sukupuolten väliset erot hemoglobiinin määrässä selittävät osaltaan naisten heikompaa aerobista kapasiteettia. Miesten suuremmat testosteronipitoisuudet selittävät osaltaan sukupuolten välisiä eroja, sillä testosteronilla on punasolusynteesiä kiihdyttävä vaikutus. (Katch ym. 2011, 281-286.)

2.3 Kestävyysominaisuuksien testaaminen

Viimeisen 50 vuoden aikana veren laktaattipitoisuutta kuvaavat käyrät ja näistä määritellyt laktaattikynnykset ovat ottaneet tärkeän roolin kestävyysuorituskyvyn määrittämisessä. Laktaattikynnyksillä pyritään kuvaamaan energian tuoton siirtymistä aerobisesta (hapen avulla tapahtuva työ) anaerobiseen työhön (hapetta tapahtuvaan työhön). Haasteen kynnyksen eksaktiksi määrittämiseksi tuo vaihtelevat määrittystavat ja testaajien väliset näkemuserot. (Faude ym. 2009.) Kuvasta 2 on nähtävissä tyypillinen tapa laktaattikynnyksen määrittämiseksi.



KUVA 2. Laktaattikäyrä havainnoillistaen aerobisen - anaerobisen työn siirtymävaiheen ja kestävyysharjoittelun eri intensiteettialueet. Mukailtu Fauden ym. (2009) kuvasta.

Suorassa maksimitestissä määritetään tätä seuranta varten aerobinen (AeK) ja anaerobinen (AnK) kynnykset, mitkä esitetään kuvassa 3. Kynnykset ilmaistaan tavallisesti nopeutena, tehona, sykkeenä ja hapenkulutuksena. Kynnystehojen määrittämisen avulla voidaan urheilijoiden harjoittelua ohjelmoida kätevämmän. Koska kirjallisuudesta on löydettävissä

kymmeniä eri tapoja kynnysten määrittämiseen joko laktaatin tai hengityskaasumuutoksien (happi- ja hiilidioksidi) avulla, on kynnysten määrittämiseen suhtauduttava varauksella. Harjoittelun seuraamisen kannalta on oleellista määrittää kynnystehot joka kerta samalla menetelmällä. (Nummela 2016.)

Kynnykset perustuvat lihaksen energia-aineenvaihdunnassa tapahtuviin muutoksiin kuormituksen kasvaessa. Tärkeimpiä muuttujia, joista voidaan tehdä johtopäätöksiä, ovat veren laktaattipitoisuus ja hengityskaasumuuttujat. Hengityskaasuista seurataan uloshengitysilman tilavuutta sekä happi- ja hiilidioksidipitoisuuksia. Suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa käytetyllä aerobisella kynnyksellä (AeK) tarkoitetaan laktaattikynnyksen ja ensimmäisen ventilaatiokynnyksen yhdistelmää. Kynnys kuvastaa suurinta työtehoa, jolloin sydän, maksa ja luurankolihakset pystyvät eliminoimaan laktaattia pitoisuuden nousematta veressä lepotason yläpuolelle. Toista valmennuksessa käytettävää kynnystä kutsutaan suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa anaerobiseksi kynnykseksi (AnK). Tämä kynnys kuvaa suurinta työtehoa ja energiankulutuksen tasoa, jolloin veren laktaattipitoisuus ei kasva jatkuvasti. (Nummela 2010.)



KUVA 3. Submaksimaaliset kynnystehot ja maksimaalinen hapenottokyky suomalaisessa kestävyysvalmennuksessa. (Nummela 2010.)

Tyypillisesti aerobinen kynnys osuu 50–70 % ja anaerobinen kynnys 65–90 % VO₂max:sta. Urheilijan harjoitustausta vaikuttaa siihen, kuinka lähelle VO₂max:ia kynnykset sijoittuvat. Kestävyysominaisuudet ovat sitä paremmat, mitä lähemmäksi maksimaalista hapenottoa kynnykset sijoittuvat. (Nummela 2007.)

3 VESIELEMENTIN VAIKUTUKSET FYYSSISEEN SUORITUSKYKYYN

Veteen upottautumisella on biologisia vaikutuksia elimistöön järkyttäen homeostaattista tasapainotilaa. Nämä näkyvät niin akuutisti kuin viiveelläkin. Lähes kaikki veteen upottautumisen biologiset vaikutukset ovat nähtävissä veden hydrodynamiikan fundamentaalisten perusteiden kautta. Veden ominaisuuksia voidaan tarkastella veden tiheyden, hydrostaattisen paineen, nosteen, viskositeetin ja termodynamiikan kautta. (Brennan & Wilder 2011, 24-26.)

Vesielementin ominaisuudet luovat ideaalisen harjoitusympäristön, mistä hyötyvät etenkin loukkaantumisista kärsivät urheilijat ja iäkkäämpi väestö. Vesielementin hyödyntäminen harjoitteluympäristönä vähentää lihaksiin ja niveliin kohdistuvia kuormia mahdollistaen tehokkaan harjoittelun vähemmällä kivuilla kuin kuivalla maalla harjoittelemisen. (Miyoshi ym. 2004; Alberton ym. 2013; Waller 2016.) On syytä muistaa, että vertikaalisuunnassa tapahtuva vesiurheilu on erilaista kuin horisontaalisuunnassa tapahtuva (Srámek ym. 2000; Kruegel ym. 2013).

3.1 Fysiikan lait

Lukuisat fysiikan lait vaikuttavat vedessä liikkumiseen, mikä tekee vesiurheilusta huomattavasti erilaisen verrattuna liikkumiseen maalla. Tämä on pääosin seurausta painovoimasta. Rasituksen tasoon vedessä vaikuttaa muun muassa liikkumisen nopeus, liikemuutoksen nopeus, liikkeen suuntaisen vastuksen pinta-ala, kappaleen ja veden inertia ja liikesuunnan muutosten lukumäärä. Vesiliikunnan tehokkuutta voidaan havainnollistaa Newtonin liikettä koskevien lakien, sekä veden viskositeetin, nosteen, kappaleen vipuvarren pituuden, kappaleen kohtaaman vastuksen ja käsien käytön avulla. (White ym. 2010, 97 - 98.) Taulukossa 1 esitetään veden ominaisuuksien ja liikkeen lakien vaikutusta vesiurheilussa vaadittavan lihastyön suuruuteen.

TAULUKKO 1. Vesiurheilun intensiteetin nostaminen ja laskeminen. Mukailtu (Aquatic Fitness Professional Manual 2010, 6.2 s. 109).

Laki tai periaate	Intensiteetin nostamiseksi	Intensiteetin laskemiseksi
Inertian laki <i>Koko kehon inertia, veden inertia ja raajojen inertia</i>	Lisää liikkeitä liikkeiden aloittamiseksi, pysäyttämiseksi ja suunnan muutoksia varten.	Vältä ylimääräisiä liikkeitä toistoissa. Pyri pysymään paikallaan.
Kiihtyvyyden laki <i>Voima ja massa</i>	Työnnä voimakkaammin vettä vasten saavuttaaksesi lisää korkeutta tai tavoittele suurempaa askelpituutta.	Myötäile käsillä veden läpi tavoittelematta suurta vastusta. Rajoita liikelaajuuksia, hyödynnä pienempiä askeleita, pyri maltillisempaan iskutukseen.
Voiman ja vastavoiman laki <i>Vastustava voima</i>	Kauho käsillä ja jaloilla vettä tai hyödynnä molempia.	Avusta liikkeitä käsillä ja/tai jaloilla tavoittelematta otetta vedestä
Frontaalinen vastus <i>Frontaalinen pinta-ala</i>	Lisää raajojen vettä kohtaavaa pintaa. Käännä raajoja siten että ne kohtaisivat mahdollisimman paljon vettä.	Käytä raajoja sellaisissa asennoissa, missä ne halkoisivat vettä pienemmällä pinta-alalla.
Jalkaterien käyttö <i>Nilkkojen koukistus ja ojennus</i>	Koukista varpaat ennen potkuliikkeitä ja ojenna nilkat liikkeiden lopussa.	Passivoita nilkkojen liikkeitä.
Käsien sijainti ja asento	Muodosta kämmenillä kuppi, sormet kevyesti erillään saadaksesi vedestä kunnan otteen.	Leikkaa tai lävistä käsiliikkeet veden halki tai purista kädet nyrkkiin.
Vipuvarsi <i>Pitkät ja lyhyet vipuvarret</i>	Hyödynnä pitkiä vipuvarsia ojentaen käsiä ja jalkoja suuremmaksi	Hyödynnä lyhyempää vipuvarsta koukistetuille käsillä ja jaloilla

Viskositeetti. On suure, millä kuvastetaan nesteen kykyä vastustaa virtausta. Juuri viskositeetti tarjoaa vedessä liikuttaessa hyödyllisen vastuksen, mitä voidaan hyödyntää harjoittelussa kestävyuden, voiman ja liikkuvuuden kehittämiseksi. Viskositeetista johtuen vedessä liikuttaessa liike pysähtyy hyvin nopeasti, mikäli lihastyö lopetetaan. Veden vastuksesta johtuen lihakset joutuvat työskentelemään koko liikeradan ajan. (White ym. 2010, 99 - 101.)

Vipuvarsi. Mahdollistaa ihmiskehossa liikkeen tapahtumisen. Vipuvarsiensa kokonaisuus ihmisillä voidaan nähdä muodostuvan luista (toimivat vipuina), nivelistä (toimivat tukipisteinä) ja lihaksista (tuottavat voimaa). Pienikin muutos vipuvarren pituudessa, tai tehdyn työn matkassa nostaa tai laskee raajan liikuttamiseen vaadittavan työn määrää.

Vipuvarsien pituuteen henkilö ei voi vaikuttaa (lihaksen ja luihin kiinnittymiskohdan pituus). Käytännössä tämä näkyy siinä, että pitkät raajat omaava urheilija joutuu pitkien vipuvarsien vuoksi tekemään enemmän työtä yksittäistä liikettä kohden. Tehdyn työn suuruus korostuu vedessä, johtuen suuresta viskositeetista. (White ym. 2010, 107.)

Newtonin inertian laki ja mekaniikan peruslait. Mekaniikan ensimmäisellä lailla eli inertialailla (ts. jatkuvuuden laki) tarkoitetaan sitä, että kappale pysyy levossa, ellei ulkoinen voima muuta sitä. Kun ulkoinen voima kohdistuu kappaleeseen, liikkuu kappale tietyllä nopeudella tiettyyn suuntaan. Vesiharjoittelussa on nähtävissä kolme ominaisuutta, joihin inertian lait vaikuttavat; koko kehon inertia (total body inertia), veden inertia (water inertia) ja raajojen inertia (limb inertia). Liikkeen aloittamiseksi, pysäyttämiseksi ja suunnan muutoksiin tarvitaan enemmän voimaa, kuin silloin kun liike jatkuu samansuuntaisesti. Tällä kuvastetaan *total body inert*:iaa. Veden inertia antaa hyödyn harjoituksen intensiteetin nostamista varten. Vedessä tapahtuva liike saa aikaan virtauksen. Vaikka harjoitteleva henkilö vaihtaisi suuntaa, veden virtaus pyrkii jatkumaan yhä samaan suuntaan. (White ym. 2010, 98 - 110.)

Kiihtyvyyden laki. Mekaniikan II peruslain mukaan kappaleeseen vaikuttaa kokonaisvoima, joka antaa kappaleelle kiihtyvyyden. Mitä enemmän kappaleella on massaa, sitä suurempi kokonaisvoima vaaditaan. Lakia kuvataan yhtälöllä

$$F = m \times a ,$$

jossa F = voima, m = massa ja a = kiihtyvyys.

Voiman ja vastavoiman laki. Newtonin kolmannen lain (*The law of action and reaction*) mukaan kun kappaleeseen vaikutetaan voimalla, niin samanaikaisesti kappaleeseen vaikuttaa yhtä suuri, mutta suunnaltaan vastakkainen voima. Vedessä voiman ja vastavoiman laki on helposti nähtävissä johtuen viskositeetiltään voimakkaasta ympäristöstä. (White ym. 2010, 106 - 107.)

3.2 Biomekaaniset tekijät

Useissa tutkimuksissa ollaan eroteltu toisistaan pohjakosketuksen sisältämä vesijuoksu (SWR, Shallow water running) ja vesijuoksu ilman pohjakosketusta (DWR, Deep water running). Dowzer ym. (1999) vertailivat tutkimuksessaan eri vesijuoksu-tyylejä ja juoksumattojuoksua 15:sta hyvin harjoitelleelle miesjuoksijalle. Tutkimuksesta tehtiin johtopäätös SWR:n olevan tehokkaampi harjoitusmuoto kardiovaskulaarisen kunnon ylläpitämiseksi DWR:iin verrattuna. Syyksi raportoitiin SWR:n mahdollistavan jalkojen suurten lihasryhmien aktiivisemmän käytön kuin DWR:ssa. Tutkimuksessa VO₂ huippuarvot olivat SWR ja DWR suorituksissa 83.7 ja 75.3 sekä HR:n osalta 94.1 ja 87.2 % juoksumattojuoksussa saavutetuista maksimeista. Samanlaisia päätelmiä on tehty muissakin vesijuoksututkimuksissa, joissa on vertailtu DWR ja TMR kuormituksia. Lukemat VO_{2max}:in ja HR:n suhteen jäävät DWR suorituksessa matalammille tasoille. Tutkijoiden mukaan tämä johtuu lihasten erilaisesta rekrytointimallista. Jalkojen käytön suhteen eteenkin pohkeiden lihasten lopputyöntö vedessä jää heikommaksi, mitä juoksumatolla (Town & Bradley 1991; Liem ym. 2013.)

Vesijuoksun kinematiikkaa vertailtaessa maajuoksun kinematiikkaan, ollaan havaittu huomattavasti voimakkaampaa lantion ojennusta vesijuoksun eduksi. Tästä voi tehdä johtopäätöksen, että lantion seudun rasitusvammoista kärsivät urheilijat voisivat vähitellen lisätä harjoitteluunsa vesijuoksua lisätäkseen lihasten käyttöä lantion seudulla. (Kilding ym. 2007, Liemin ym. 2013 mukaan.)

Jalkojen liikeratojen lisäksi vesijuostessa on syytä tarkastella ylävartalon lihasten käyttöä. Rytmittävätkö kädet juoksua sivuilla, vai haetaanko käsillä aktiivisesti otetta vedestä. Vesijuoksussa ylävartalon lihakset toimivat suuremmalla aktiivisuudella ja alavartalon sekä alaraajojen suuret painovoimaa vastustavat lihakset alhaisemmalla aktiivisuudella kuin juoksumattojuoksussa (Moening ym. 1993; Frangolias ym. 1995; Glass ym. 1995, Keskinen 2003 mukaan).

Veden noste. Noste tukee veteen upotettua kehoa painovoiman alaspäin vetävältä vaikutukselta. Upotettu keho kevenee yhtä paljon kuin sen syrjäyttämä vesimäärä painaa. Nosteen vaikutuksen seurauksena luihin, lihaksiin ja sidekudoksiin kohdistuu vähemmän mekaanista stressiä ja painetta. (Brennan & Wilder 2011.) Jos kehon paino on suurempi kuin

sen syrjäyttämän veden määrä, henkilö uppoaa. Nosteen määrä riippuu siitä, kuinka syvälle veteen henkilö on upottautunut. Esimerkiksi vyötäröön asti upotettu henkilö painaa n. 50 % alkuperäisestä painostaan, kun kaulaan asti upotettu henkilö painaa enää noin 10 %. Veteen upotetun henkilön osalta tulee huomioida massakeskipiste ja nosteen keskipiste. Vedessä olevan henkilön massakeskipiste sijaitsee tyypillisesti lantion/vyötärön seudulla ja nosteen keskipiste rintakehän seudulla. Mikäli nämä keskipisteet eivät ole vertikaalisuunnassa toistensa tasalla keho lähtee liikkeelle kunnes tasapaino on saavutettu. Tätä vertikaalista sovitusta voidaan säädellä raajojen liikuttamisella ja kehon asennon muutoksilla (White ym. 2010, 108 - 110; Becker 2011.)

Veden vastus. Maalla liikuttaessa selkein kehoon vaikuttava voima syntyy painovoimasta. Vedessä liikuttaessa taas merkittävä seikka on frontaalivastus, seurauksena veden viskositeetista. Vedessä painovoima ei ole merkittävä kehoon kohdistuva voima, sillä veden noste osaltaan kumoaa painovoimaa. Veden viskositeetti ja vastuksen voima (drag force) tarjoavat samankaltaisen haasteen kuin juostessa voimakasta tuulta vasten. Objektin pinta-ala frontaalista vastusta vasten vaikuttaa siihen kuinka paljon energiaa tarvitaan veden halkomiseen. Näin ollen vesiharjoittelussa käytettävällä asennolla ja raajojen pinta-alalla on vaikutusta kohdattavan vastuksen suuruuteen. (White ym. 2010, 102 - 103.) Veden vastusta on turvallista hyödyntää vedessä altistamatta nivelille ja sidekudoksille suurempaa stressiä. (Brennan & Wilder 2011; Waller 2016).

Vastuksen suuruuteen vaikuttavat P eli nesteen tiheys, A eli pinta-ala, V eli kulmamuu-
tosten nopeus ja Cd eli vedon koeffisientti (coefficient of drag). (Pöyhönen ym. 2000). Nämä tekijät on esitetty kuvassa 4.

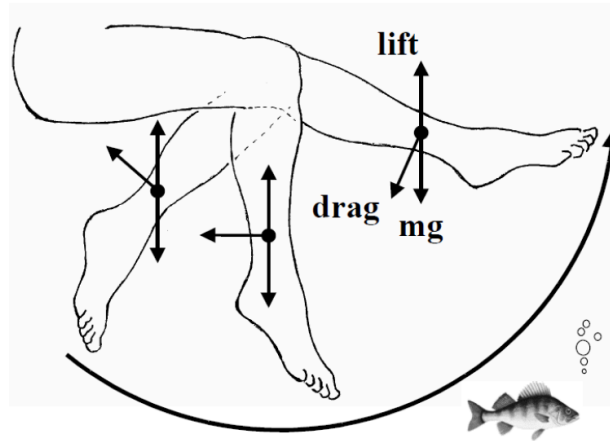
Vastuksen suuruus vedessä saadaan laskettua kaavasta:

$$Fd = \frac{1}{2} \rho A v^2 Cd$$

Missä Fd = Vedon vastus, ρ = veden tiheys, A = pinta-ala v = kulmamuu-
toksen nopeus Cd = vedon koeffisientti.

”Drag show”

$$\text{Drag force, } F_d = 1/2 \rho A v^2 C_d$$



P = density of fluid
A = surface area
V = Angular velocity
Cd = Coefficient of drag

M. Virmavirta 2002

Ben Waller 2016

KUVA 4. Vedon vastuksen suuruuteen F_d (Force of drag) vaikuttavat tekijät. (Pöyhönen ym. 2000, Virmavirran 2002 ja Wallerin 2016 mukaan).

3.3 Fysiologiset tekijät

Tutkimusnäytön mukaan fysiologiset muuttujat (sydämen syke ja VO_{2max}) jäävät maksimaalisessa vesijuoksussa matalammiksi kuin vastaavissa testeissä juoksumatolla, samalla koetun rasittavuuden tasolla (Brennan & Wilder 2011; Denning ym. 2012; Kanitz ym. 2015). Lihasten erilainen rekrytointi malli on esitetty yhdeksi syyksi alhaisemmille VO_{2max} -arvoille (Svedenhag ym. 1992; Michaud ym. 1995; Keskinen 2003).

Veren laktaattipitoisuuden nousun suhteen tulokset vaihtelevat suuresti. Vesijuoksussa on saavutettu korkeampia, yhtä suuria ja matalampia laktaattipitoisuuksia juoksumatottestiin verrattuna (Brennan & Wilder 2011). Tukeutuen aikaisempiin pyöräergometritesteihin Svedenhag & Seger (1992) tekivät johtopäätöksen, että imersio vaikuttaa kardiavaskulaariseen hienosäätöön kaikilla kuormituksen tasoilla. Lisäksi hydrostaattisen

paineen ja muuttuneen juoksutekniikan vaikutuksesta vedessä anaerobinen energiantuotto nousee.

Hydrostaattinen paine. Veteen upotettu keho altistuu hydrostaattiselle paineelle. Paineen määrä kasvaa mitä syvemmälle veden pinnasta mennään. Hydrostaattinen paine tehostaa veren laskimopaluuta kiihdyttäen kardiovaskulaarisia toimintoja. Tehostunut laskimopaluuta on yhteydessä laskeneeseen sydämen lyöntitiheyteen ja kasvaneeseen iskutilavuuteen, mitkä säilyvät jopa korkea intensiivisen rasituksen aikana (Becker 2011; Brennan & Wilder 2011; Cuesta-Vargas & Heywood 2011; Liem ym. 2013). Veden hydrostaattisen paineen sykettä alentava vaikutus voi myös osaltaan vaikuttaa alhaisempaan maksimaaliseen hapenkulutukseen vesijuoksussa (Craig ym. 1969 ja Frangolias ym. 1995, Keskisen 2003 mukaan). Hydrostaattisen paineen vuoksi kehon perifeerinen vastus vähenee ja syke voi jäädä jopa 5–15 % matalammalle tasolle vesiurheilurasituksessa kuin tasamaalla (Becker 2011; Denning ym. 2012).

Spesifi lämpö. On lämmön määrä mikä tarvitaan nesteen lämpötilan nostattamiseksi 1 °C -asteella. Veden spesifi lämpö on moninkertainen verrattuna ilman lämpötilaan. Tämän vuoksi lämmön menetys vedessä on huomattavasti suurempi mitä yhtä lämpimässä ilmassa. (Brennan & Wilder 2011.)

Lämpötila. Kevyille vesijuoksuille ideaalinen veden lämpötila vaikuttaisi olevan 29–33 °C asteen välillä. Intensiivisemmässä vesiliikunnassa urheilijat suosivat viileämpää, n. 26–28 °C vettä, termoneutraalisen lämpötilan säilyttämiseksi (Nakanishi ym. 1999; Brennan & Wilder 2011). Yhdeksää vesijuoksua koskevaa tutkimusta vertaillen Liem ym. (2013) tekivät johtopäätöksen, että HR laskisi 15 bpm tasamaalla tapahtuvaan juoksuun verrattuna. Syyksi tähän arveltiin veden lämpötilaa ja lämmön johtuvuutta. Toisaalta, lämpimässä vedessä syke pysyy lähes yhtä suurena tasamaalla tapahtuvaan juoksuun verrattuna.

4 VESIJUOKSUSUORITUS

Vesijuoksuharjoittelua toteutetaan pystyasennossa, usein kelluntavyötä hyödyntäen. DWR-vesijuoksussa ei tapahdu pohjakosketusta. Mikäli vesijuoksu sisältää pohjakosketuksen, on kyse SWR:sta. Anttilan (2005) teoksessa vesijuoksijan käsikirja on käsitelty perusteellisesti vesijuoksuteknisiä kysymyksiä ja haasteita. Halutun tekniikan mahdollistamiseksi veden syvyyden tulisi olla vähintään 140 - 150 cm syvyistä riippuen vesijuoksijan pituudesta. Liem ym. (2010) painottivat, että halutunlaisen vesijuoksutekniikan harjoittelu tulisi aloittaa vähitellen vaihe vaiheelta. Tekniikan havainnollistamiseen tulisi käyttää runsaasti aikaa. Lisäksi juoksuvyön tulisi olla riittävän kannatteleva, jolloin olkapäät saavuttavat vedenpinnan tason.

Brennan & Wilder (2011) listasivat syitä miksi urheilijoiden kannattaisi hyödyntää vesijuoksua harjoittelussaan:

1. Aerobisen kunnon kehittäminen tai ylläpitäminen ilman riskiä ylikuormittaa lihaksistoa suurilla määrillä iskuja
2. Kohentaa juoksun biomekaniikkaa (erityisesti ylävartalon käyttö)
3. Termisen stressin lasku
4. Aktiivinen palautuminen kovien harjoitusten tai kilpailujen jälkeen
5. Harjoittelun yksipuolisuuden välttäminen luovien harjoitusmuotojen kautta
6. Vesijuoksun sosiaaliset hyödyt, mahdollistaen eritasoisten juoksijoiden yhdessä harjoittelemisen
7. Hengityselimistön lihaksiston kestävyiden kehittäminen

4.1 Vesijuoksutekniikka

Anttilan vesijuoksijan käsikirjassa (2005) esitellään kolme erilaista "nopeaa vesijuoksutekniikkaa". Tekniikat ovat nimeltään *tikitysvesijuoksu*, *pikajuoksutekniikka* ja *aitajuoksutekniikka*. Tekniikat eroavat toisistaan käyttötarkoitusten ja suoritusfrekvenssin (spm, stride per minute) perusteella. Tekniikasta riippumatta vesijuostessa nojataan kevyesti

eteenpäin. Pään tulee olla veden pinnan yläpuolella vartalon jatkeena. Jaloilla poljetaan tehokkaita ja rytmisiä juoksuliikkeitä siten, että jalat ojennetaan taakse suoriksi jokaisella potkulla. Potkun lopussa tapahtuu myös nilkan ojennus. Loppuojennuksen avulla mahdollistetaan tehokas pakaralihasten käyttö. Kädet rytmittävät vesijuoksusuoritusta vartalon sivuilla kuten kuivalla maalla juostessa. Frekvenssin osalta eri tekniikoiden keskinopeudet ovat 160 tikitysvesijuoksussa, 100 pikajuoksu- ja 80 spm aitajuoksutekniikassa. Aitajuoksutekniikassa tekniikan nimen mukaisesti vettä kauhaistaan jalalla edestä, kuten aitajuoksijan kuopaisu aitaa ylitettäessä. Aitajuoksutekniikassa jalan veto saatetaan kauas taakse.

Killgore ym. (2006) tutkivat kahden erilaisen vesijuoksutekniikan sekä juoksumattojuoksun kinematiikkaa. Vesijuoksutekniikoista käytettiin nimiä CC-tyyli (deep water cross-country running) ja HK-tyyli (deep water high knees running). CC-tyylissä pyritään laajoihin liikeratoihin siten, että jalalla polkaistaan vettä kauempaa edestä, potku saatetaan loppuun asti taakse ja suoritetaan selkeä nilkan ojennus. HK-tyyli tapalee nimensä mukaan korkeaa polvennostajuoksua. Tyylien välinen vertailu toteutettiin mittauksissa 55-60 % tehoilla VO_{2max} :ista hengityskaasuja mitaten. Tutkittavina toimi 20 yliopistotason kestävyysjuoksijaa (naisia 8 ja miehiä 12). Horisontaalisten ja vertikaalisten muutosten perusteella CC-tyylin todettiin olevan polven ja nilkan liikkeiden osalta HK-tyyliä huomattavasti lähempänä juoksumatolla saavutettua kinematiikkaa. Tästä johtuen juoksijoiden voisi suositella hyödyntävän CC-tyyliä vesijuoksussa. Tutkimuksesta tulee kuitenkin huomioida, että askeltiheys on CC-tekniikassa hitaampi vastaavilla hapenkulutuksen tasoilla verrattuna juoksumatolla juoksemiseen.

Tässä tutkimuksessa käytössä oli Anttilan (2005) havainnollistaman aitajuoksutekniikan ja Killgoren ym. (2006) esittämän CC-tyylin kaltainen suoritustapa. Kuvassa 5 esitetään tässä tutkimuksessa käytetyn vesijuoksusuorituksen vaihe, missä näkyy selkeä polven nosto ja takajalan saattaminen kauas taakse, mitä seuraa nilkan ojennus. Kädet rytmittävät ja tasapainottavat juoksua sivuilla.



KUVA 5. Esimerkki tutkimuksessa käytetystä vesijuoksutekniikasta.

Kanitz ym. (2014) vertailivat miten paikallaan pysyminen tai jatkuvassa liikkeessä vesijuoksusuorituksen toteuttaminen vaikuttaisi tuloksiin kadensseilla 60, 80 ja 100 spm. Tutkimus teetettiin 19-26-vuotiaille naisille (n=12). Tutkimuksen johtopäätöksenä todettiin, että liikkeen avulla saavutettiin korkeammat vasteet ventiloinnin ja hapenoton suhteen, sekä RPE raportoitiin suuremmaksi. Sykkeen osalta tutkimuksessa ei löydetty tilastollista merkitsevyyttä.

4.2 Vesijuoksutesti

Suomessa ei ole aikaisemmin teetetty kuntotestejä vesijuosten. Vesijuoksutestistä voidaan saada vaihtoehtoinen testimuoto tuki- ja liikuntaelimistön sairauksista ja vammoista kärsiville urheilijoille (Butts ym. 1991; Gayda ym. 2010). Vesijuoksusuoritus tapahtuu useimmiten

altaan syvässä osassa siten, että pohjakosketusta ei tapahdu. Vesijuokseva henkilö pyrkii tapailemaan liikeratojensa osalta samanlaista liikettä kuin tasamaalla tai juoksumatolla juostessaan. Vesijuoksutesti testimuotona mahdollistaa kevyemmän lihaksiin ja niveliin kohdistuvan mekaanisen kuorman. (Butts ym. 1991; Svedenhag ym.1992; Gayda ym. 2010; Liem ym. 2013.) Suora hapenottokyvyn testi vesijuosten tulisi olla mahdollisimman helppo toteuttaa totutussa harjoitusympäristössä, kuten uimahalleissa missä urheilijat tapaavat harjoitella. Varustelukysymys tulisi olla helposti ratkaistavissa onnistuneiden testien läpi viemiseksi.

4.2.1 Käytetyt vesijuoksutestit ja -tutkimukset

Vesijuoksutestejä on hyödynnetty useilla eri kohderyhmillä. Vesijuoksutestejä on teetetty muun muassa hyvin harjoitelleille juoksijoille (Svedenhag & Seger 1992), hyväkuntoisille aikuisille (Mercer & Jensen 1997), armeijan väelle (Rudzki ym. 1999; Burns & Lauder 2001), yli 45-vuotiaille tutkittaville (Gayda ym. 2010), vammojen ennaltaehkäisyyn ja aerobisen kunnon ylläpitämisen apuvälineenä kroonisista alaselkävaivoista kärsiville potilaille (Cuesta-Vargas & Heywood 2011) ja nuorille perusterveille 19–26-vuotiaille naisille (Kanitz ym. 2014; Kanitz ym. 2015). Testien protokollat ja tutkittavien profiilit ovat vaihdelleet tutkimuskohtaisesti.

Bushman ym. (1997) toteuttivat seurantatutkimuksen 11:lle kilpajuoksijalle (10 miestä ja 1 nainen) neljän viikon ajalta. Tutkimuksen tavoitteena oli selvittää voidaanko intensiivisellä vesijuoksuharjoittelulla ylläpitää maksimaalista suorituskykyisyyttä juoksumatolla. Neljän viikon ajan tutkittavat tekivät intensiteetiltään ja pituudeltaan 5–6 erilaista vesijuoksuharjoitusta viikossa. Tutkittavat säilyttivät 5 kilometrin mittaisessa juoksumattotestissä suorituskykyisyytensä ja maksimaalisen hapenottokykynsä ilman tilastollisesti merkitsevää eroa. Tuloksia kunnon heikkenemisestä vesijuoksuharjoittelun seurauksena raportoivat taas Quinn ym. (1994) neljän viikon vesijuoksuharjoitusjakson päätteeksi ei harjoitelleilla naisilla (n=7).

Kanitz ym. (2015) määrittivät tutkimuksensa progressiivisesta vesijuoksukuormituksesta anaerobisen kynnyksen (AT, anaerobic threshold). Tutkimuksessa käytettiin ryhmän tekemien pilotteihin perustuvaa menetelmää, jossa aloituskuorma kesti kolme minuuttia sykkeellä 85

bpm. Tämän jälkeen tähdättiin 15 bpm suuruisiin nostoihin kahden minuutin kuormin jatkuen aina uupumukseen asti. Tutkittavia kehoitettiin ylläpitämään samat liikelaajuudet koko testin ajan ja he saivat palautetta silmämääräisesti suoritustekniikkaa seuranneelta tutkimusryhmältä. Välttääkseen haasteellisten laktaattinäytteiden ottamisen käytettiin tutkimuksessa tavanomaisten hengityskaasumuuttujien tukena sydämen lyöntitiheyden poikkeamakohtaa, (HR deflection point, HRDP), joka on Kanitzin ym. (2015) mukaan tukeutuen Conconin ym. (1982) tutkimukseen luotettava menetelmä anaerobisen kynnyksen määrittämiseksi.

Svedenhag ja Seger (1992) pyrkivät tekemään päätelmiä veteen upottamisen seurauksista fysiologisiin muutoksiin. Kyseessä oli vertailututkimus juoksumattojuoksun ja vesijuoksun välillä. Kelluttavaa vesijuoksuvyötä hyödyntäen 10 hyvin harjoitellutta juoksijaa (keski-ikä 26 v.) suorittivat neljä sykeohjattua submaksimaalista kuormaa. Tavoitesykkeet kuormille olivat 115, 130, 145 ja 155–160 bpm. Lisäksi tutkittavat suorittivat maksimaalisen kuorman. Juoksumatolla suoritettavat kuormat pyrittiin tähtäämään yhtä suurille rasituksen tasoille. VO_{2max} (4.03 vs 4.60 l/min) ja maksimisyke (172 vs. 188 bpm) jäivät vedessä matalammiksi. RPE ja hengitysosamäärä (RER) olivat vedessä submaksimaalisilla kuormilla korkeammat. Ventilaatiota vastaavat lukemat olivat yhtä suuret. Veren laktaattipitoisuus oli vedessä yhdenmukaisesti korkeammalla tasolla niin maksimaalisessa rasituksessa kuin submaksimaalisilla kuormilla. Rasituksen tasosta riippumatta syke jäi vedessä 8–11 bpm matalammalle tasolle.

4.2.2 Vesijuokсутестin toistettavuus

Mercer ja Jensen (1997) sekä Gayda ym. (2010) ovat tutkineet vesijuokсутестin toistettavuutta. Mercer & Jensen (1997) tutkimus vesijuokсутестin toistettavuudesta on tiedettävästi ensimmäinen laatuaan. Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 26 henkilöä (12 naista ja 14 miestä). Miehet olivat iältään 24 ± 4.9 vuotta ja naiset 21 ± 1.2 vuotta. DWR-testi oli jatkuva kuormien kestäessä yhden minuutin. Progressiivisuus testissä tapahtui lisäämällä koehenkilöön kiinnitettyyn ämpäriin 0.57 kg painoa jokaisella kuormalla. Tulokset olivat niin VO_{2max} :in kuin HR_{max} :in suhteen toistettavuudeltaan hyvää luokkaa niin koko tutkimusryhmällä kuin eri sukupuolillakin. Kahden DWR-testin välillä ei ollut merkittävää

tilastollista eroa naisten tai miesten välillä. Tutkimuksessa teetettiin myös progressiivinen TMR-testi, johon DWR-tuloksia verrattiin.

Gayda ym. (2010) tekemän tutkimuksen tärkein havainto oli, ettei vesijuokсутestin pituudella ollut merkitystä yli 45-vuotiaiden tutkittavien kardiovaskulaarisiin tuloksiin, sydämen lyöntitiheyttä lukuun ottamatta. Tutkimuksessa mitattiin hapenoton huippulukemia ja sydämen lyöntitiheyttä. Tutkimukseen osallistui 24 perustervettä 46–73-vuotiasta henkilöä. Tulosten analysoinnissa selvisi, että VO₂ tasaantuminen tapahtuu samoilla tasoilla kaikissa kolmessa teetetyssä DWR-testissä. Kyseisessä tutkimuksessa raportoitiin DWR-testien välillä olevan erinomainen toistettavuus hengitys- ja verenkiertoelimistön huippuarvojen suhteen. VO₂ -arvojen korrelaatio painoon suhteutettuna oli 0.90 ja rasvattomaan massa suhteutettuna korrelaatio oli 0.84. Lisäksi tutkittavista 19 suoritti lyhyen vesijuokсутestin ≤ 8 min kahteen otteeseen. Hengitys- ja verenkiertoelimistön vasteista kertovat muuttujat merkittävien hengityskaasumuuttujien (VO₂ ml/kg/min, VCO₂ ml/kg/min, VO₂ ml/min/lean body mass) ja ventilaatiodatan (VE l/min, kertahengitystilavuus ja hengitysfrekvenssi/min) toistettavuus oli korkea (p < 0.0001). Muut mitatut parametrit, RER, O₂ pulssi ja syke osoittivat heikompaa korrelaatiota. Toteutettu DWR-tekniikka pyrki tapailemaan tasamaalla tapahtuvaa juoksua muutaman asteen etukenolla. Testi aloitettiin suoritustemmolla 56 spm, jonka jälkeen tempo nostettiin kahden minuutin välein 8–30 spm.

5 TUTKIMUKSEN TARKOITUS, TUTKIMUSONGELMAT JA HYPOTEESEIT

Tutkimuksen tavoitteena oli kehittää toistettava suora hapenottokyvyn testiprotokolla vesijuoksuun. Tällä hetkellä testiprotokollia on useita, mutta niiden validoinnin, mittausten menetelmien ja käytetyn tekniikan raportoimisessa on ollut puutteita. Käytetyllä tekniikalla on huomattava merkitys saavutettuihin metabolisiin vasteisiin (Azevedo ym. 2010).

Tutkimuskysymys 1: Ovatko fysiologiset muuttujat; sydämen syke, veren laktaattipitoisuus ja mitatut hapenoton arvot toistettavia kilpajuoksijoille kehitetyssä vesijuoksu-testissä?

Hypoteesi 1: HR_{max}:in toistettavuus vesijuoksu-testissä on hyvä (Mercer & Jensen 1997). VO_{2max}:in toistettavuus on hyvä (Mercer & Jensen 1997; Gayda ym. 2010). Veren laktaattipitoisuuden nousussa tulokset vaihtelevat tutkittavien välillä (Brennan & Wilder 2011). Toisaalta tulokset voivat tässä tutkimuksessa poiketa, sillä tutkittavat eivät tarkastellussa kirjallisuudessa olleet kilpaurheilijoita ja testiprotokollat olivat erilaiset.

Tutkimuskysymys 2: Ilmeneekö vesijuoksu-testin seurauksena hermolihasjärjestelmän nopeassa voimantuottokyvyssä väsymystä kevennyshypyillä mitattuna?

Hypoteesi 2: Kevennyshyppytulokset heikkenevät johtuen aineenvaihduntatuotteiden kertymisestä työskenteleviin lihaksiin. Tulosten heikkeneminen korreloi veren laktaattipitoisuuden nousun kanssa. (Kamandulis ym. 2016.)

Tutkimuskysymys 3: Ovatko kilpajuoksijoille määritetyt kynnykset (AeK ja AnK) toistettavuudeltaan hyvät kehitetyssä vesijuoksu-testissä?

Hypoteesi 3 : Ei ole tiedettävästi tutkittu samoilla metodeilla, kuin tässä tutkielmassa. Toisaalta Kanitz ym. (2015) totesivat AnK:ä vastaavan sykkearvon olevan luotettava, määritettiin kynnyksen sitten hengityskaasuihin tukeutuen tai sykkeen poikkemakohdan (HRDP) avulla (ICC_{HR}: 0.944, p < 0.001).

6 MENETELMÄT

6.1 Tutkittavat

Koko tutkimukseen osallistui 21 vähintään kansallisella tasolla kilpailevaa suomalaista kestävyysurheilijaa. Koehenkilöistä 13 (7 miestä ja 6 naista) suoritti tutkimushankkeen suoran hapenottokyvyn testin vesijuosten kahteen kertaan. Iältään tutkittavat olivat 18–40-vuotiaita. Lajitustoiltaan tutkittavat olivat keski- tai pitkänmatkanjuoksijoita tai suunnistajia. Tutkittavien antropometriset tiedot ensimmäisten mittausten perusteella on esitetty taulukossa 2. Tutkittavat punnittiin henkilöväällä ennen jokaista kolmea testisuoritusta. Pituus kysyttiin testattavilta ennen vesijuoksumatkaa ja varmistettiin mittaamalla ennen juoksumatkaa.

TAULUKKO 2. Tutkittavien keskimääräinen ikä, pituus, paino ja BMI tutkimuksen alkumittauksissa. Mean \pm SD.

	Ikä (vuotta)	Pituus (cm)	Paino (kg)	BMI (kg/m ²)
Miehet (n = 7)	25.8 \pm 6.4	180.3 \pm 7.9	70.2 \pm 7.9	21.6 \pm 1.5
Naiset (n = 6)	23.1 \pm 1.6	167.5 \pm 7.2	60.4 \pm 6.6	21.6 \pm 1.2

n, osallistujien määrä; BMI, painoindeksi.

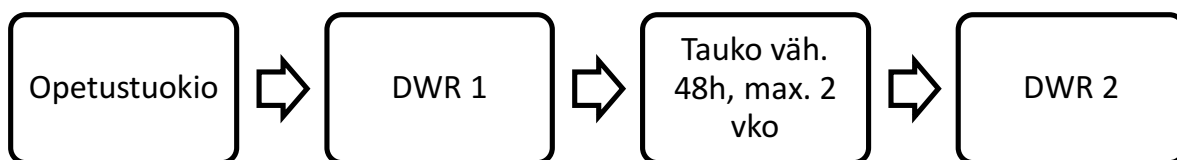
Ennen varsinaisia mittauksia kaikille tutkittaville lähetettiin sähköpostitse tutkimuksen kulku, missä kerrottiin mahdolliset riskit ja edut tutkimukseen liittyen. Lisäksi tutkittaville kerrottiin, että heillä on oikeus keskeyttää tai jättäytyä tutkimushankkeesta missä vaiheessa tahansa. Tutkimuksen kulku käytiin läpi vielä ennen varsinaisia testejä. Tutkittavat lukivat ja allekirjoittivat terveystieto- ja suostumuslomakkeet ennen ensimmäisiä mittauksia. Tutkimusta varten oltiin hankittu Jyväskylän yliopiston eettisen toimikunnan hyväksymä lausunto. Testejä ei oltaisi suoritettu, mikäli terveystietolomakkeista olisi selvinnyt akuutteja sydän- ja verisuonitauteja.

6.2 Koeasetelma

Tutkimuksessa seurattiin sykettä, hengityskaasumuuttujia, laktaattia ja koettua rasittavuuden tunnetta läpi testin. Lisäksi tutkittiin hermolihasjärjestelmän väsymystä testiä ennen ja jälkeen

suoritetuilla kevennyshypyillä (CMJ, Countermovement jump).

Koehenkilöitä varten järjestettiin kaksi erillistä opetuskertaa, jotta tuleva testiprotokolla tulisi tutuksi ennen varsinaisia mittauksia. Mikäli koehenkilö ei kyennyt ottamaan osaa jompaan kumpaan opetuskertaan, järjestettiin hänelle pidempi ohjeistus ja henkilökohtaista tekniikkaopetusta alkuverytelyn yhteydessä ennen ensimmäistä mittauskertaa. Opetuskertojen tavoitteena oli, että koehenkilöt saivat käyttää opetettua tekniikkaa omassa harjoittelussaan tekniikan omaksumiseksi. Näin pyrittiin varmistamaan kaikkien koehenkilöiden hallitsevan halutunlainen vesijuoksutekniikka. Opetustuokiot järjestettiin Jyväskylän AaltoAlvarissa lokamarraskuussa 2016. Varsinaiset mittaukset suoritettiin marraskuun 2016 - helmikuun 2017 välisenä aikana. Koehenkilöitä kehoitettiin pitämään testiä edeltävä päivä fyysisesti kevyenä. Kahden vesitestin välillä tuli olla vähintään 48 h palautumisaikaa. Testit tuli suorittaa kahden viikon sisällä, jottei koehenkilöiden kunto ehtisi muuttumaan mittausten välissä. Lisäksi testit tuli suorittaa samaan kellon aikaan vuorokaudesta ± 2 h sisällä toisistaan. Tutkimuksen koeasetelma on esitetty kuvassa 6.



KUVA 6. Tutkimuksen koeasetelma. DWR, vesijuoksutesti.

6.3 Aineiston keräys ja analysointi

Kaikki tutkittavat suorittivat ennen varsinaisia mittauksia ohjatun alkuverytelyn, testin ensimmäisiä kuormia vastaavilla kadensseilla. Alkuverytely oli yhtämittainen ja kestoltaan 10 min. Verryttely eteni tapaan: 2 min testin ensimmäistä kuormaa, 3 min toista kuormaa, 2 min neljättä kuormaa, 2 min toista kuormaa ja 1 min ensimmäistä kuormaa. Alkuverytelyn jälkeen koehenkilöt suorittivat viisi maksimaalista kevennyshypyä. Kevennyshyppyjen jälkeen koehenkilöt suorittivat progressiivisen vesijuoksutestin uupumukseen asti.

Vesijuoksutestin päättymisestä 2 min kuluttua suoritettiin kevennyshyppy uudestaan. Testipöytäkirjat on esitetty Liitteessä 1.

Kevennyshypyillä mitattiin koehenkilöiden alaraajojen räjähtävää voimantuottoa ja elastisuutta. Testin jälkeisillä hypyillä tutkittiin hermolihasjärjestelmän väsymystä. Hyppy suoritettiin valomatolla (IVAR Measuring Systems, Viro). Koehenkilöt saivat suoritustekniikan ohjeistamisen jälkeen suorittaa muutaman harjoitushypyn ennen varsinaisia suorituksia. Kevennyshypyssä koehenkilöt tekivät noin hartioiden levyisestä seisomiasennosta terävän kevennyksen siten, että polvikulma kävi noin 90 asteessa. Kevennyksen jälkeen suoritettiin välitön maksimaalinen ponnistus ylöspäin. Hypyissä kädet tuli pitää lanteilla koko suorituksen ajan. Alastulon tuli tapahtua suorille jaloille nilkat alaspäin ojennettuna. Valomaton mittaamasta lentoajasta voidaan laskea lentokorkeus kaavalla

$$h = gt^2/8,$$

missä h = nousukorkeus (m), g = putoamiskiihtyvyys (m/s^2) ja t = lentoaika (s).

Koehenkilöt suorittivat viisi maksimaalista hypyä ennen ja jälkeen vesijuoksutestin. Testiä edeltävissä hypyissä käytettiin 30 sekunnin mittaista palautusta, jotta koehenkilöt olisivat palautuneet edellisestä hypystä. Vesitestin jälkeiset hyppy suoritettiin ilman palautusta, heti kun lähtöasento oltiin korjattu halutunlaiseksi. Ennen ja jälkeen testin suoritetuista viidestä hypystä raportoitiin paras tulos ja kolmen parhaan tuloksen keskiarvo kuvaamaan hyppysuoritusta.

Vesijuoksutestin progressiivisuus tapahtui polkemistahtia, eli kadenssia nostamalla 5 spm jokaisella kuormalla. Kuormat olivat kestoltaan 3 min mittaisia, sisältäen kuorman päätteeksi veren laktaattinäytteen otton. Kyseisellä testillä pyrittiin tapailemaan mahdollisimman pitkälti juoksumatolla tapahtuvaa pitkää suoran hapen ottokyvyn testiä, missä kuorman nostot tapahtuvat lisäämällä juoksumaton vauhtia 1 km/h per kuorma. Lopulliseen testiprotokollaan päädyttiin syys-lokakuussa 2016 tehtyjen pilotointimittausten myötä. Tavoitteena oli, että vesijuoksutestin 2 - 3 ensimmäistä kuormaa osuisivat AeK:stä matalammille kadensseille, noin 2 kuormaa osuisi kynnyksen väliin ja 2 - 3 kuormaa suoritettaisiin AnK:stä suuremmilla

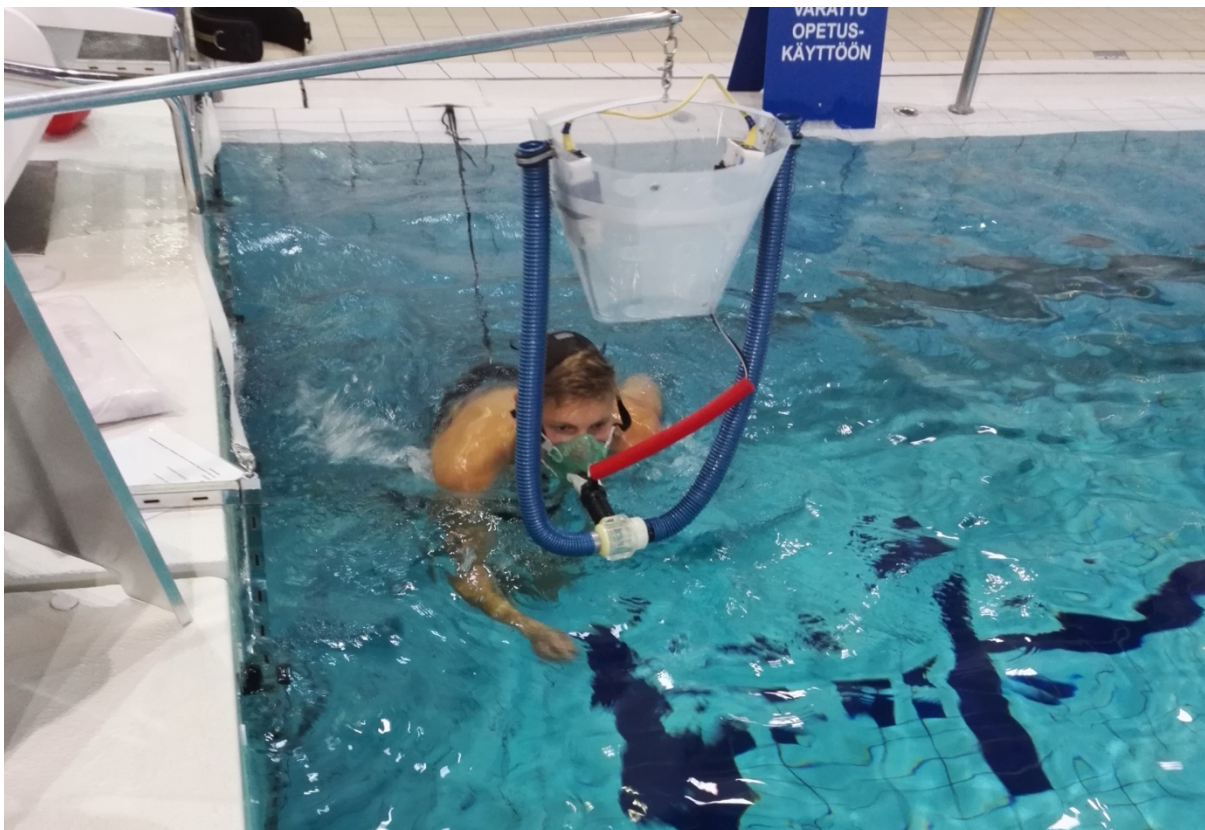
kadensseilla. Testin päättymisaika katsottiin siltä hetkeltä kun tutkittava otti kädellään kiinni altaan reunasta.

Koehenkilöt käyttivät vesijuoksusuoritukseen kelluttavaa vyötä (Aquawallgym™, Unkari) mistä heidät sidottiin kiinni altaan päädystä kahden metrin päähän. Vesi AaltoAlvarin harjoitusaltaassa oli testeissä 27 °C. Suorituksen oikeellisuuden tarkistamiseksi vesijuoksusuoritukset kuvattiin GoPro hero 3 -kameralla, myöhempää liikeanalyysiä varten. Alue, missä vesijuoksusuoritus tapahtui, kalibroitiin Jyväskylän yliopiston biomekaniikan pajassa valmistetulla rautaisella kalibrintikehikolla ennen testin alkua. Koehenkilöt saivat tekniikastaan palautetta testin aikana ja virheellisiksi liikkeiksi nähtyihin suorituksiin puututtiin huomauttamalla altaan reunalta käsin.

Tutkittavilta mitattiin ennen suorituksen alkua lepolaktaatti. Laktaattinäytteet otettiin jokaisen kuorman päätteeksi ja testin lopettamisen jälkeen. Näytteenoton ajaksi koehenkilö otti tukea oikealla kädellään uinnin lähtöraudasta ja ojensi vasemman kätensä mittaushenkilölle. Mikäli laktaatin ottamiseen kesti kauemmin kuin 40 sek, lisättiin seuraavan kuorman keston 1 min. Mittaamiseen käytettiin Lactate Scout+ pikamittaria (EKF-Diagnostic GmbH, Saksa). Suoritustempoa kontrolloitiin Cliftonin MT-40 Metronomilla ja äänen voimistamiseksi käytettiin Mitonen kannettavaa kaiutinta. Metronomin tahtiin tutkittavat suorittivat rytmikkäitä ja sykliisiä vesijuoksuliikkeitä. Hengityskaasuja mitattiin koko testisuorituksen ajan. Mittaamisessa käytettiin kannettavaa hengityskaasuanalysointia (Oxycon Mobile, VIASYS Healthcare GmbH, Hoechberg, Saksa). Mittauksissa käytettiin JLAB -ohjelmaa Breath by breathe -keräysmenetelmällä. Tutkittavan kasvoille aseteltiin mittauksia ennen sopivan kokoiset tiiviit suun ja nenän peittävät silikonimaskit (Hans Rudolph inc, U.S.A), jotka kiinnitettiin välikappaleiden avulla vesieristettyihin putkiin ja hengityssäiliöön (Hans Rudolph, Kansas City, U.S.A). Mittauksissa tarvittava välineistö laskettiin koehenkilön ylle erillisellä tangolla ja vaijerilla (Kuva 7).

Hengityskaasuista mitattiin hapenkulutusta (absoluuttinen ja suhteellinen), hiilidioksidin tuottoa ja ventilaatiota (mitattu ja vakio-olosuhteisiin muutettu) jokaisen kuorman viimeisen minuutin keskiarvon mukaan. Sykedatasta katsottiin (Polar V800, Polar Electro, Kiina) jokaisen kuorman lopusta viimeisen 30 sekunnin keskiarvo, mikä kirjattiin kyseistä kuormaa vastaavaksi sykkeeksi. Lisäksi testissä saavutettu maksimisyke kirjattiin erikseen ylös.

Kuormien viimeisen minuutin aikana tutkittavaa pyydettiin osoittamaan sormella kokemaansa rasittavuuden tilaa, RPE vastaavaa lukemaa Borgin taulukosta (Liite 2) väliltä 6 - 20. Henkilöille oltiin esitelty Borgin taulukko niin opetustuokiossa, kuin varsinaisten testien alkuveryttelyn aikana. Taulukon mukaan luku 6 kuvastaa lepotilaa vastaavia tuntemuksia ja luku 20 vastaa maksimaallisen kovaa rasitusta (Borg 1982). Mikäli mittaajat kokivat testin olevan ratkaisuvaiheissa, koehenkilöltä kysyttiin viimeisen kuorman RPE testin päätyttyä.

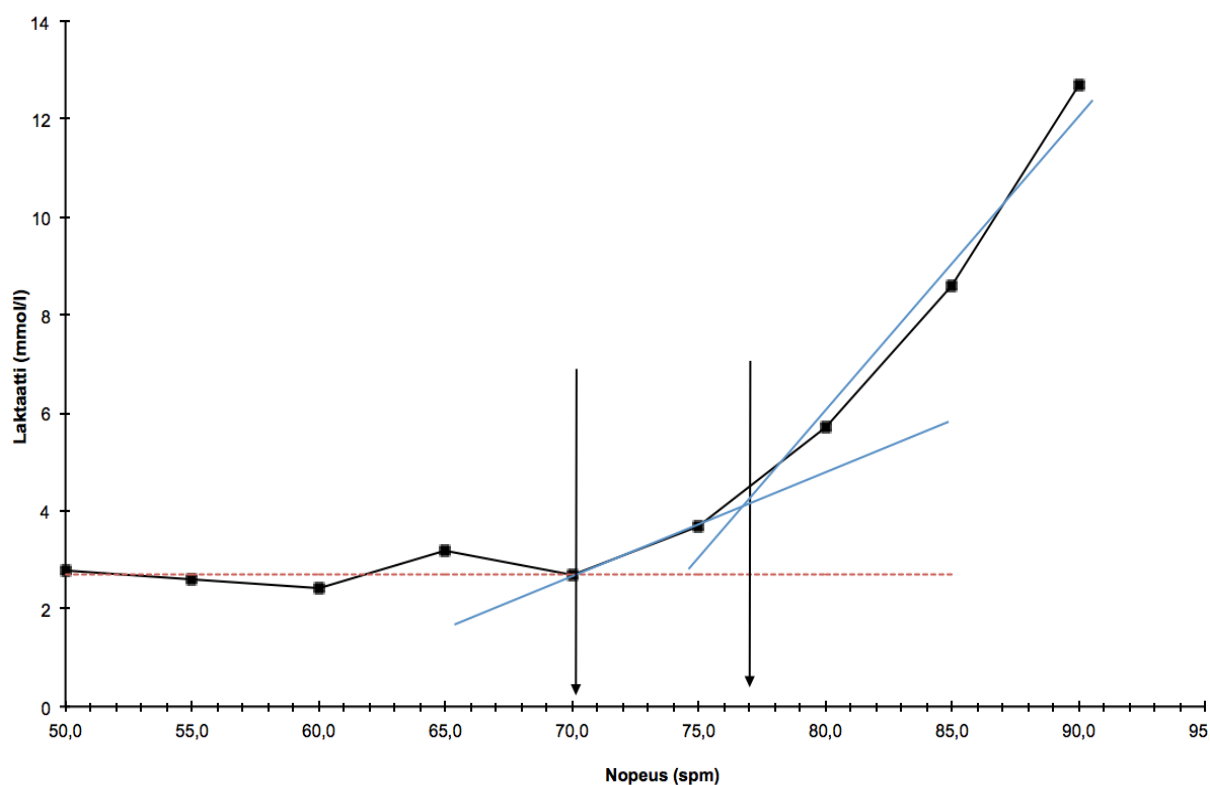


KUVA 7. Vesijuokсутестin tutkimusympäristöä.

Vesijuokсутesteistä määritettiin AeK ja AnK KLabin menetelmällä (Nummela 2014) veren laktaattipitoisuutta painottaen. Menetelmän mukaan AeK määritetään 0.3 mmol/l alimman laktaattiarvon yläpuolelle, mistä laktaattikäyrän kuvaajalle muodostetaan punainen apuviiva. AnK määritetään ensimmäisen ja toisen lineaarisovitteen väliseen leikkauspisteeseen. Lineaarisovite 1. muodostetaan kulkemaan AeK ja sitä seuraavan kuorman kautta ja lineaarisovite 2. kuormille, missä laktaatti nousee ensimmäisen kerran yli 0.8 mmol/l (Kuva 8). Tukea kynnyksen määrittämiseksi haettiin AeK:en osalta ventilaation suhteesta hapenottoon, VE/VO_2 ensimmäisestä selkeästä nousukohdasta ja AnK:en osalta ventilaation

suhteesta hiilidioksidin tuottoon ja VE/VCO_2 selkeästä nousukohtasta. Tuloksista tulkittiin maksimaaliseksi hapenottokyvyksi suurimman minuutin arvot keskiarvoistettuna.

Koehenkilöt saivat testeistään palautteet (Liite 3), mihin kirjattiin maksimaalista suorituskykyä, AnK:stä ja AeK:stä vastaavat arvot hapenoton (absoluuttinen ja suhteellinen), sykkeen, laktaatin ja polkemistahtin (spm) osalta. Palautteen tarkoituksena oli, että koehenkilöillä olisi mahdollisuus hyödyntää saamiaan kynnyksiä vesijuoksuharjoittelussaan.



KUVA 8. Vesijuoksutestin laktaattikäyrä. Laktaatti (mmol/l); polkemistahti (spm).

6.4 Tilastolliset menetelmät

Koehenkilötietojen ja testitulosten analysointia varten käytettiin Microsoft Office Excel 2015 -ohjelmaa. Tilastollisissa analyyseissä käytettiin IBM SPSS Statistics 22.0 -ohjelmaa (IBM Corporation). Ennen tarkempia tilastollista analysointia varmistettiin mittaustulosten olevan likimain normaalisti jakautuneita muuttujia. Kaikki koehenkilöt (n=13) suorittivat molemmat vesijuoksutestit, mutta kolmelta koehenkilöltä ei saatu luotettavasti mitattua molemmista

testeistä maksimaalista hapenottokykyä. Tästä johtuen maksimaalisen hapenottokyvyn vertailussa aineistokoko oli pienempi ($n=10$), kuin muiden muuttujien välisessä tarkastelussa.

Kahden vesijuoksutestin välisten erojen tilastollisen merkitsevyyden selvittämisessä käytettiin SPSS:n Intraclass Correlation of Coefficient -menetelmää, luottamusvälin ollessa 95%. SPSS:n *Test of Normality* -menetelmällä katsottiin merkitsevyyden p olevan >0.05 , jolloin nollassa hypoteesi voitiin hylätä ja todeta testikertojen välisten tulosten poikkeavan toisistaan. Näin voitiin käyttää parametrisia muuttujia tulosten tarkastelussa. Tilastollinen merkitsevyys katsottiin Shapiro Wilkin mukaan, sillä käytetyn aineiston koko oli pieni. Muuttujien välillä vallitsevia korrelaatioita tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimella. (Törmäkangas 2010.) Tilastollisen merkitsevyyden rajaksi asetettiin $p \leq 0.05$.

Intraclass correlation coefficient (ICC), suomeksi sisäkorrelaatiokerroin, on tämän tutkielman merkittävin menetelmä toistettavuuden tutkimiseen. Kyseessä on samankaltaisuuden mitta, joka saa arvoja väliltä $[0,1]$ arvon 0 merkitessä ei luotettavuutta ollenkaan ja luvun 1 kuvaavan täydellistä luotettavuutta (Weir 2005; Sarna 2012). ICC ilmoittaa kuinka suuri osuus kokonaisvaihtelusta johtuu luokkien välisestä vaihtelusta. Menetelmää hyödynnetään toistomittausten samankaltaisuuden arvioinnissa. (Sarna 2012). ICC:n arvot välillä 0.40–0.75 kertovat melko hyvästä toistettavuudesta (Fleiss 1986). Mikäli tulokset saavat korkeampia arvoja kuin 0.75, voidaan mittaustulosten toistettavuus todeta erittäin hyväksi (Streiner & Norman 1995). Portney & Watkins (1993) määrittivät ICC:n lukemista varten ohjeistuksen, minkä mukaan <0.75 kertoo heikosta toistettavuudesta, >0.75 hyvästä toistettavuudesta ja >0.9 luotettavuuden riittäväksi kliinisiä mittauksia varten.

Maksimi-arvojen välisessä vertailussa käytettiin Bland-Altman -metodia. Altman & Bland (1983) esittivät kyseisen menetelmän absoluuttisen toistettavuuden esittämiseksi. Tulosten keskiarvon lisäksi graafissa esitetään kokeen satunnaisvirhe 95 % luottamusvälillä, jonka mukaan muodostetaan graafin ylempi ja alempi apuviiva ± 1.96 SD, missä SD on erotusmuuttujan keskihajonta. (Atkinson & Nevill 1998.) Bland & Altman menetelmää apuna käyttäen määritetään hyväksyttävyyden rajat 95 % luottamusvälille. Kahden mittauksen välille lasketaan keskiarvo ja erotus. Tämän jälkeen 95 % luottamusväli merkitään kaavalla $d \pm 1.96SD$ (d = keskiarvo, SD = keskihajonta). Mitä pienempi tämä luku on, sitä lähempänä mittauskertojen tulokset ovat toisiaan ja sitä parempi toistettavuus. (Bland & Altman 1986.)

Yksilön sisäistä vaihtelua arvioitiin variaatiokertoimen (CV, Coefficient of Variation) avulla. CV saadaan yksinkertaisesti jakamalla keskihajonta (SD) keskiarvolla (mean) ja kertomalla luku sadalla prosenttilukujen ilmoittamiseksi. Kaava toimii heterogeenisessä otoksessa, mutta sen käyttäminen voi olla haasteellista, mikäli otoskoko on pieni (Atkinson & Nevill 1998).

Tässä tutkimuksessa käytettiin variaatiokertoimen laskemiseksi kaavaa:

$$CV (\%) = 100 \times \frac{SD}{Mean}$$

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (\chi_1 - \chi_2)^2}{2n}}$$

$$Mean = \frac{\sum (\chi_1 + \chi_2)}{2n}$$

Missä \sum = summaoperaattori, χ_1 = ensimmäisen testin tulos, χ_2 = toisen testin tulos ja n = koehenkilöiden määrä.

7 TULOKSET

7.1 Maksimiarvot

Taulukossa 3 esitetään vesijuokсутestien maksimitulokset. Tutkittavien määrä oli 13, lukuun ottamatta VO₂max tuloksia, missä luotettavat maksimitulokset saatiin mitattua vain 10:ltä tutkittavalta. Korrelaatio oli voimakasta HR_{max} (r=0.94), VO₂max (r=0.896), Lac_{max} (r=0.749) ja RPE_{max} (r=0.64) osalta. Tilastollinen merkitsevyys oli huomattavaa p ≤0.01 kaikissa muuttujissa, paitsi RPE:n osalta, mikä oli myöskin tilastollisesti merkitsevää p ≤0.05

TAULUKKO 3. Vesijuokсутestien vertailu maksimiarvojen osalta. Mean ± SD.

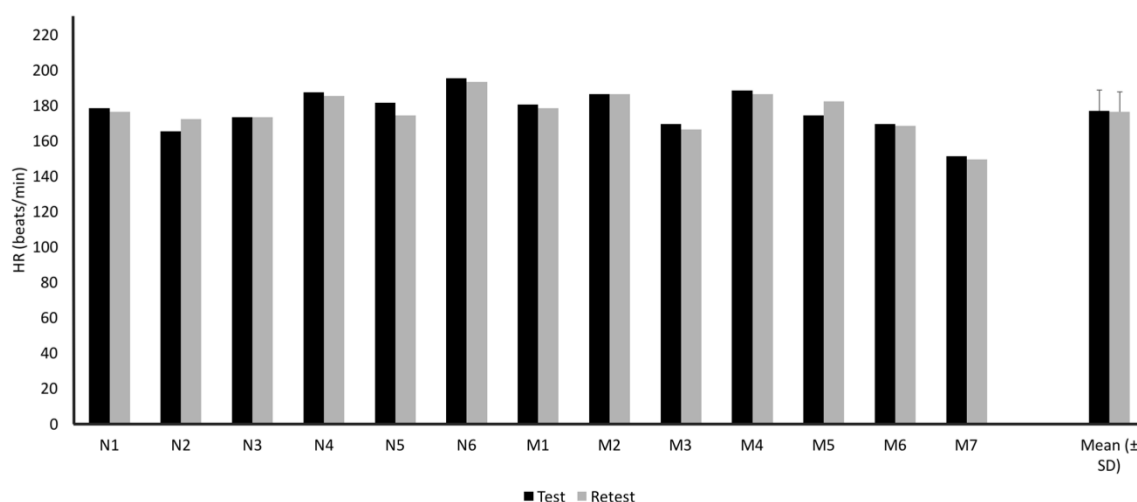
		Test	Retest	r	p
n=13	HR (beats/min)	177 ± 12	176 ± 11	0.940	≤0.001
n=10	VO ₂ (ml/kg/min)	56.7 ± 8.1	56.3 ± 8.3	0.896	≤0.001
n=13	Lac (mmol/l)	8.5 ± 2.5	9.0 ± 2.6	0.749	≤0.01
n=13	RPE (6-20)	19.5 ± 0.8	19.8 ± 0.4	0.640	≤0.05

VO₂, hapenkulutus; HR, sydämen syke; Lac, veren laktaattipitoisuus; RPE, koettu rasittavuuden tila; r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys

Naistutkittavien vesijuokсутestiin kulunut aika sisältäen laktaattinäytteen ottamisen, olivat ensimmäisellä mittauskerralla keskimäärin 30.33 min (± 2.20 min) ja toisella mittauskerralla 29.40 min (± 2.25 min). Miestutkittavien vastaavat ajat olivat ensimmäisellä mittauskerralla keskimäärin 23.36 min (± 2.31 min) ja toisella mittauskerralla 23.46 min (± 2.51 min).

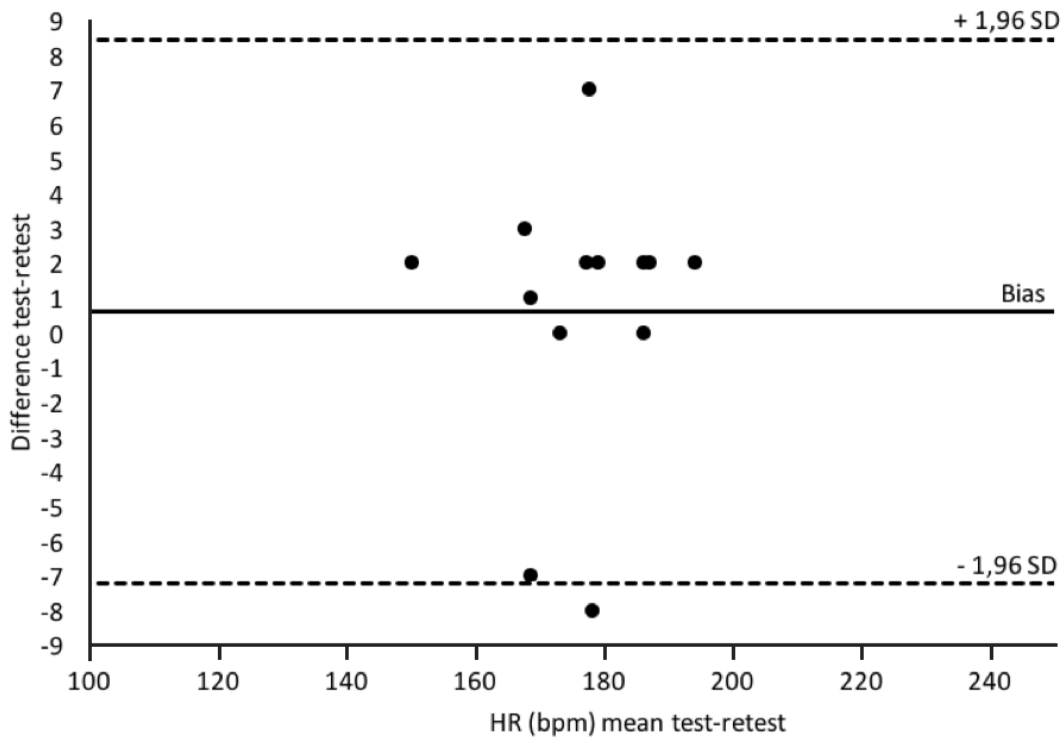
7.1.1 Maksimisyke

Koehenkilöiden maksimisykkeet vesijuoksutesteissä vaihtelivat ensimmäisessä testeissä naisilla 165–195 ja miehillä 151–188 bpm välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla 172–193 ja miehillä 149–186 bpm välillä. Tutkittavien saavuttamat maksimisykkeet testikertojen välillä on esitetty kuviossa 1.



KUVIO 1. Vesijuoksutestien maksimisykkeet HR (beats/min). N, naistutkittava; M, miestutkittava; Mean, tulosten keskiarvo; \pm SD, keskihajonta.

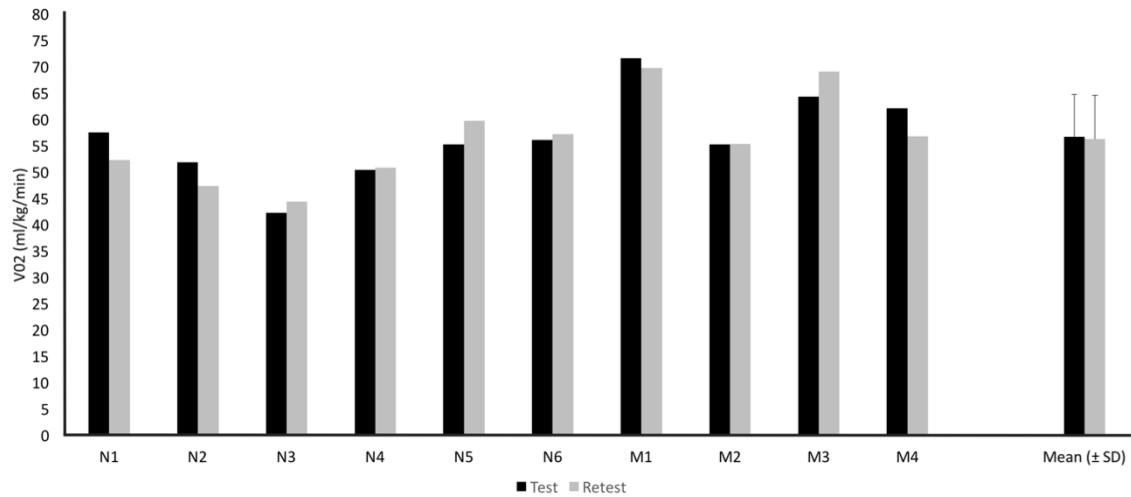
Kahden testin maksimisykkeiden väliset eroavaisuudet ovat nähtävissä Bland-Altman -graafissa kuviossa 2. Maksimisykkeiden keskiarvot vaihtelivat välillä 150–194 bpm ja tutkittavien kahden testin väliset erot vaihtelivat -8–7 bpm välillä. Kuvion x-akselilla tutkittavien maksimisykkeiden keskiarvot ja y-akselilla testien väliset erot. Vesijuoksutestien maksimisykkeiden erojen keskiarvo kaikilta tutkittavilta oli 0.62, mistä muodostettu bias eli harha. 95% luottamusväli laskettu lisäämällä biasiin keskihajonta 3.99 kerrottuna + tai -1.96.



KUVIO 2. Bland-Altman -plot toistettavuudesta vesijuoksu-testin maksimisykkeiden välillä. Y-akselilla testien välinen ero ja x-akselilla testien välinen keskiarvo. Bias 0.62; SD 3.99; 95% luottamusväli alaraja -7.21 ja yläraja 8.44.

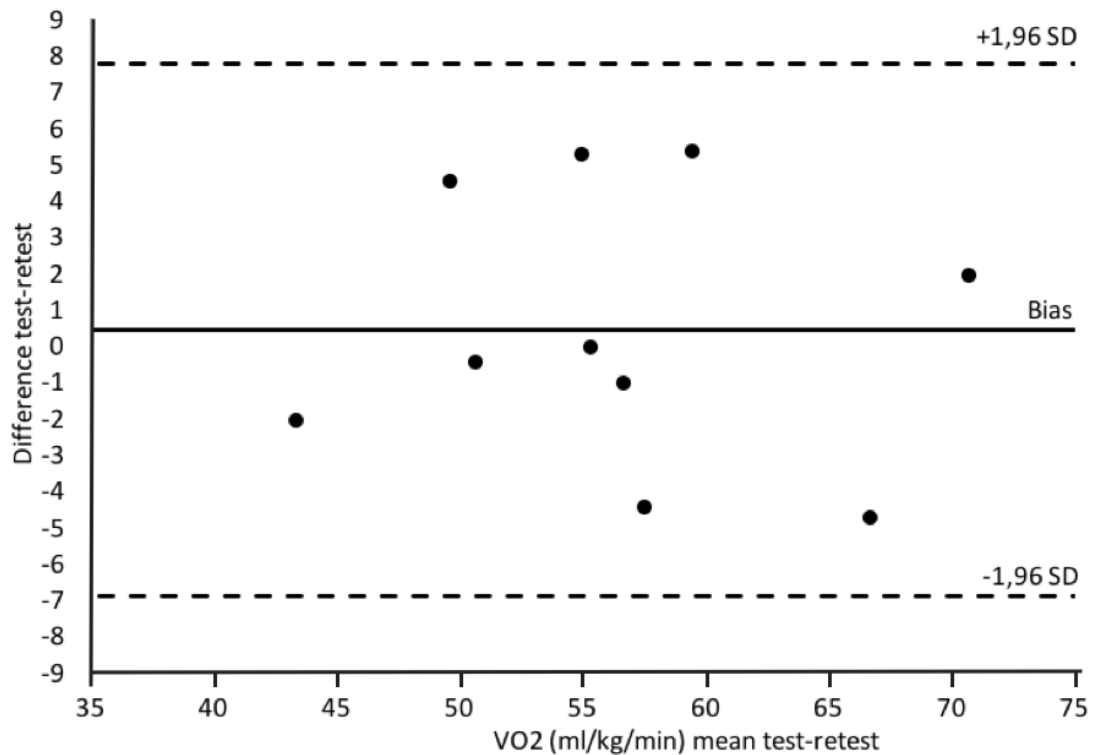
7.1.2 Maksimihapenotto

Koehenkilöiden maksimaaliset hapenoton arvot vesijuoksu-testeissä vaihtelivat ensimmäisessä testissä naisilla 42.3–57.5 ja miehillä 55.2–71.6 ml/kg/min välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla 44.4–59.7 ja miehillä 55.3–69.7 ml/kg/min välillä. Huomattavaa on että ensimmäisen testin maksimiarvoista yhdeltä mieheltä ei saatu mitattua luotettavia tuloksia. Toisessa testissä kolmelta mieheltä menetettiin VO_{2max} tulokset. Yhdeltä miestutkittavalta ei saatu luotettavia VO_{2max} tuloksia mitattua kummaltakaan mittauskerralta. Kahden miestutkittavan tulokset, joilta jälkimmäinen mittauskerta epäonnistui, olivat 63.4 ja 70.5 ml/kg/min. Mittauslaitteisto toimi alusta loppuun kaikkien naistutkittavien mittauksissa. Tutkittavien saavuttamat maksimihapenoton arvot testikertojen välillä on esitetty kuviossa 3, missä esitetään tulokset tutkittavilta joilta saatiin luotettavasti mitattua VO_{2max} arvot molemmilta testikerroilta.



KUVIO 3. Vesijuokсутestien VO_{2max} tulokset. VO_2 (ml/kg/min); N, naistutkittava; M, miestutkittava; Mean, tulosten keskiarvo; \pm SD, keskihajonta.

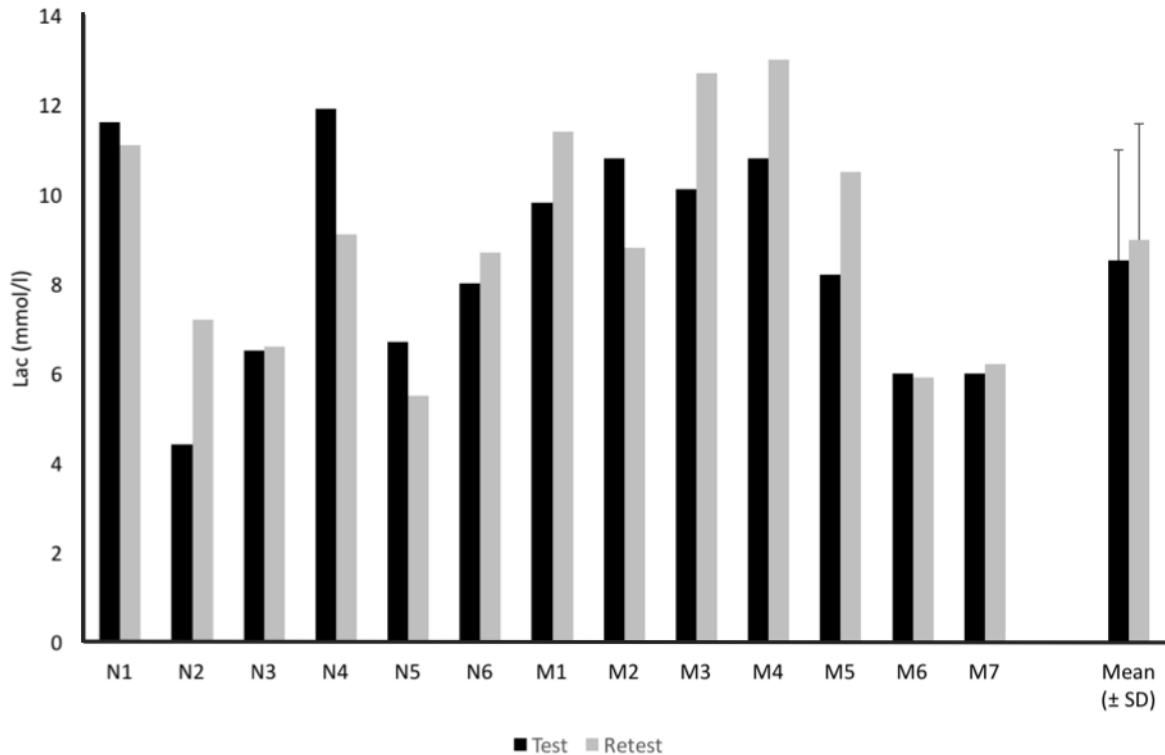
Kahden testin VO_{2max} väliset eroavaisuudet ovat nähtävissä Bland-Altman -graafissa Kuviossa 4. VO_{2max} keskiarvot vaihtelivat välillä 43.4–70.7 ml/kg/min ja tutkittavien kahden testin erot vaihtelivat -4.5–5.3 välillä. Kuvion x-akselilla tutkittavien VO_{2max} keskiarvot ja y-akselilla testien väliset erot. Vesijuokсутestien maksimihapenoton arvojen erojen keskiarvo kaikilta tutkittavilta oli 0.40, mistä muodostettu bias. 95% luottamusväli laskettu lisäämällä biasiin keskihajonta 3.75 kerrottuna + tai -1.96.



KUVIO 4. Bland-Altman -plot toistettavuudesta vesijuoksuksen maksimihapenoton arvojen välillä. Y-akselilla testien välinen ero ja x-akselilla testien välinen keskiarvo. Bias 0.40; SD 3.75; 95% luottamusvälin alaraja -6.94 ja yläraja 7.74.

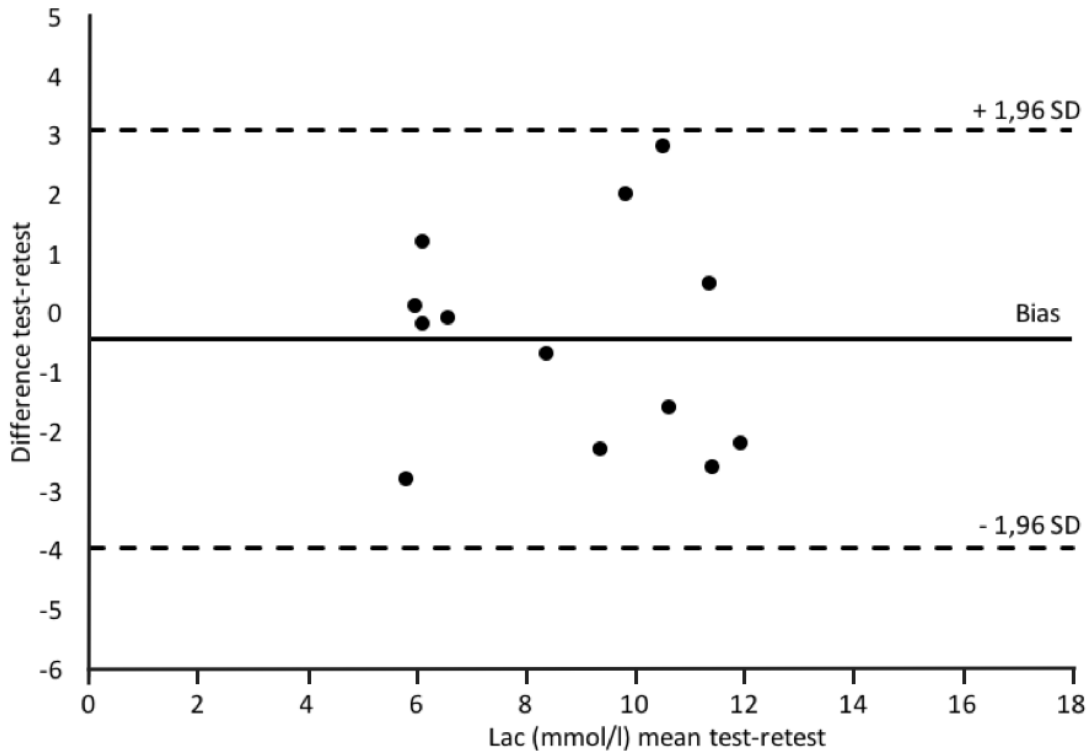
7.1.3 Maksimilaktaatti

Koehenkilöiden maksimilaktaatit vesijuoksuksessa vaihtelivat ensimmäisessä testissä naisilla 4.4–11.9 ja miehillä 6.0–10.8 mmol/l välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla 5.5–11.1 ja miehillä 5.9–13.0 mmol/l välillä. Tutkittavien saavuttamat maksimilaktaatit testikertojen välillä on esitetty kuviossa 5.



KUVIO 5. Vesijuokсутestien maksimilaktaatit Lac (mmol/l). N, naistestattava; M, miestestattava; Mean, tulosten keskiarvo; \pm SD, keskihajonta.

Kahden testin maksimilaktaattien väliset eroavaisuudet ovat nähtävissä Bland-Altman -graafissa kuviossa 6. Maksimilaktaattien keskiarvot vaihtelivat 5.8–11.9 mmol/l ja erot kahden testin välillä -2.8–2.8 mmol/l. Kuvion x-akselilla tutkittavien maksimilaktaattien keskiarvot ja y-akselilla testien väliset erot. Vesijuokсутestien maksimilaktaattien erojen keskiarvo kaikilta tutkittavilta oli -0.45, mistä muodostettu bias. 95% luottamusväli laskettu lisäämällä Biakseen keskihajonta 1.80 kerrottuna + tai -1.96.



KUVIO 6. Bland-Altman -plot toistettavuustesti vesijuoksuksutestin maksimilaktaattien välillä. Y-akselilla testien välinen ero ja x-akselilla testien välinen keskiarvo. Missä bias -0.45; SD 1.80; 95 % luottamusvälin alaraja -3.97 ja yläraja 3.07.

7.2 Kynnysarvot

Taulukossa 4 esitetään vesijuoksuksutestien aerobiset ja taulukossa 5 anaerobiset kynnysarvot. Kynnykset määritettiin kahden liikuntatieteiden opiskelijan toimesta. Tutkittavien määrä $n=13$, mutta kahdelle miestutkittavalle aerobisen kynnyksen määrittäminen nähtiin turhaksi laktaattiarvojen lähtiessä kohoamaan testin ensimmäisiltä kuormilta lähtien perustasosta – tasannevaihetta saavuttamatta. Määritetyistä kynnyksistä korrelaatio oli merkitsevää aerobisen kynnyksen muuttujista hapenoton ($r = 0.79$, $p \leq 0.01$) ja laktaatin ($r = 0.70$, $p \leq 0.05$) osalta. Anaerobisen kynnyksen osalta korrelaatio oli merkitsevää sykkeen ($r = 0.64$ ja $p \leq 0.05$) ja hapenoton ($r = 0.67$ ja $p \leq 0.05$) osalta.

TAULUKKO 4. Vesijuoksutestien AeK arvojen vertailu (mean \pm SD).

		Test	Retest	r	p
N (11)	HR (beats/min)	133 \pm 16	131 \pm 14	0.498	0.119
N (11)	VO2 (ml/kg/min)	36.9 \pm 5.2	38.6 \pm 5.9	0.794	0.004
N (11)	Lac (mmol/l)	2.2 \pm 0.6	2.1 \pm 0.6	0.696	0.017

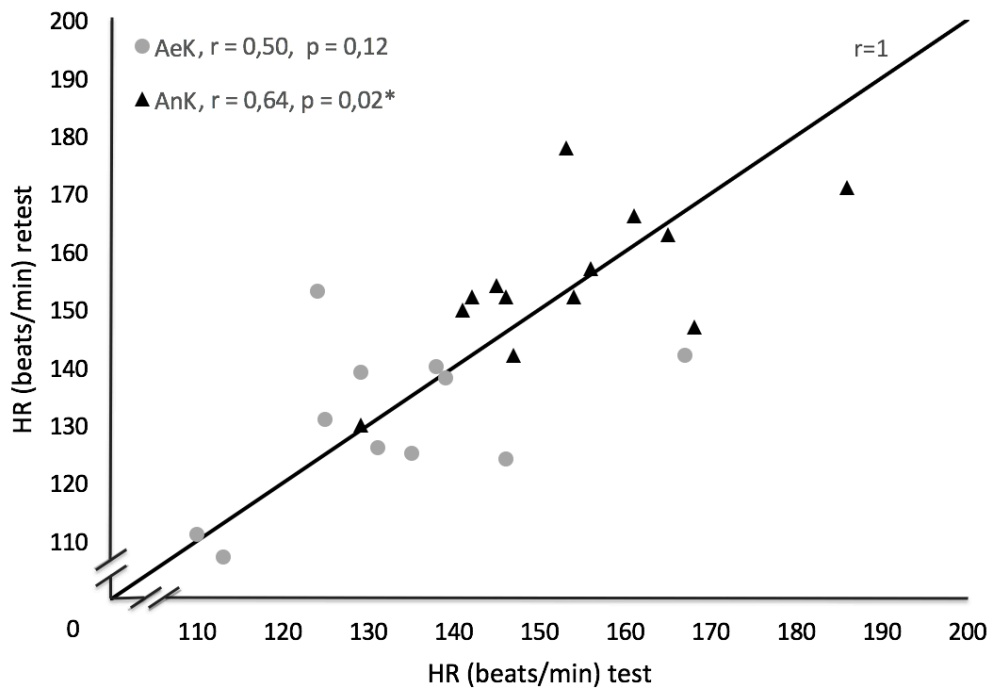
VO2, hapenkulutus; HR, sydämen syke; Lac, veren laktaattipitoisuus; r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys

TAULUKKO 5. Vesijuoksutestien AnK arvojen vertailu (mean \pm SD).

		Test	Retest	r	p
N (13)	HR (beats/min)	153 \pm 15	155 \pm 13	0.640	0.018
N (13)	VO2 (ml/kg/min)	45.3 \pm 5	47.1 \pm 5.2	0.667	0.013
N (13)	Lac (mmol/l)	3.5 \pm 0.5	3.5 \pm 0.6	0.310	0.302

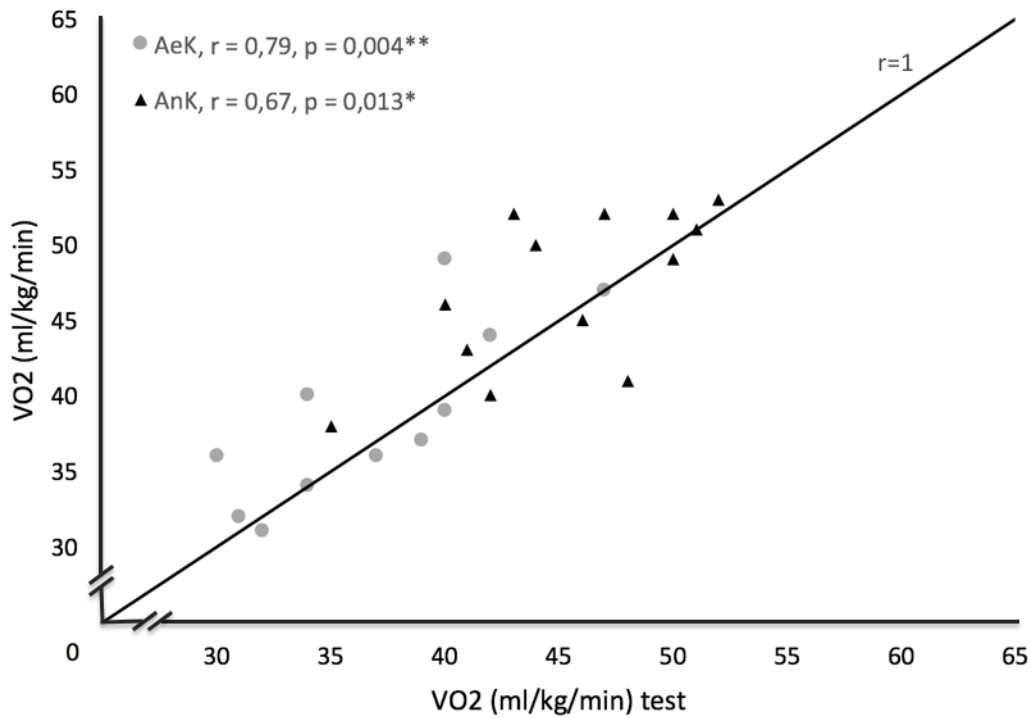
VO2, hapenkulutus; HR, sydämen syke; Lac, veren laktaattipitoisuus; r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys.

Kuvioissa 7, 8 ja 9 esitetään kynnyksiä vastaavat HR, VO2 ja Lac-arvot ja kuinka toistettavaa kynnysten määrittäminen oli. Koehenkilöiden sykkeiden kynnysarvot vesijuoksutesteissä vaihtelivat ensimmäisessä testissä naisilla AeK osalta 110–167 ja AnK osalta 142–185, kun taas miehillä AeK 113–139 ja AnK 129–165 bpm välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla AeK osalta 111–142 ja AnK osalta 142–171, kun taas miehillä AeK 107–153 ja AnK 130–178 bpm välillä.



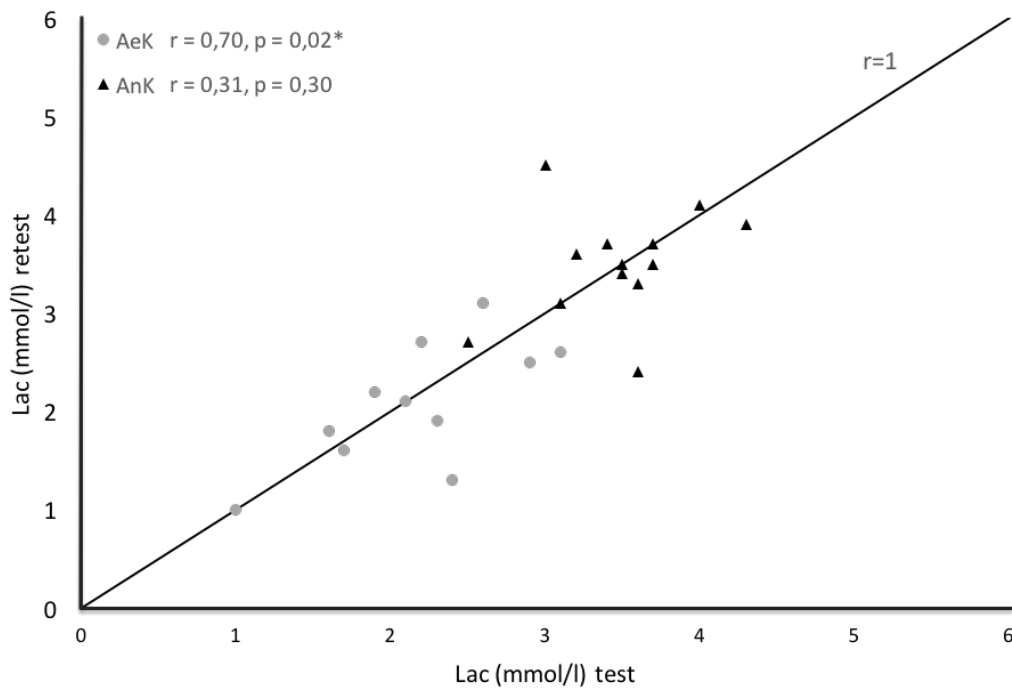
KUVIO 7. Vesijuokсутestien HR arvot AeK, aerobinen kynnys; AnK, anaerobinen kynnys. Musta viiva kuvaa korrelaation arvoa 1. AeK (n=11), AnK (n=13). r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys; *p ≤ 0.05 tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

Koehenkilöiden hapenoton kynnysarvot vesijuokсутesteissä vaihtelivat ensimmäisessä testissä naisilla AeK osalta 30–42 ja AnK osalta 35–50, kun taas miehillä AeK 34–47 ja AnK 43–52 ml/kg/min välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla AeK osalta 31–44 ja AnK osalta 38–49, kun taas miehillä AeK 36–49 ja AnK 46–53ml/kg/min välillä.



KUVIO 8. Vesijuoksutestien VO₂ arvot AeK, aerobinen kynnys; AnK, anaerobinen kynnys. AeK (n=11), AnK (n=13). Musta viiva kuvaa korrelaation arvoa 1. r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys; * $p \leq 0.05$ ja ** $p \leq 0.01$ tilastollisesti merkitsevät korrelaatiot.

Koehenkilöiden laktaattien kynnysarvot vesijuoksutesteissä vaihtelivat ensimmäisessä testissä naisilla AeK osalta 1.0–2.6 ja AnK osalta 2.5–4.0 kun taas miehillä AeK 1.9–2.9 ja AnK 3.0–4.3 mmol/l välillä. Toisessa testissä tulokset vaihtelivat naisilla AeK osalta 1.0–3.1 ja AnK osalta 2.4–4.1 kun taas miehillä AeK 1.9–2.7 ja AnK 3.3–4.5 mmol/l välillä.



KUVIO 9. Vesijuoksutestien Lac arvot AeK, aerobinen kynnyks; AnK, anaerobinen kynnyks. AeK (n=11), AnK (n=13). Musta viiva kuvaa korrelaation arvoa 1. r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys; * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkitsevä korrelaatio.

7.3 Kevennyshyppyt

Taulukossa 6 esitetään vesijuoksutestiä ennen ja jälkeen suoritettut kevennyshyppyt. Tutkittavien määrä oli 13. Kaikki tutkittavat suorittivat ennen ja jälkeen vesitestin viisi maksimaalista kevennyshyppyä. Kevennyshyppyistä tarkasteltiin parhaimpia hyppyjä, kolmen parhaan hypyn keskiarvoja, sekä keskiarvoista laskettua muutosprosenttia. Tilastollinen merkitsevyys oli huomattavaa $p \leq 0.01$ kaikissa muuttujissa, paitsi RPE:n osalta, mikä oli myöskin tilastollisesti merkitsevää $p \leq 0.05$.

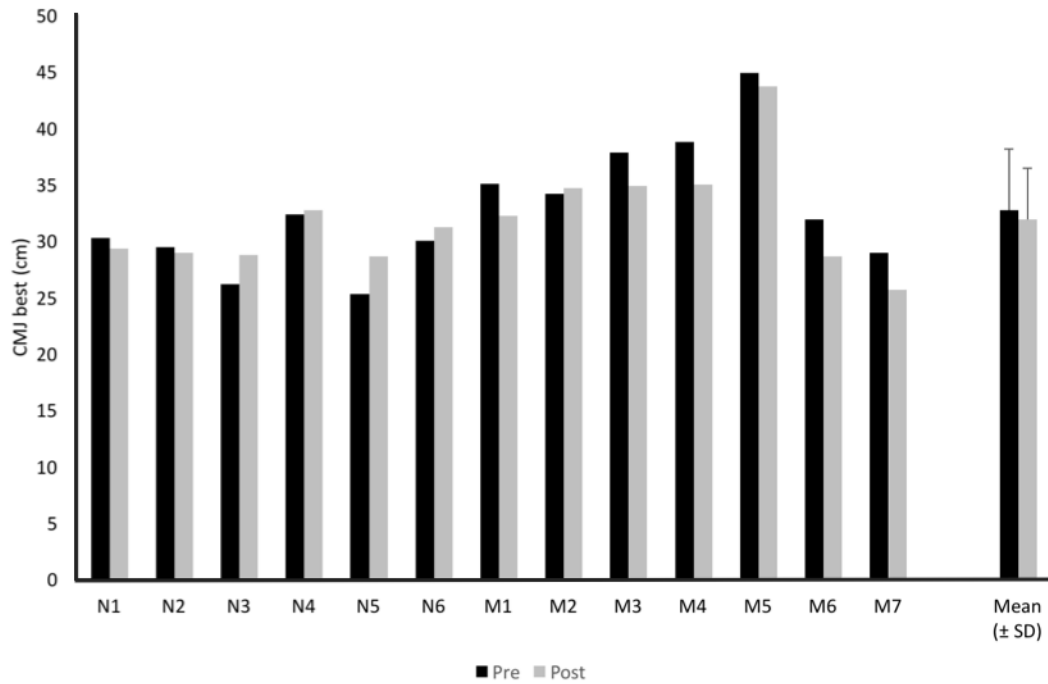
TAULUKKO 6. Kevennyshyppyjen vertailu testiä ennen ja jälkeen, sekä muutosprosentti (mean ± SD).

	Test	Retest	r	p
CMJ avg pre (cm)	31.7 ± 5.6	32.4 ± 5.4	0.962	<0.01
CMJ avg post (cm)	31.1 ± 4.8	31.1 ± 4.5	0.951	<0.01
CMJ pre best (cm)	32.4 ± 5.7	32.9 ± 5.3	0.954	<0.01
CMJ post best (cm)	31.7 ± 4.8	31.9 ± 4.3	0.947	<0.01
CMJ change (%)	-2.0 ± 8.7	-4.1 ± 7.3	0.774	<0.01

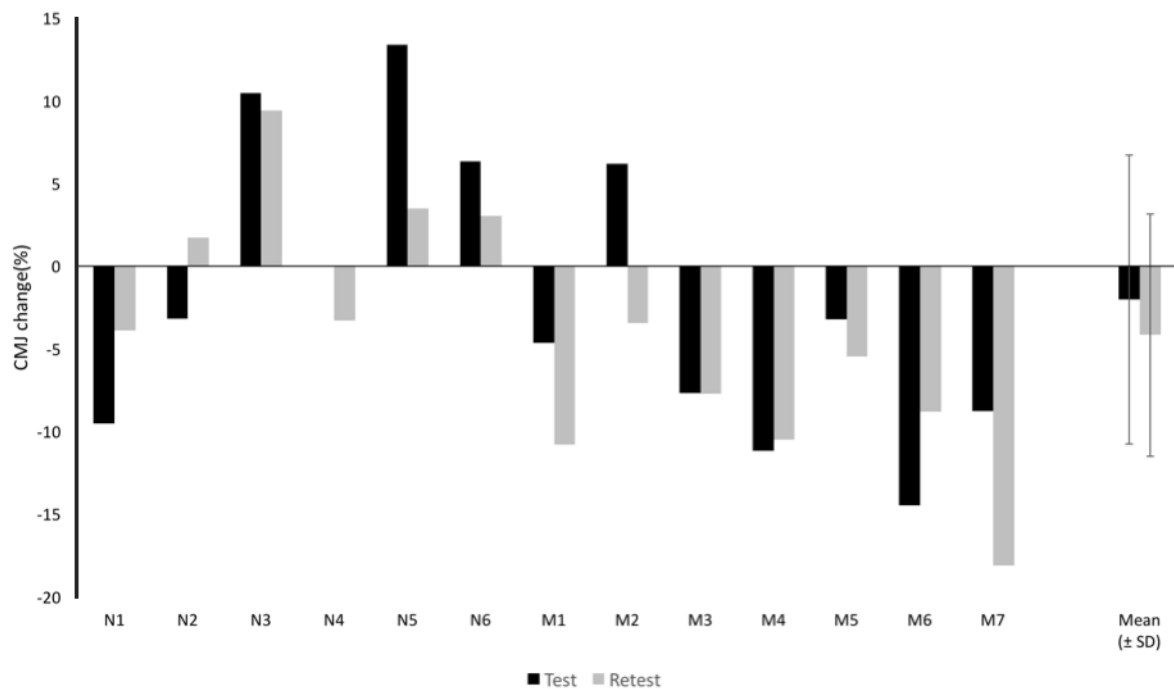
CMJ, kevennyshyppy; avg, keskiarvo; pre, ennen testiä; post, testin jälkeen; change (%), muutosprosentti; r, Pearsonin korrelaatiokerroin; p, korrelaation merkitsevyys.

Kuviossa 10 esitetään tutkittavien kevennyshyppyjen huipputulosten keskiarvot ennen ja jälkeen vesijuoksutestin. Tulokset vaihtelivat korkeimpien hyppyjen keskiarvojen suhteen naisilla ennen testiä 25.3–30.2, miehillä 28.9–44.9 ja testin jälkeen naisilla 28.6–32.7 kun taas miehillä 25.7–43.7 cm välillä.

Kuviossa 11 esitetään tutkittavien kevennyshypyistä lasketut muutosprosentit vesijuoksutestin seurauksena. Keskiarvo laskettiin ennen ja jälkeen suoritetuista viidestä hypystä kolmen parhaan hypyn keskiarvona. Kahden testin kevennyshypyissä ilmenevien väsymysten erot vaihtelivat ensimmäisessä testissä -14.5–10.4 ja toisessa testissä -18.1–9.4 % välillä. Huomioitavaa on että miesten keskimääräiset muutosprosentit testeissä olivat miehillä -6.3 ± 6.7 % ja -9.3 ± 4.7 %. Naisilla muutosprosentit olivat 2.9 ± 8.7 % ja 1.7 ± 4.9 %.



KUVIO 10. Kevennyshyppyjen huippukorkeudet tutkittavilla. N, naistutkittava; M, miestutkittava; Mean (\pm SD), keskiarvot ja keskihajonnat.



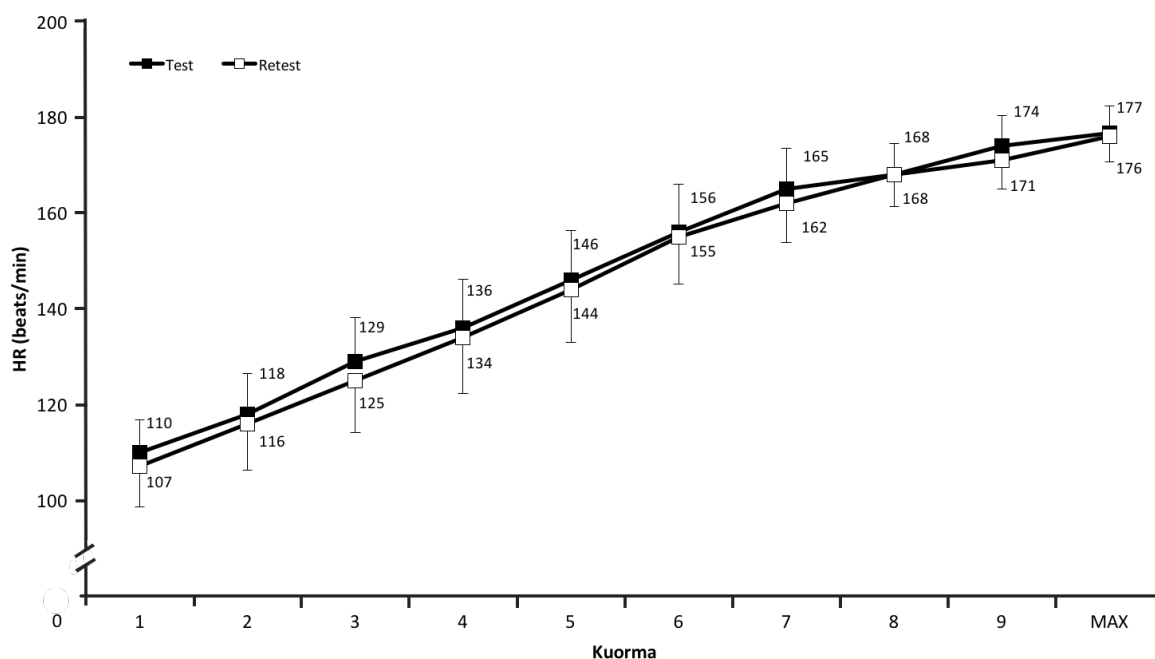
KUVIO 11. Kevennyshyppyjen muutosprosentit, CMJ change (%) ennen ja jälkeen suoritetuista kevennyshyppyistä tutkittavilla. N, naistutkittava; M, miestutkittava; Mean (\pm SD), keskiarvot ja keskihajonnat.

7.4 Toistettavuus

Muuttujien tulosten progressiivisuutta esitetään kuvaajien avulla ja toistettavuutta kuormien välillä tarkastellaan sisäkorrelaatiokertoimen (ICC = Intraclass Correlation Coefficient) avulla. Kuvaajissa ja ICC-taulukoinnissa ei esitetä kuormien 12 ja 13 tuloksia, sillä vain neljä ja kaksi tutkittavaa jatkoivat kyseisille kuormille. Näin ollen toistettavuuden osoittaminen näiltä kuormilta on turhaa.

7.4.1 Syke

Sykkeeseen käyttäytyminen testien välillä esitetään kuviossa 12. Parittaisen t-testin mukaan keskiarvojen välillä miltään kuormalta ei löytynyt tilastollista poikkeavuutta ($p < 0.05$). Sykearvojen luotettavuutta tutkittiin sisäkorrelaatiokertoimella. Tulokset esitetty taulukossa 7.



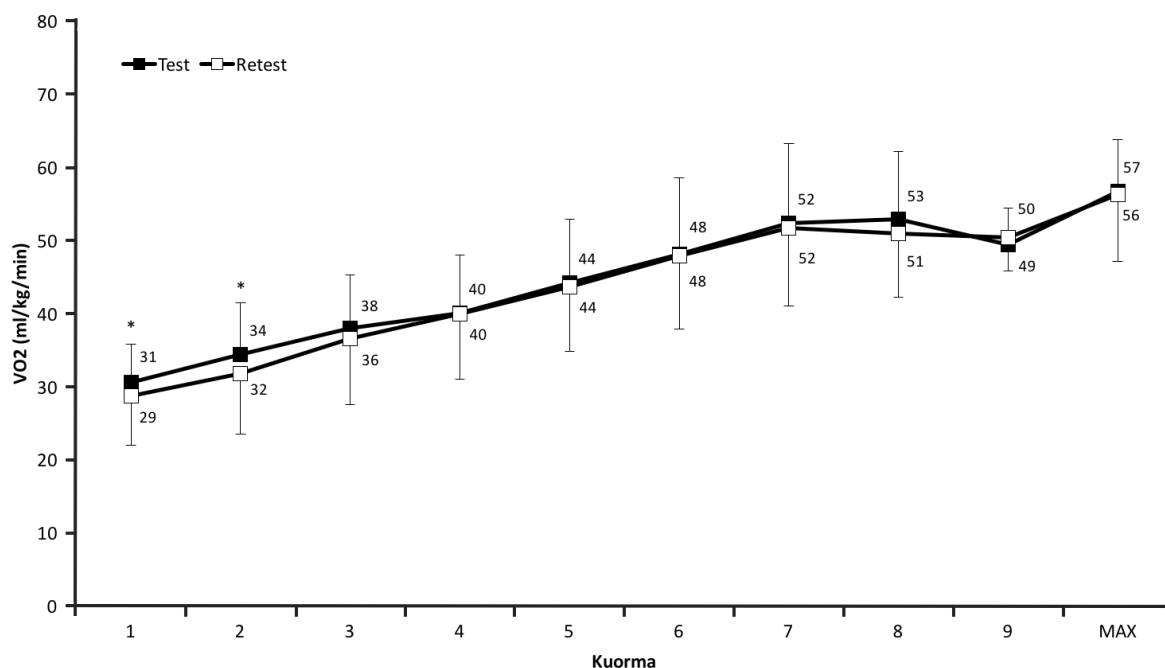
KUVIO 12. Sykkeiden keskiarvojen vertailu kuormakohtaisesti testien välillä. Musta laatikko kuvaa ensimmäisen testin ja valkoinen laatikko toisen testin arvoja. Virhepalkit näyttävät keskihajonnan. * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkittävä poikkeavuus. Tutkittavien määrät: $n_{\text{kuorma1}} - n_{\text{kuorma7}}$: 13, n_{kuorma8} : 10, n_{kuorma9} : 8 ja n_{max} : 13.

TAULUKKO 7. Sisäkorrelaatiokertoimet (ICC) sykkeen arvoille kuormakohtaisesti ja maksimiarvojen osalta. Ala- ja yläraja 95% luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

ICC	n	ICC	Alaraja	Yläraja	F-testi	p-arvo
Kuorma 1	13	0.907	0.697	0.972	25.243	<0.001
Kuorma 2	13	0.904	0.727	0.970	20.591	<0.001
Kuorma 3	13	0.861	0.618	0.955	13.883	<0.001
Kuorma 4	13	0.816	0.503	0.940	9.387	<0.001
Kuorma 5	13	0.812	0.496	0.939	9.208	<0.001
Kuorma 6	13	0.811	0.488	0.938	9.021	<0.001
Kuorma 7	13	0.892	0.693	0.966	18.69	<0.001
Kuorma 8	10	0.859	0.555	0.962	13.63	<0.001
Kuorma 9	8	0.669	-0.054	0.925	4.545	<0.05
Max	13	0.942	0.826	0.982	32.024	<0.001

7.4.2 Hapenotto

Hapenoton käyttäytyminen testien välillä esitetään kuviossa 13. Parittaisen t-testin mukaan keskiarvojen välillä oli tilastollisesti poikkeavuutta kuormien 1 ja 2 osalta ($p = 0.05$ ja $p = 0.021$). Hapenoton luotettavuutta tutkittiin sisäkorrelaatiokertoimella (ICC), jonka tulokset esitetty taulukossa 8.



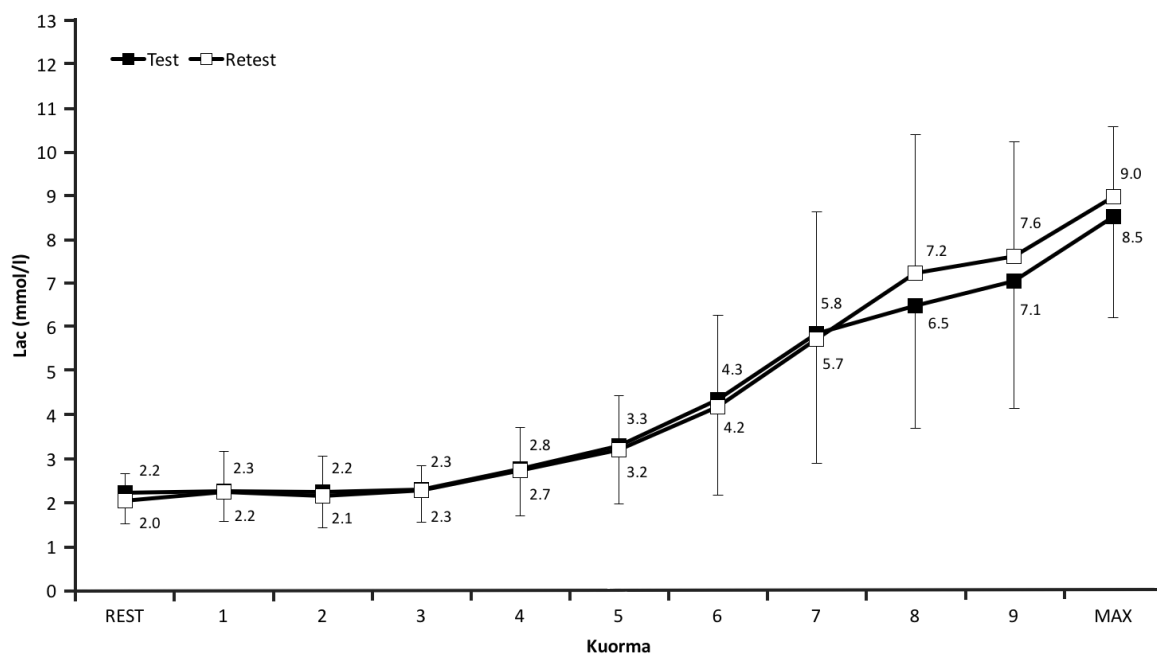
KUVIO 13. Hapenoton keskiarvoinen vertailu kuormakohtaisesti testien välillä. Musta laatikko kuvaa ensimmäisen testin ja valkoinen laatikko toisen testin arvoja. Virhepalkit näyttävät keskihajonnan. * $p \leq 0.05$ tilastollisesti merkittävä poikkeavuus. Tutkittavien määrät: $n_{\text{kuorma1}} - n_{\text{kuorma6}}: 13$, $n_{\text{kuorma7}}: 12$, $n_{\text{kuorma8}}: 9$, $n_{\text{kuorma9}}: 6$, ja $n_{\text{max}}: 10$.

TAULUKKO 8. Sisäkorrelaatiokertoimet (ICC) hapenoton arvoille kuormakohtaisesti ja maksimiarvojen osalta. Ala- ja yläraja 95% luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

ICC	n	ICC	Alaraja	Yläraja	F-testi	p-arvo
Kuorma 1	13	0.835	0.497	0.949	14.047	<0.001
Kuorma 2	13	0.850	0.456	0.956	17.687	<0.001
Kuorma 3	13	0.790	0.459	0.930	8.477	<0.001
Kuorma 4	13	0.871	0.627	0.959	13.434	<0.001
Kuorma 5	13	0.863	0.611	0.956	12.755	<0.001
Kuorma 6	13	0.902	0.692	0.971	17.809	<0.001
Kuorma 7	12	0.920	0.748	0.976	22.386	<0.001
Kuorma 8	9	0.799	0.369	0.950	8.88	<0.001
Kuorma 9	6	0.944	0.675	0.992	30.408	<0.001
Max	10	0.904	0.662	0.975	18.153	<0.001

7.4.3 Laktaatti

Laktaatin käyttäytyminen testien välillä esitetään kuviossa 14. Parittaisen t-testin mukaan keskiarvojen välillä miltään kuormalta ei löytynyt tilastollista poikkeavuutta ($p < 0.05$). Arvojen toistettavuutta tutkittiin sisäkorrelaatiokertoimella (ICC), jonka tulokset esitetty taulukossa 9.



KUVIO 14. Laktaattiarvojen keskiarvojen vertailu kuormakohtaisesti testien välillä. Musta laatikko kuvaa ensimmäisen testin ja valkoinen laatikko toisen testin arvoja. Virhepalkit näyttävät keskihajonnan. Tutkittavien määrät: n_{rest} - n_{kuorma7} : 13, n_{kuorma8} : 10, n_{kuorma9} : 8 ja n_{max} : 13.

TAULUKKO 9. Sisäkorrelaatiokertoimet (ICC) laktaatin arvoille kuormakohtaisesti, sekä lepo- ja maksimiarvojen osalta. Ala- ja yläraja 95% luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

ICC	n	ICC	Alaraja	Yläraja	F-testi	p-arvo
Lepo	13	0.573	0.079	0.845	3.706	<0.05
Kuorma 1	13	0.644	0.149	0.877	4.338	<0.001
Kuorma 2	13	0.726	0.310	0.908	5.969	<0.001
Kuorma 3	12	0.655	0.154	0.887	4.576	<0.001
Kuorma 4	13	0.815	0.492	0.940	9.139	<0.001
Kuorma 5	13	0.745	0.344	0.915	6.430	<0.001
Kuorma 6	13	0.850	0.581	0.952	11.652	<0.001
Kuorma 7	12	0.919	0.758	0.975	22.200	<0.001
Kuorma 8	9	0.891	0.623	0.972	15.923	<0.001
Kuorma 9	6	0.645	-0.011	0.916	4.512	<0.05
Max	13	0.751	0.378	0.916	6.951	<0.001

7.4.4 Kynnykset ja kevennyshyppyt

Määritettyjen kynnyсарvojen ja mitattujen kevennyshyppyjen toistettavuutta tutkittiin sisäkorrelaatiokertoimella (ICC), jonka tulokset esitetty taulukossa 10.

TAULUKKO 10. Sisäkorrelaatiokertoimet (ICC) kynnyсарvoille, sekä kevennyshyppyistä saaduille tuloksille. Ala- ja yläraja 95% luottamusvälille; F-testiä vastaava arvo; p-arvo, tilastollinen merkitsevyys.

ICC	n	ICC	Alaraja	Yläraja	F-testi	p-arvo
HR AnK	13	0.647	0.167	0.878	4.456	<0.01
VO2 AnK	13	0.644	0.201	0.874	4.988	<0.01
Lac AnK	13	0.321	-0.301	0.736	1.875	>0.05
HR AeK	11	0.512	-0.12	0.843	2.944	>0.05
VO2 AeK	11	0.766	0.362	0.930	8.433	<0.01
Lac AeK	11	0.707	0.223	0.912	5.567	<0.01
CMJ PRE BEST	13	0.951	0.852	0.984	39.66	<0.001
CMJ POST BEST	13	0.947	0.837	0.983	34.345	<0.001
CMJ PRE AVG	13	0.957	0.864	0.987	50.551	<0.001
CMJ POST AVG	13	0.953	0.853	0.985	38.303	<0.001

7.5 Yksilön sisäinen vaihtelu

Yksilön sisäistä vaihtelua tutkittiin variaatiokertoimella (CV). Taulukkoon 11 on koottu tarkasteltujen muuttujien CV:t vesitestin kuormilta 1–9 ja maksimien osalta. Kuormien 10 ja 11 tarkastelusta luovuttiin, sillä näille kuormille eteni ainoastaan 4 ja 2 tutkittavaa. Lisäksi CV:a on tarkasteltu kevennyshyppyjen osalta taulukossa 12. Huomataan HR:n variaatiokertoimen olevan alhaisin, VO₂ toiseksi alhaisin ja Lac variaatiokertoimen olevan korkein. Lepoarvot laskettu vain laktaatille.

TAULUKKO 11. Variaatiokertoimet (CV %) sykkeen, hapenoton ja laktaatin tuloksille kuvaamaan yksilön sisällä tapahtuvaa vaihtelua.

	HR (beats/min)	VO ₂ (ml/kg/min)	Lac (mmol/l)
Kuorma 1	4.3	8.4	21.1
Kuorma 2	4.8	9.2	20.5
Kuorma 3	5.9	10.1	16.0
Kuorma 4	6.9	7.6	15.9
Kuorma 5	6.3	7.4	19.5
Kuorma 6	5.5	6.6	19.3
Kuorma 7	3.3	5.9	18.2
Kuorma 8	2.9	7.8	11.1
Kuorma 9	3.4	2.4	22.6
Max	1.6	4.0	14.4
Lepo			20,4

HR, syke; VO₂, hapenotto; Lac, laktaatti; Max, maksimiarvo.

TAULUKKO 12. Variaatiokertoimet (CV %) kevennyshypyille.

	CMJ
Pre Best	3.76
Post Best	3.30
Pre Avg	3.59
Post Avg	3.23

CMJ, kevennyshyppy; Pre, ennen; Post, jälkeen; Best, paras; Avg, keskiarvo.

8 POHDINTA

Tässä tutkimuksessa tarkasteltiin miten muuttujat; syke, hapenotto ja veren laktaattipitoisuus käyttäytyvät kehitetyssä vesijuoksutestissä. Syketulokset saatiin taltioitua onnistuneesti. Yhdeltä tutkittavalta menetettiin yhden submaksimaalisen kuorman laktaattinäyte. Hapenoton mittaamisessa ilmeni kolmen tutkittavan osalta haasteita testien lopussa. Lisäksi tutkittiin hermolihasjärjestelmän väsymystä kevennyshypyillä mitattuna. Tutkittavien suorittamien kahden maksimaalisen vesijuoksutestin perusteella voidaan todeta sykkeen ja hapenotokyvyn tulosten olleen toistettavuudeltaan korkeaa tasoa läpi testin. Sekä sykkeen että hapenoton arvot nousivat progressiivisesti testin aikana. Laktaatin osalta kuormien keskiarvot kaikkien tutkittavien kesken olivat lähellä toisiaan läpi testin, mutta yksilöiden väliset ja sisäiset erot olivat huomattavia. Laktaatin osalta hajonta oli suurta varsinkin AnK:n ylittämisen jälkeen. Hermolihasjärjestelmän väsymisessä ilmeni eroja sukupuolten välillä miestutkittavien tulosten heiketessä ja naistutkittavien tulosten parantuessa vesitestin jälkeisissä kevennyshypyissä. Kynnysten määrittäminen toistettavasti osoittautui haasteelliseksi, mutta hapenoton arvojen osalta kynnykset korreloivat hyvin.

Maksimi-arvot. Testien RPE:n maksimien keskiarvojen ollessa 19.5 ja 19.8 voidaan olettaa tutkittavien saavuttaneen testeissä maksimaalisen rasituksen, tai päässeen hyvin lähelle sitä. Tutkittavia kannustettiin testien ratkaisuhetkillä antamaan kaikkensa. Rasituksen säätelyyn tutkittavat pystyivät vaikuttamaan itse, sillä tahti määritettiin metronomilla ja tutkittavien oma aktiivisuus vaikutti suoritustehoon läpi testin. Testeissä sykkeet ja laktaattipitoisuus nousivat loppuun asti, mutta hapenoton arvot lähtivät joillain tutkittavilla hienoiseen laskuun ennen testin päättymistä.

Bland-Altman -graafista nähtiin että maksimisykkeiden osalta 10/13 tutkittavan tulosten välinen erotus osui hyvin lähelle nollaa. Hapenoton ja laktaatin suhteen maksimi-arvojen erotukset jakaantuivat tasaisemmin. BA-graafi esittää maksimi-arvojen erotusten keskiarvon avulla maksimitulosten olleen toistettavia. Bias oli maksimisykkeen osalta 0.62 (95 % luottamusvälin alaraja -7.21 ja yläraja 8.44), maksimihapenoton osalta 0.40 (95 % luottamusvälin alaraja -6.94 ja yläraja 7.74) ja maksimilaktaatin osalta -0.45 (95 % luottamusvälin alaraja -3.97 ja yläraja 3.07). Mikäli bias on lähellä nollaa, on tarkasteltavan

ominaisuuden toistettavuus erinomaista luokkaa (González-Haro ym. 2007). Graafin etu on, että se huomioi yksittäisen testattavan arvot koko otoksen keskiarvoon. Korkea korrelaatioluku ei automaattisesti kerro vastaavatko tutkimuksen mittauskerrat hyvin toisiaan. (Atkinson & Nevill 1998). BA-graafi sopii tähän tutkielmaan, sillä sen avulla on helppo tarkistaa, löytyikö maksimituloksista yksittäisiä suuria heittoja, mitkä saattoivat sekoittaa korrelaatiolukuja. Tässä otannassa tutkittavilta ei kuitenkaan havaittu BA-graafia tarkasteltaessa suuria heittoja testien välisissä eroissa HR_{max} , $VO2_{max}$ tai Lac_{max} tulosten osalta.

Toistettavuus oli erittäin korkeaa maksimisykkeiden ($ICC = 0.942$) ja maksimaalisen hapenoton ($ICC = 0.904$) osalta ($p < 0.001$). Maksimilaktaatit olivat melko toistettavia ($ICC = 0.751$, $p < 0.001$). Myös Pearsonin korrelaatiokertoimet mittauskertojen välillä olivat korkeita: HR_{max} ($r = 0.94$), $VO2_{max}$ ($r = 0.90$) ja Lac_{max} ($r = 0.75$) tilastollisen merkitsevyyden ollessa $p \leq 0.01$. ICC-tulokset ja Pearsonin korrelaatiokertoimet tukevat tulosten osalta toisiaan. Testien loppuvaiheiden korkea toistettavuus sykkeiden osalta ei sinänsä ole yllätys. Lamberts & Lambert (2009) ovat raportoineet yli 90 prosentin teholla maksimisykkeestä työskenneltäessä sykkeiden vaihtelun olevan enää $3-5 \pm 2$ bpm. Vakio-olosuhteissa toteutettua maksimitestiä juoksumatolla pidetään $VO2_{max}$ osalta toistettavana. Peräkkäin toteutettujen testien toistettavuudeksi on määritetty peräti 0.95 (MacDougall ym. 1991, Nummelan 2010, 74 mukaan). Aivan näin korkeaan toistettavuuteen ei $VO2_{max}$ osalta päästy tässä tutkimuksessa.

Submaksimaalisten kuormien toistettavuus. Kuormakohtaisille keskiarvoille muodostetuista kuvaajista nähdään, että testiprotokolla toimi sykkeen, hapenoton ja laktaatin käyttäytymisen kannalta toistettavasti. Parittaisen t-testin mukaan ainoastaan hapenoton käyttäytymisessä oli ensimmäisellä kahdella kuormalla tilastollisesti merkitsevää poikkeavuutta. ICC:n mukaan syke (0.669–0.907) ja hapenotto (0.790–0.944) käyttäytyivät toistettavasti läpi testin. Laktaatin ICC-arvoissa oli enemmän vaihtelua kuormakohtaisesti (0.644–0.919).

Oppimisvaikutus testikertojen välillä. Oppiminen on merkittävä tekijä, joka voi vaikuttaa suorituskyvyn vaihteluun. Tutkittavien huolellisella perehdyttämällä voidaan minimoida oppimisesta johtuvia eroja tulosten välillä (Hopkins ym. 1999). Tutkittavista useampi kertoi vesijuoksun olevan heille vieras harjoitusmuoto. Oppimisesta syntyvät erot testikertojen

välillä pyrittiin minimoimaan opetustuokioiden, kattavan ohjeistuksen, sekä testien aikaisen palautteen avulla. Lisäksi tutkittaville tarjottiin lisäperehdytystä vesijuoksu-tekniikkaan, mikäli tutkittava koki tätä tarvitsevänsä. Maksimaalisen hapenoton ja maksimisykkeiden arvot jäivät keskimäärin jälkimmäisissä testeissä ensimmäistä testikertaa matalammiksi. Maksimilaktaatit nousivat jälkimmäisellä testikerralla keskimäärin korkeammalle. Erot testikertojen välillä maksimiarvoissa, kuin submaksimaalisilla kuormilla olivat kuitenkin pieniä. Tuloksista on vaikea sanoa, että testikertojen välillä olisi tapahtunut oppimista. Tuloksien perusteella voidaan olettaa etukäteen järjestettyjen opetustuokioiden toimineen tässä tutkimuksessa.

Yksilön sisäinen vaihtelu. Variaatiokerrointa on käytetty monissa tutkimuksissa kuvaamaan yksilön sisäistä vaihtelua laktaatin ja sykkeen käyttäytymisen suhteen. Vesijuoksu-*testin* variaatiokertoimet vaihtelivat sykkeen osalta 1.6–6.9 % , hapenoton 2.4–10.1 % ja laktaatin variaatiokertoimet 11.1–22.6 % välillä. Näin ollen voidaan sanoa sykkeen sisäisen vaihtelun olleen vähäisintä, hapenoton toiseksi vähäisintä ja laktaatin suurinta tutkittavien välillä. Tulokset saavat tukea aikaisemmasta tutkimusnäytöstä, sillä yksilön sisäisen vaihtelun on raportoitu olevan sykkeen osalta vähäisempää kuin laktaatin (Hauser ym. 2013).

Hermolihasjärjestelmän väsyminen. Tutkittavilla ilmeni väsymistä kevennyshypyistä lasketun muutosprosentin mukaan. Muutos vesijuoksu-*testiä* ennen ja jälkeen suoritettujen hyppyjen välillä oli ensimmäisellä testikerralla -2.0 ± 8.7 % ja toisella testikerralla -4.1 ± 7.3 % ($p < 0.01$). Huomioitavaa on kuitenkin että sukupuolten välillä oli eroja. Naiset paransivat keskimäärin kevennyshyppyjen nousukorkeuksia testin jälkeen. Naisten muutosprosentit olivat ensimmäisessä testissä 2.9 ± 8.7 % ja toisessa testissä 1.7 ± 4.9 %. Miehillä vastaavat muutosprosentit olivat -6.3 ± 6.7 % ja -9.3 ± 4.7 %, eli miestutkittavilla ilmeni väsymystä. Tästä herää kysymys, oliko tämä ilmiö tyypillinen vain kyseisille tutkittaville, vai olisivatko tulokset näyttäneet erilaisilta suuremmassa otannassa. Voidaan todeta kevennyshyppyjen olleen luotettava menetelmä hermolihasjärjestelmän väsymisen mittaamiseksi, sillä kaikkien hyppylaskemien ICC:n arvot vaihtelivat 0.947–0.957 välillä ja CV 3.23–3.76 % välillä. Kevennyshypyissä ei siis ollut systemaattista eikä yksilön sisäistä vaihtelua. Tutkijaryhmälle heräsi kesken tutkimushankkeen epäily, olisiko testiä edeltävät kevennyshyppyt kuulunut tehdä jo ennen vesijuoksu-*verryttelyä*. Osalle tutkittavista itse vesijuoksu-*verryttely* saattoi olla turhan suuri rasite. Näkemättä jäi, olisiko väsymystä ilmennyt enemmän, mikäli kevennyshyppyt oltaisiin suoritettu ennen vesijuoksu-*verryttelyä*. Kamandulis ym. (2016)

pohtivat uupumukseen asti jatkuneessa pyöräergometritestissään kevennyshyppyjen heikkenemisen johtuneen aineenvaihduntatuotteiden (ADP, Pi, AMP, H⁺, Mg²⁺) kertymisestä. Aineenvaihduntatuotteiden kertyminen vaikuttaa negatiivisesti kalsiumin vapautumiseen sarkoplasmisesta retikulumista ja poikittaissiltojen muodostumiseen aktiini- ja myosiinifilamenttien välille. Lisäksi nopeaan voimantuottoon vaadittavan fosfokreatiinin pitoisuudet ovat jo saattaneet ehtyä. Kyseiset seikat voivat haitallisesti vaikuttaa lihassupistuksen nopeuteen ja motorisen säätelyn ohjaamiseen. (Ament & Verkerke 2009.)

Kynnysten määrittäminen. VO₂ kynnysarvojen osalta toistettavuus oli hyvää; (AeK, ICC = 0.766; AnK, ICC = 0.644, $p < 0.01$) HR AnK osalta testit olivat toistettavia (ICC = 0.647, $p < 0.01$), mutta ei AeK:n osalta. Vaikka laktaatti olikin sisäkorrelaatiokertoimen mukaan toistettava muuttuja, täytyy muistaa, että kahdelle miestutkittavalle ei määritetty AeK:stä ollenkaan. Tämä koettiin turhaksi, sillä tutkittavien laktaattikäyrät lähtivät voimakkaaseen nousuun jo testin ensimmäisillä kuormilla. Heikompaa toistettavuutta ilmeni Lac AnK:n ja HR AeK:n osalta ICC-arvojen ollessa 0.321 ja 0.512 ($p > 0.05$). Vesijuokstestit voisivat toimia kynnysarvojen määrittämiseksi harjoittelun seurannan työkaluna, kunhan kynnykset määritetään samalla menetelmällä ja saman testiajan toimesta (Nummela 2016, 292 - 293). Pienetkin erot kynnysten määrittämisessä voivat herkästi muuttaa toistettavuustuloksia. Kynnysten määrittäminen voitaisiin vesijuokstestissä mahdollisesti perustaa ventiaatiokynnyksiin ja sykkeen poikkeamakohtaan, jotka Kanitzin ym. (2015) mukaan ovat toimivia menetelmiä AnK:n määrittämiseksi.

Laktaatin käyttäytyminen. Laktaatin käyttäytymistä vesijuoksussa oli hyvin hankala ennustaa. Vaikka laktaatin kuormakohtaiset keskiarvot osuivat lähelle toisiaan, oli yksilön sisäinen vaihtelu laktaattiarvojen osalta suurta läpi testin. Joissain tutkimuksissa raportoidaan veden lämpötilalla olevan huomattava vaikutus laktaattipitoisuuksiin, joissain taas raportoidaan ettei merkitys olisi erityisen suuri (Doubt 1991; Yazigi ym. 2013). Syy, miksi laktaatin käyttäytyminen vaihteli runsaasti lepoarvojen ja testin ensimmäisten kuormien aikana saattaa osittain selittyä tutkittavien kokemasta kylmyydestä. Valtaosa tutkittavista joutui odottamaan useita minutteja testin aloittamista vedessä, sillä hapenottolaitteiston käynnistämässä ja yhteyden löytämisessä oli miltei jokaisella mittauskerralla haasteita. Vasokonstriktio jäähtyneissä lihaksissa nostaa glykolyysin osuutta energiantuotossa johtaen korkeampiin veren laktaattipitoisuuksiin (Doubt 1991). Laktaatinäytteen ottamiskohdalla saattaa olla

vaikutusta tuloksiin. Tämän tutkimuksen alkuperäissuunnitelmana oli ottaa laktaatinäytteet korvalehdestä. Sormenpästä mitattuna laktaattiarvot saattavat olla korkeampia, kuin korvalehdestä otetut näytteet (Dassonville ym. 1998). Näytteiden ottaminen testattavilta allasolosuhteissa oli haastavaa. Mahdollisia mittausvirheisiin johtavia seikkoja oli useita. Tutkittavien kädet olivat kylmät ja he ojensivat kättään ylöspäin altaan reunalle. Sormenpää tuli puhdistaa erityisen tarkasti veden kloorista. Näytteenottaja joutui aika-ajoin puristamaan tutkittavan sormenpäästä voimakkaasti, sillä joiltain tutkittavilta riittävän verimäärän saaminen oli haastavaa. Glykogeenivarastojen suuruus vaikuttaa laktaattipitoisuuden käyttäytymiseen (Faude ym. 2009; Hauser ym. 2013). Tutkittavia kehoitettiin välttämään ateriointia 2–3 tuntia ennen mittauksia.

Tutkittavat. Tutkittavilta edellytettiin vähintään kahden vuoden tavoitteellista harjoitustaustaa tutkimukseen osallistumiseksi. Toinen vaadittava kriteeri osallistumiseksi oli kestävyysjuoksussa tai suunnistuksessa kilpaileminen vähintään kansallisella tasolla. Tutkimusryhmän tavoitteena oli rekrytoida eliittitason juoksijoita, mutta tämä oli haastavaa johtuen tutkimukseen pyydettyjen maajoukkuejuoksijoiden aikatauluista. Suoritukset videoitiin myöhempiä liikeanalyyssejä varten. Silmämääräisesti tutkittavat näyttivät saavuttaneen tavoitellun suoritustekniikan. Suoritustemmon ylläpitäminen ja voimakkaiden vesijuoksuliikkeiden suorittaminen oli tutkittavien omalla vastuulla. Kannustusta tutkittavat saivat läpi testin, ja heitä kehoitettiin submaksimaalisilla kuormilla tuottamaan paljon tehoja säästelemättä voimiaan testin viimeisiä kuormia varten. Testin haasteena olikin tehdyn työn progressiivinen nousu läpi testin. Juoksumatolla tätä haastetta ei synny, sillä maton vauhti määrittää kuorman vaativuuden. Tutkittavat punnittiin ennen jokaista testiä, mutta rasvaprosenttia heiltä ei mitattu. Mitä tiheämpi on tutkittavan kehon koostumus (ts. suhteellisesti enemmän lihasta) sitä heikompi on veden nosteen vaikutus. Tiedetään että pitkän matkan kilpauimareille ei ole välttämätöntä erittäin alhainen kehon rasvaprosentti, sillä pienellä rasvan määrällä on edullinen vaikutus vesiympäristössä veden nosteen ja lämmön säästymisen kautta (Becker 2011. 24, 49). Naistutkittavien oletettavasti suurempi rasvan osuus kehosta on saattanut auttaa heitä pysymään lämpimämpänä testin alkamista odotellessa. Lisäksi rasvamassa saattaa auttaa pitämään vesijuoksuasennon vakaampana testin loppuun asti. Juuri testien loppuvaiheissa miestutkittavien mittauksissa ilmeni ongelmia hapenottolaitteiston toiminnassa, lisääntyneiden rotaatio- ja ylösalasliikkeiden myötä.

Testiprotokolla. Fysiologisten muuttujien; HR, VO₂ ja Lac käyttäytymisestä voidaan tehdä johtopäätös, että kehitetty suora hapenottokyvyn testi toimi progressiivisesti kuormituksen intensiteetin noustessa tasaisesti. 5 spm nostot jokaisella kuormalla vaikutti toimineen halutulla tavalla. Testin pilotointikokeiden jälkeen tehtiin päätös, että naisten aloitusfrekvenssi on 45 ja miesten 50 spm. Tällä tavalla uskottiin keston osuvan lähelle matolla juostavaa testivastiketta. Testien keston osalta tehtiin kuitenkin virhearvio, sillä naiset jatkoivat keskimäärin miehiä suuremmille kadensseille, sen lisäksi että naiset aloittivat miehiä hitaammalla suoritustemmolla. Testit olivat kestoltaan keskimäärin naisilla ensimmäisellä mittauskerralla 30.33 ± 2.20 min ja toisella mittauskerralla 29.40 ± 2.25 min. Miestutkittavien ensimmäisen vesijuokсутestin kesto oli keskimäärin 23.36 ± 2.31 min ja toisella mittauskerralla 23.46 ± 2.51 min. Voidaan todeta, että naiset olisivat voineet aloittaa miestutkittavien tapaan kuormasta 50 spm. Lopettamisen kriteerit tulisi ohjeistaa selkeämmin. Vaikka tutkittavat eivät kyenneet ylläpitämään metronomin määrittämää suoritustempoa, oli testiä mahdollista jatkaa. Juoksumatolla tämä tilanne on selkeämpi, kun tutkittava ei enää pysy maton vauhdissa mukana. Lisäksi alkuverryttely saattoi olla osalle tutkittavista liian suuri rasite, joka mahdollisesti selittää vaihtelut lepolaktaateissa.

Jatkotutkimuksia tarvittaisiin vesijuoksuharjoittelun adaptaatioista ja aerobisen kunnon ylläpitämisestä vesijuoksuharjoittelun avulla. Hyväkuntoisten kestävyysurheilijoiden onnistuneesta kunnon säilyttämisestä on olemassa tutkimusnäyttöä (Gatti ym. 1979; Wilber ym. 1996; Bushman ym. 1997). Harjoitusjaksojen pituudet tutkimuksissa olivat kolme viikkoa (Gatti ym. 1979), neljä viikkoa (Bushman ym. 1997) ja kuusi viikkoa (Wilber ym. 1996). Tutkimuksissa todettiin että intensiivisellä vesijuoksuharjoittelulla voidaan säilyttää aerobinen kunto ja maksimaalinen suorituskyykyisyys juoksumattotestien perusteella mitattuna. Kyseisissä tutkimuksissa pohdittiin, että vesijuoksuharjoittelun vaikutuksista kaivataan jatkotutkimuksia. Tutkimusnäyttöä on myös siitä, ettei vesijuoksuharjoittelu olisi riittävä harjoitusmuoto aerobisen kunnon säilyttämiseksi (Quinn ym. 1994). Toisaalta Quinn ym. (1994) tutkimukseen osallistuneet naiset eivät olleet kilpaurheilijoita ja otanta oli pieni (n=7).

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Hapenoton käyttäytyminen oli tämän tutkimuksen merkittävämpiä kiinnostuksen kohteita. Maksimiarvojen tutkimisen luotettavuutta heikensi menetetyt VO_{2max} tulokset teknisten haasteiden vuoksi. Jatkotutkimuksia tehtäessä tulisi varmistaa laitteiston vakaus haastavissa allasolosuhteissa. Hapenottolaitteiston osien ja välikappaleiden tulee olla tiiviimmin kiinnitetty ja varusteet tulee pystyä laskemaan tukevammin ja vakaammin tutkittavien ylle. Erillisten vaijerien käyttö voisi olla hyödyllistä, jottei laitteiston kannatteleminen varten tarvittaisi erillistä testaajaa. Lisäksi testin aloittaminen tulee onnistua sujuvasti, jotta tutkittavat eivät ehdi turhautua tai kärsiä kylmyydestä ennen testin aloittamista.

Mikäli tulevaisuudessa halutaan testata kestävyyskuntoa vesijuokсутestillä, voisi testiprotokolla olla lyhyempi, kiihtyen nopeammin maksimaaliseen rasitukseen. Laktaatin käyttäytyessä erikoisesti, voitaisiin vesijuokсутestistä mitata vain maksimilaktaatit, mikä voisi riittää kuvaamaan suorituskykyisyyttä ja testihetken vireystilaa. Sykettä ja hapenottoa voitaisiin mitata läpi testin.

Vesijuoksuharjoittelun adaptaatioiden lisäksi hermolihasjärjestelmän väsyminen vesijuoksurasituksen seurauksena voisi olla sopiva jatkotutkimusaihe. Kevennyshypyt voitaisiin kuitenkin toteuttaa välittömästi, tai melko pian altaasta ylös nousemisen jälkeen, kuten yhden minuutin sisällä testin päättymisestä. Tästä voitaisiin tehdä päätelmiä, kannattaako intensiivisen vesijuoksurasituksen jälkeen tehdä suurta tehoa vaativia suorituksia, tai kuinka nopeasti hermolihasjärjestelmä palautuu vesijuoksurasituksesta. Lisäksi EMG-aktiivisuus vesijuostessa olisi mielenkiintoinen tutkimuskohde. Vesijuokсутestaaminen voisi toimia kestävyysurheilijoiden lisäksi nopeus- ja voimalajien urheilijoille.

Käytännön sovellukset

Tämän tutkielman perusteella syke on kehitetyssä vesijuokсутestissä toistettavin ja varmin muuttuja. Sykettä tulisi seurata urheilijoiden valmentautumisessa. Urheilijoiden ja valmentajien tulee kuitenkin tiedostaa sykkeen olevan vedessä matalampi, kuin samalla rasittavuuden tasolla kuivalla maalla työskennellessä. Pikalaktaattimittareita käytetään

nykyisin jo runsaasti käytännön valmennuksessa. Laktaatin seuraamisessa kannattaa kynnysarvoihin suhtautua varauksellisesti, mutta karkeaan rasituksen seuraamiseen laktaatinäytteiden ottaminen voisi toimia.

Tässä tutkimuksessa ei vertailtu eri vesijuoksutekniikoita. Kirjallisuuden ja testaaajien näkemien tulosten perusteella voidaan urheilijoille suositella vesijuoksutekniikka suurin liikelaajuuksin. Maksimikadenssit ovat henkilökohtaiset, mihin vaikuttavat henkilön raajojen pituudet, käytetyt liikelaajuudet, kohdattava pinta-ala ja kulmamuuutosten nopeus.

LÄHTEET

- Alberston, C. L., Tartaruga, M. P., Pinto, S. S., Cadore, E. L., Antunes, A. H., Finatto, P., Krueel, L. F. M. 2013. Vertical ground reaction force during water exercises performed at different intensities. *Int J Sports Med*, 2013; 34: 881- 887
- Altman, D. G. & Bland J. M. 1983. Measurement in medicine: the analysis of method comparison studies. *Statistician* 1983; 32: 307-17
- Ament, W. & Verkerke, G. J. 2009. Exercise and fatigue. *Sports Medicine*, 39(5), 389-422.
- Anttila, E. *Vesijuoksijan käsikirja*. 2005. Helsinki: Edita publishing Oy; s. 65 - 70.
- Atkinson, G. & Nevill, A. M. 1998. Statistical methods for assessing measurement error (reliability) in variables relevant to sports medicine. *Sports medicine*, 26(4), 217-238.
- Azevedo, L. B., Lambert, M. I., Zogaib, P. S. & Barros Neto, T. L. 2010. Maximal and submaximal physiological responses to adaptation to deep water running. *Journal of sports sciences* 28 (4), 407-414.
- Bassett, D. & Howley, E. 2000. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. / Facteurs limitants de la consommation maximale d'oxygene et determinants de la performance d'endurance. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 32(1), 70-84.
- Becker, B. 2011. *Biophysiologic Aspects of Hydrotherapy*. Teoksessa B. E. Becker & A. J. Cole. *Comprehensive Aquatic Therapy*. 3. painos. United States of America: Washington State University Publishing, 24-70.
- Bland, M. & Altman, D. 1986. Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet* 327 (8476), 307-310.
- Borg, G. A. 1982. Psychophysical bases of perceived exertion. *Med sci sports exerc*, 14(5), 377-381.
- Brennan, D. K. & Wilder, R. P. 2011. *Aqua Running*. Teoksessa B. E. Becker & A. J. Cole. *Comprehensive aquatic therapy*. 2. painos. United States of America: Washington State University Publishing, 155-167.
- Burns, A. S., Lauder, T. D. 2001. Deep water running: An effective non-weightbearing exercise for the maintenance of land-based running performance. *Military Med* 2001;166:253-8

- Bushman, B. A., Flynn M. G., Andres., F. F. 1997. Effect of 4 wk of deep water run training on running performance. *Med Sci Sports Exerc* 1997;29:694-9
- Butts, N., Tucker, M. & Greening, C. 1991. Physiologic responses to maximal treadmill and deep water running in men and women. *American Journal Of Sports Medicine*, 19(6), 612-614.
- Cuesta-Vargas, A. I., Heywood S. 2011. Aerobic fitness testing in chronic nonspecific low back pain: a comparison of deep-water running with cycle ergometry. *Am J Phys Med Rehabil* 2011;90:1030Y1035.
- Dassonville, J., Beillot, J., Lessard, Y., Jan, J., Andre, A., Le Pourcelet, C. & Carre, F. 1998. Blood lactate concentrations during exercise: effect of sampling site and exercise mode. *Journal Of Sports Medicine & Physical Fitness*, 38(1), 39-46.
- Denning, W. M., Bressel, E., Dolny, D., Bressel, M. & Seeley, M. K. 2012. A Review of Biophysical Differences Between Aquatic and Land-Based Exercise. *International Journal of Aquatic Research & Education* 6 (1), 46-67.
- Doubt, T. 1991. Physiology of exercise in the cold. *Sports Medicine*, 11(6), 367-381.
- Dowzer, C., Reilly, T., Cable, N. & Nevill, A. 1999. Maximal physiological responses to deep and shallow water running (Reponses physiologiques maximales a la course dans l'eau profonde et peu profonde). *Ergonomics*, 42(2), 275-281.
- Faude, O., Kindermann, W. & Meyer, T. 2009. Lactate Threshold Concepts: How Valid are They?. *Sports Medicine*, 39(6), 469-490
- Fleiss, J. L. 1986. *The Design and Analysis of Clinical Experiments*. New York: John Wiley & Sons
- Gatti, C. J., Young, R. J. & Glad, H. L. 1979. Effect of water-training in the maintenance of cardiorespiratory endurance of athletes. *British Journal Of Sports Medicine*, 13(4), 161-164.
- Gayda, M., Juneau, M., Guiraud, T., Lambert, J. & Nigam, A. 2010. Optimization and Reliability of a Deep Water Running Test in Healthy Adults Older than 45 Years. *American Journal Of Physical Medicine & Rehabilitation*, 89(9), 722-730.
- González-Haro, C., Galileo, P. A., Drobic, F. & Escanero, J. F. 2007. Validation of a field test to determine the maximal aerobic power in triathletes and endurance cyclists. *British Journal Of Sports Medicine*, 41(3), 174-179.

- Hauser, T., Bartsch, L. Baumgärtel, H. & Schulz, H. 2013. Reliability of Maximal Lactate-Steady-State. *International Journal of Sports Medicine* 34 (3), 196-199. DOI: 10.1055/s-0032-1321719.
- Hopkins, W. G., Hawley, J. A. & Burke, L. M. 1999. Design and Analysis of Research on Sport Performance Enhancement. *Medicine and Science in Sports and Exercise* 31 (3), 472-485.
- Joyner, M. J. & Coyle, E. F. 2008. Endurance exercise performance: the physiology of champions. *Journal of Physiology* 586(1), 35–44.
- Kamandulis, S., Venckunas, T., Snieckus, A., Nickus, E., Stanislovaitiene, J. & Skurvydas, A. 2016. Changes of vertical jump height in response to acute and repetitive fatiguing conditions. *Science & Sports*, 31(6), e163-e171.
- Kanitz, A. C., Liedtke, G. V., Pinto, S. S., Alberton, C. L. & Krueel, L. M. 2014. Cardiorespiratory responses during deep water running with and without horizontal displacement at different cadences. / Respuestas cardiorrespiratorias de la carrera en aguas profundas con y sin desplazamiento horizontal y en diferentes cadencias. *Revista Andaluza De Medicina Del Deporte*, 7(4), 149-154.
- Kanitz, A. C., Reichert, T., Liedtke, G. V., Pinto, S. S., Alberton, C. L., Antunes, A. H. & ... Martins Krueel, L. F. 2015. Maximal and anaerobic threshold cardiorespiratory responses during deepwater running. / Respostas cardiorrespiratórias máximas e no limiar anaeróbio da corrida em piscina funda. *Brazilian Journal Of Kineanthropometry & Human Performance*, 17(1), 41-50.
- Katch, V. L., McArdle, W. D., Katch, F. I., & McArdle, W. D. 2011. *Essentials of exercise physiology*. Philadelphia: Wolters Kluwer/Lippincott Williams & Wilkins Health. 192 , 281-286.
- Keskinen, O. 2003. Kooste vesijuoksutukimuksista. Suomalainen Vesiliikuntainstituutti Oy. Jyväskylän Yliopisto, Liikuntabiologian laitos.
- Killgore, G. L., Wilcox, A. R., Caster, B. L. & Wood, T. M. 2006. A Lower-extremities kinematic comparison of deep water running styles and treadmill running. *Journal Of Strength & Conditioning Research (Allen Press Publishing Services Inc.)*, 20(4), 919-927.
- Koury, J. M. 1996. *Aquatic therapy programming: guidelines for orthopedic rehabilitation*. Philadelphia. Human kinetics

- Kruel, L. F. M., Beilke, D. D., Kanitz A. C., Alberton, C. L., Antunes, A. H., Pantoja, P. D., Silva, E. M., Pinto, S. S. 2013. Cardiorespiratory responses to stationary running in water and on land. *J Sports Sci Med*, 2013; 12: 594- 600
- Lamberts, R. P. & Lambert, M. I. 2009. Day-to-day Variation in Heart Rate at Different Levels of Submaximal Exertion: Implications for Monitoring Training. *The Journal of Strength and Conditioning Research* 23 (3), 1005–1010. DOI: 10.1519/JSC.0b013e3181a2dcde.
- Liem, B. C., Truswell, H. J. & Harrast, M. A. 2013. Rehabilitation and Return to Running After Lower Limb Stress Fractures. *Current Sports Medicine Reports* 12 (3), 200-207.
- Mercer, J. A. & Jensen, R. L. 1997. Reliability and Validity of a Deep Water Running Graded Exercise Test. *Measurement In Physical Education & Exercise Science*, 1(4), 213.
- Michaud, T., Brennan, D., Wilder, R. & Sherman, N. 1995. Aquarunning and gains in cardiorespiratory fitness. *Journal Of Strength & Conditioning Research* (Allen Press Publishing Services Inc.), 9(2), 78-84.
- Miyoshi, T., Shirota, T., Yamamoto, S., Nakazawa, K., Akai, M. 2004 Effect of the walking speed to the lower limb joint angular displacements, joint moments and ground reaction forces during walking in water. *Disabil Rehabil*, 2004; 26: 724-732
- Nakanishi, Y., Kimura, T., Yokoo, Y. 1999. Maximal physiological responses to deep water running at thermoneutral temperature. *Appl. Human Sci.* 1999; 18:31Y5.
- Nummela, A., Keskinen, K. & Vuorimaa, T. 2007. Kestävyys. Teoksessa A. Mero, A. Nummela, K. Keskinen & K. Häkkinen (toim.) *Urheiluvallmennus*. VK-Kustannus Oy, 333– 363.
- Nummela, A. 2010. Kestävyysominaisuuksien mittaaminen. Teoksessa K. Keskinen, K. Häkkinen & M. Kallinen. *Kuntotestauksen käsikirja*. VK-Kustannus Oy, Tampere 1. Painos, 51 – 124.
- Nummela, A. 2014. KLab – suora maksimitesti. Kilpa- ja huippu-urheilun tutkimuskeskus – KIHU julkaisu. Kuntotestausverkosto. Jyväskylä 21.3.2014. 26 sivua. Viitattu 5.3.2017
- Nummela. 2016 Kestävyysharjoittelu. Teoksessa Mero, A., Nummela, A., Kalaja, S., Häkkinen, K. 2016. *Huippu-urheiluvallmennus: teoria ja käytäntö päivittäisvallmennuksessa*. Lahti: VK-Kustannus Oy. 272–294
- Portney, L. G. & Watkins, M. P. 1993. *Foundations of Clinical Research: Application to Practice*. Norwalk, C. T.: Appleton & Lange

- Pöyhönen, T., Keskinen, K. L., Hautala, A. & Mälkiä, E. 2000. Determination of hydrodynamic drag forces and drag coefficients on human leg/foot model during knee exercise. *Clinical Biomechanics* 15 (4), 256-260.
- Quinn, T., Seodory, D. & Fisher, B. 1994. Physiological effects of Deep Water Running following a land based training program. *Research Quarterly For Exercise & Sport*, 65(4), 386-389.
- Rudzki, S. J., Cunningham, M. J. 1999. The effect of a modified physical training program in reducing injury and medical discharge rates in Australian Army recruits. *Military Med* 1999;164:648-52
- Sarna S. 2012, Kliinisen biostatistiikan kurssi, Helsingin yliopisto, Kansanterveystieteen osasto. Sanasto. (39) 60 sivua. Viitattu 23.3.2017 www.kttl.helsinki.fi/sarna/Sanasto.pdf
- Srámek, P., Simecková, M., Janski, L., Savlíková, J., Vybiral, S. 2000. Human Physiological responses to immersion into water of different temperatures. *Eur J Appl Physiol*, 2000; 81: 436-442
- Streiner, D. L. & Norman, G. R. 1995. *Health Measurement Scales: A Practical Guide to their Development and Use*. 2. New York: Oxford University Press
- Svedenhag, J. & Seger, J. 1992. Running on land and in water: comparative exercise physiology. / Course dans l' eau et au sol, comparaison physiologique. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 24(10), 1155-1160.
- Törmäkangas, T. 2010. LTKY012 Tutkimusaineiston analyysi: tilastollis-empiirinen tutkimus. Luentomoniste 2010-2017.
- Waller, B. 2016. The effect of aquatic exercise on symptoms, function, body composition and cartilage in knee osteoarthritis. University of Jyväskylä. *Studiesn in Sport, Physial Education and Healt* 250, 113
- Weir, J. P. 2005. Quantifying test-retest reliability using the intraclass correlation coefficient and the SEM. *Journal Of Strength & Conditioning Research*. 19(1), 231-240.
- White, J. E., Sanner, R. E., Rumery, A., Wentworth, J., Duffy, S., Reeder, D., Buck, J., Welsch, T., Blomberg, K. 2010. *Aquatic Fitness Professional Manual*. 6. painos. Aquatic Exercise Association. Human Kinetics, Inc. 97 - 112
- Wilber, R., Moffatt, R., Scott, B., Lee, D., & Cucuzzo, N. 1996. Influence of water run training on the maintenance of aerobic performance. *Medicine & Science In Sports & Exercise*, 28(8), 1056-1062

Yazigi, F., Pinto, S., Colado, J., Escalante, Y., Armada-da-Silva, P. S., Brasil, R. & Alves, F. 2013. The cadence and water temperature effect on physiological responses during water cycling. *European Journal Of Sport Science*, 13(6), 659-665.

LIITTEET

LIITE 1.

Vesijuoksutestin pöytäkirja. Kuorman numero, testiaika, suoritustempo, syke, koettu rasittavuuden tila, veren laktaattipitoisuus, alkuverryttelymalli, testin päättymisaika, kevennyshyppyt ennen ja jälkeen.

Kuorma	Aika (min)	Kadenssi (spm)	Syke (bpm)	RPE (6-20)	Laktaatti (mmol/l)
	0	N / M			
1	3	45 / 50			
2	6	50 / 55			
3	9	55 / 60			
4	12	60 / 65			
5	15	65 / 70			
6	18	70 / 75			
7	21	75 / 80			
8	24	80 / 85			
9	27	85 / 90			
10	30	90 / 95			
11	33	95 / 100			

suoritustempo, kadenssi (spm); naistutkittava, N; miestutkittavat, M; koettu rasittavuuden tila, (RPE).

Alkuverra N: 2 min 45 spm + 3 min 50 spm + 2 min 60 spm + 2 min 50 spm + 1 min 45 spm
Alkuverra M: 2 min 50 spm + 3 min 55 spm + 2 min 65 spm + 2 min 55 spm + 1 min 50 spm

Testi päättyi aikaan: _____

Kevennyshyppyt

	Ennen	Jälkeen
1.		
2.		
3.		
4.		
5.		

LIITE 2.

Mukailtu Borgin taulukko asteikolla 6 - 20 kuvaamaan koettua rasittavuuden tilaa, RPE:tä.

Asteikko	Tuntemukset koetusta rasittavuudesta
6	Ei räsitusta lainkaan
7	Erittäin kevyt
8	
9	Hyvin kevyt
10	
11	Kevyt
12	
13	Hieman rasittava
14	
15	Rasittava
16	
17	Hyvin rasittava
18	
19	Erittäin rasittava
20	Maksimaalinen rasitus

LIITE 3.

Mukailtu KIHU:n testipalaute vesijuokсутестin suorittaneille.



Testipalaute



Maksimaalinen juoksumattotesti

Nimi: XXXXXXXXXX
 Synt.aika: 9.2.93

Testausaika	14.12.16					
Ikä (v)	23,9					
Pituus (cm)	191					
Paino (kg)	71,3					
Rasvaprosentti						
BMI (kg/m ²)	19,5					
Rasvaton paino (kg)						
Kevennyshyppy (cm)	ennen	34,8				
	jälkeen	31,4				
Maksimi hapenotto (l/min)	5,22					
(ml/kg/min)	73					
Suoritus (ml/kg/min)						
Syke (krt/min)	178					
Nopeus (spm)	85,0					
Laktaatti (mmol/l)	11,4					
Anaerobinen kynnys (l/min)	3,84					
(ml/kg/min)	54					
Suoritus (ml/kg/min)						
%:a maksimista	72					
Syke (krt/min)	153					
Nopeus (spm)	70,0					
Laktaatti (mmol/l)	3,3					
Aerobinen kynnys (l/min)	3,64					
(ml/kg/min)	51					
Suoritus (ml/kg/min)						
%:a maksimista	68					
Syke (krt/min)	146					
Nopeus (spm)	60,0					
Laktaatti (mmol/l)	2,1					