

**KÄSIVEDON MUUTTUJIEN YHTEYS VIIDENKYMMENTEN METRIN
VAPAAUINNIN AIKAAN: UUDEN ANTURITEKNOLOGIAAN
PERUSTUVAN TEHOMITTARIN TESTAUS**

Rantanen Antti

Biomekaniikka

Kandidaatintutkielma

Syksy 2017

Liikuntabiologinen oppiaineryhmä

Jyväskylän yliopisto

Työnohjaaja: Antti Mero

TIIVISTELMÄ

Antti Rantanen (2017). Käsivedon muuttujien yhteys viidenkymmenen metrin vapaauintin aikaan: uuden anturiteknoologiaan perustuvan tehomittarin testaus. *Liikuntabiologia*, Jyväskylän yliopisto, Biomekaniikan kandidaatintutkielma, 37 s, (1 liite).

Johdanto. Uimari on uidessaan käytännössä lähes koko vartalollaan kosketuksissa veteen. Vesi on väliaine, joka vastustaa uimarin etenemistä ja josta voiman ja vastavoiman periaatteen mukaisesti uimaria eteenpäin vievien voimien tukipinnat tulisi löytää. Veden viskoelastinen luonne luo omat erityispiirteensä eteenpäin suuntautuvien ja vastustavien voimien välille. Tässä tutkimuksessa keskitytään vapaauintin käsivedon muuttujiin, joiden avulla pyritään arvioimaan uimarin käsivedon eteenpäin vieviä voimia ja niiden yhteyttä uintinopeuteen. Tämän lisäksi tutkitaan anturiteknoologiaan perustuvan tehomittarin reliabiliteettia ja arvioidaan validiteettia.

Menetelmät. Koehenkilöinä oli kansallisen ja kansainvälisen tason kilpauimareita ($n = 17$, $22,8 \pm 3,2$ v, pituus $186,8 \pm 9,6$ cm, paino $85,7 \pm 12,0$ kg). Viidenkymmenen metrin vapaauintin ennätys oli miehillä $24,2 \pm 1,0$ s ja naisilla $26,6 \pm 0,9$ s. Uintitestit tehtiin kahtena erillisenä päivänä: ensin oikean käden mittaus ja tästä kahden viikon kuluessa vasemman käden mittaus. Molempina mittauskertoina koehenkilö teki 15 minuutin alkuverryttelyn, jonka jälkeen 6×50 metriä vapaauintia päädyistä ponnistamalla ja nousevalla vauhdilla. Neljäs ja viides suoritus olivat maksimaalisia uintisuorituksia sekä kuudes suoritus pelkillä käsivedoilla maksimaalisesti uiden. Ensimmäisten suoritusten välillä oli taukoa 3–5 minuuttia ja maksimaalisten suoritusten välillä 20 minuuttia. Testit uitiin viidenkymmenen metrin radalla. Maksimaalisista uintisuorituksista mitattiin käsivedon voimaa, impulssia, impulssin suuntaa, frekvenssiä, vetopituutta, tehoa sekä kämmenen nopeutta Trainesense Oy:n kehittämän Smart Paddle -laitteen avulla. Tuloksista laskettiin ensin keskiarvot ja keskihajonnat. Korrelaatiota analysoitiin SPSS for Windows -ohjelman avulla (IBM SPSS Statistics 24). Laitteen reliabiliteettia tutkittiin sisäkorrelaation (Intraclass Correlation Coefficient: ICC) avulla kahden maksimaalisen uintisuorituksen välillä. Aineiston normaalijakautuneisuutta selvitettiin Kolmogorov-Smirnov-testin avulla.

Tulokset. Keskimääräinen käsivedon teho oli miehillä 150 W ja naisilla 101 W, vetopituus 1,08 m ja 1,02 m, frekvenssi 52 vetoa/min ja 48 vetoa/min, kämmenen nopeus vedon aikana 3,30 m/s ja 2,84 m/s, impulssi 59 Ns ja 51 Ns sekä voima 42 N ja 34 N. Käsivedon muuttujista yksikään ei ollut vahvasti yhteydessä uintiaikaan. Miesten ryhmässä vetopituus ($r = -0,404$, $p = 0,096$), impulssi ($r = 0,362$, $p = 0,124$), kehon pituus ($r = -0,367$, $p = 0,120$), käsien siipiväli ($r = -0,314$, $p = 0,160$) ja frekvenssi ($r = -0,308$, $p = 0,165$) olivat lähimpänä tilastollista merkitsevyyttä. Naisten ryhmässä pituus ($r = -0,900$, $p = 0,019$), siipiväli ($r = -0,894$, $p = 0,020$), käsivedon teho ($r = -0,800$, $p = 0,052$), impulssin osuus taaksepäin ($r = 0,800$, $p = 0,052$) ja impulssi ($r = -0,700$, $p = 0,094$) olivat eniten yhteydessä uintiaikaan.

Sisäkorrelaation eli ICC:n 95 % luottamusväli vaihteli eri muuttujien suhteen välillä 0,622–0,993. Sisäkorrelaation arvon ylittäessä 0,7 voidaan reliabiliteettiä eli mittaustulosten toistettavuutta pitää hyvänä. Tämän tutkimuksen perusteella Smart Paddle -laitteen reliabiliteetti on todella hyvä. Validiteetin osalta ainakin kämmenen nopeuden, kiihtyvyyden ja liikeradan osalta laite antaa todennäköisesti tarkkaa tietoa. Voiman mittaamiseen saattaa vaikuttaa uimareiden toisistaan eriävät kämmenten pinta-alat.

Yhteenveto ja johtopäätökset. Käsivedon muuttujista yksikään ei ollut vahvasti yhteydessä uintiaikaan. Korrelaatiot uintisuoritusten ja yksittäisten käsivedon muuttujien välillä olivat suuntaa antavia sekä naisten ryhmän tulosten analyysiin vaikutti ryhmän otanta luotettavuutta heikentävästi. Laitteen reliabiliteetti vaikuttaisi olevan todella hyvä. Validiteetin osalta näyttää siltä, että lisätutkimuksia tarvitaan. Tämän tutkimuksen perusteella validiteettia on hankala arvioida, sillä vastaavanlaisia laitteita ei ole olemassa ja täten ei aikaisempaa tutkimustakaan. Vapaauintin käsivetoon vaikuttavat hyvin monet eri tekijät ja lineaarisia yhteyksiä uintiajan ja yksittäisten käsivedon muuttujien välillä on vaikea löytää. Käytännön valmennustyössä laitteen avulla pystytään saamaan paljon tietoa uimarin käsivedosta helposti ja nopeasti.

Asiasanat: vapaauinti, anturiteknologia, biomekaniikka, korrelaatio, intraclass correlation coefficient, reliabiliteetti

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

1 JOHDANTO.....	1
2 VAPAAUINTI.....	2
3 AIKAISEMMAT TUTKIMUSMENETELMÄT.....	5
4 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET	8
5 MENETELMÄT.....	10
5.1 Koehenkilöt.....	10
5.2 Koeasetelma.....	10
5.3 Laitteen avulla mitatut muuttujat	12
5.4 Tilastolliset menetelmät.....	15
6 TULOKSET.....	17
6.1 Viidenkymmenen metrin vapaauintin tulokset.....	17
6.2 Miesten ryhmän käsivedon muuttujien ja antropometrian yhteys uintiaikaan.....	18
6.3 Naisten ryhmän käsivedon muuttujien ja antropometrian yhteys uintiaikaan.....	20
6.4 Miesten ja naisten erot.....	22
6.5 Laitteen reliabiliteetti.....	23
7 POHDINTA.....	24
LÄHTEET	35
LIITE	

1 JOHDANTO

Viidenkymmenen metrin vapaauinti on yksi kilpailluimmista lajeista kesäolympialaisissa. Matkan viimeisimmissä olympiakilpailuissa Rio de Janeirossa vuonna 2016 voittajan ja kolmanneksi tulleen ero oli vain yhdeksän sadasosasekuntia, eli noin 0,4 % koko suoritukseen käytetystä ajasta. Täten pienetkin erot uintitekniikassa voivat olla erittäin ratkaisevia tuloksen kannalta. Matkan maailmanennätys on vuodesta 1976 vuoteen 2009 parantunut 2,95 sekunnilla, eli noin yhdeksän sekunnin sadasosaa joka vuosi. Jatkuva maailmanennätysten kehitys kertoo sekä parantuneista olosuhteista, kuten lähtökorokkeista, että parantuneista harjoittelumenetelmistä ja uintitekniikan sekä -tietämyksen kehittymisestä.

Vapaauinti on nopein uintimuoto, joka koostuu yleensä kahdesta käsivedosta kuutta potkua kohden. Tätä kuusitahtivapaauintia käytetään erityisesti lyhyemmillä matkoilla, joissa uinnin taloudellisuus ei ole niin tärkeää. Käsivedot ovat potkuja suuremmassa roolissa eteenpäin tuotetussa voimassa ja niitä tutkimalla saadaan kohtuullisen hyvä kokonaiskuva uimaria liikuttavista voimista. Tässä tutkimuksessa keskitytään ainoastaan vapaauintin käsivedon voimantuottoon. Esimerkiksi uimarin etenemistä hidastavia voimia ei tutkita.

Uintitekniikan tutkimus ja tuntemus ovat jatkuvassa kehityksessä, mutta edelleen suhteellisen hajanaista ja heikkotasoisia. Tästä kertoo esimerkiksi se, että uinnissa tuotetuista voimista on suhteellisen vähän tutkimustietoa tarjolla. Myös systemaattisten uintitekniikkaa koskevien kirjallisuuskatsausten määrä on moneen muuhun lajiin verrattuna hyvin pieni. Osaltaan tämä johtuu vesielementistä haastavana ympäristönä tutkimukselle, jonka johdosta tutkimusmenetelmien yhtenäistäminen ja tutkimusten keskinäinen vertailu on haastavaa.

Uintia on perinteisesti tutkittu videoanalyysin avulla, ja se onkin tuottanut paljon hyödyllistä tietoa uinnin tekniikasta (Callaway 2009). Viime vuosien aikana uinnin tutkimuksessa on alkanut enenevässä määrin näkyä anturiteknologiaan perustuvia laitteita. Yksi tällainen on Trainesense Oy:n kehittämä Smart Paddle -laite. Tässä tutkimuksessa on tarkoitus arvioida kyseisen laitteen reliabiliteettia ja validiteettia. Lisäksi tutkitaan, mitkä käsivedon muuttujat ovat yhteydessä 50 metrin uintiaikaan.

2 VAPAAUINTI

Lyhyen matkan vapaauinti on uintimuoto, jossa jokaista kahta käsivetoa kohden tehdään yleensä kuusi potkua. Tätä sanotaan kuusitahtivapaauintiksi ja tässä tutkimuksessa keskitytään vain siihen. (Maglischo 2003, 120) Kuusitahtivapaauinti muodostuu rytmikkäistä ja toistuvista käsien ja jalkojen liikkeistä, johon yhdistyy lisäksi rullausliike vartalon pituusakselin suhteen.

On esitetty, että vapaauintissa jopa noin 90 % eteenpäin tuotetusta voimasta tuotettaisiin käsien avulla (Watkins & Gordon 1983, Maglischo 2003, 37 mukaan). Myös Gourgoulis ym. (2014) päätyivät samankaltaiseen tulokseen tutkimuksessaan, jossa ilman potkuja ja potkujen kanssa uidun vapaauintin uintinopeudessa havaittiin vain noin 13 % ero. Yksilölliset erot saattavat olla tosin huomattavia, kuten Hollander ym. (1988) havaitsivat tutkimuksessaan, jossa jotkut uimarit tuottivat jopa 27 % enemmän ja jotkut jopa 6 % vähemmän eteenpäin vievää voimaa uidessaan potkujen kanssa verrattuna pelkillä käsivedoilla tuotettuun propulsiiviseen voimaan (Hollander ym. 1988, Maglischo 2003, 38 mukaan). Täten pelkästään käsivetoa tutkimalla saadaan kohtuullisen hyvä kokonaiskuva uimaria liikuttavista voimista, joskin potkujen osuus voi olla hyvin yksilöllistä.

Uinnin propulsiivisista eli eteenpäin vievistä työntövoimista on tutkimusmaailmassa esitetty eriäviä tuloksia ja johtopäätöksiä historian saatossa. Veden hydrodynaamisista ominaisuuksista johtuen uimarin liikkeet aiheuttavat vedessä sekä noste- että vastusvoimia. Nostevoimat suuntautuvat kohtisuorasti vastusvoimiin nähden. Tämän takia käsivedon eteenpäin vievä resultanttivoima on aina noste- ja vastusvoimien summa. Kuitenkin nykyisen käsityksen mukaan vastusvoimat ovat huomattavasti tärkeämmässä roolissa. On esimerkiksi havaittu, että uimarin nopeus kiihtyy vain silloin, kun käsi liikkuu taaksepäin. Maglischoon mukaan tätä tukevat myös empiiriset huomiot siitä, että uimarit pyrkivät käsivetonsa aikana tuottamaan voimaa suoraan taaksepäin, vaikkakin uimarin käsiveto muodostuu kaarevista liikkeistä. Kaarevien liikkeiden tarkoitus on hänen mukaan todennäköisesti siinä, että uimari pyrkii aktiivisesti etsimään vettä, joka ei olisi jo liikkeessä taaksepäin uimarin veteen tuottaman voiman ansiosta. Tämä vähentää uimarin tarvetta kiihdyttää käden nopeutta tarpeettoman paljon, minkä vuoksi uimari säästää energiaa. (Maglischo 2003, 18–35.) Toinen todennäköinen selitys kaareville liikkeille johtunee yksinkertaisesti ihmiskehon anatomiasta.

Viidenkymmenen metrin vapaauinnissa energiaa ei tarvitse säästää eli pyrkiä taloudellisuuteen, vaan ennemminkin tehoa tulisi tuottaa mahdollisimman paljon ja saada se suunnattua eteenpäin vievään liikkeeseen. Vesi aiheuttaa oman haasteensa tälle, koska sen viskoelastiset ominaisuudet vaikeuttavat voimantuottoa. Kiinteällä alustalla mitatut reaktiivoimat, kuten esimerkiksi pikajuoksussa, ovatkin täten suurempia, kuin vedessä. Liike-energiaa kuluu huomattavasti hukkaan, kun vesi liikkuu käsivedon aikana. Onkin sanottu, että hyvän uimarin määrittää se, kuinka hyvä ”ote” hänellä on vedestä. Ote voidaan käsittää kykynä saavuttaa ja ylläpitää suuri paine-ero kämmenen ja kyynärvarren palmaarisen ja dorsaalisen puolen välillä käsivedon aikana.

Uinnissa eteenpäin vievien voimien lisäksi suuressa roolissa uintinopeuden kannalta ovat uimarin etenemistä vastustavat voimat, yleensä suhteellisesti enemmän kuin muissa lajeissa. Vesi on väliaineena lähes kahdeksansataa kertaa tiheämpää kuin ilma. Täten pelkästään propulsiivisia voimia tutkimalla ei voida päätellä uimarin etenemisnopeutta, koska vastusvoimien rooli on niin suuri. Uimarin liikkeen ja muodon aiheuttama vastus, veden virtaamisen muutokset sekä paine-erojen syntyminen vaikuttavat uintivauhtiin merkittävästi. (Maglischo 2003, 43–64.) Erityisesti aaltojen muodostuminen ja niiden aiheuttama vastus on iso uintivauhtia hidastava tekijä. Kuitenkaan tässä tutkimuksessa ei näihin seikkoihin suuremmin syvennyttä.

Vapaauintin käsiveto voidaan jakaa Maglischon mukaan kuuteen eri vaiheeseen: 1. *entry and stretch* eli veteentuonti, jolloin käsi menee veteen, 2. *downsweep* eli alaspyyhkäisy, jolloin kämmen liikkuu eteen- ja alaspäin kaarevaa liikerataa pitkin kohti otetta, 3. *catch* eli ote, jolloin kämmenen nopeus on hitaimmillaan ja kämmenen liikerata muuttuu eteen- ja alaspäin-suunnasta taakse- ja sisäänpäin, 4. *insweep* eli sisäänpyyhkäisyvaihe, joka on ensimmäinen propulsiivinen vaihe, 5. *upsweep* eli ylöspyyhkäisyvaihe, jolloin kämmenen liikerata kääntyy taakse-, sisään- ja ylöspäin-suunnasta taakse-, ulos- ja ylöspäin-suuntaan sekä 6. *release and recovery* eli palautusvaihe, jolloin kämmenen liikesuunta vaihtuu jälleen eteenpäin ja käsi palautetaan veden päältä seuraavaan veteentuontivaiheeseen. (Maglischo 2003, 103–113.)

Propulsiivisia vapaauintin käsivedon vaiheita ovat siis vain sisäänpyyhkäisyvaihe sekä ylöspyyhkäisyvaihe. Muiden vaiheiden aikana uimarin tulisi minimoida etenemistä vastustavat

voimat ja pääsemään mahdollisimman nopeasti propulsiivisiin käsivedon vaiheisiin.
(Maglischo 2003, 103–113)

3 AIKAISEMMAT TUTKIMUSMENETELMÄT

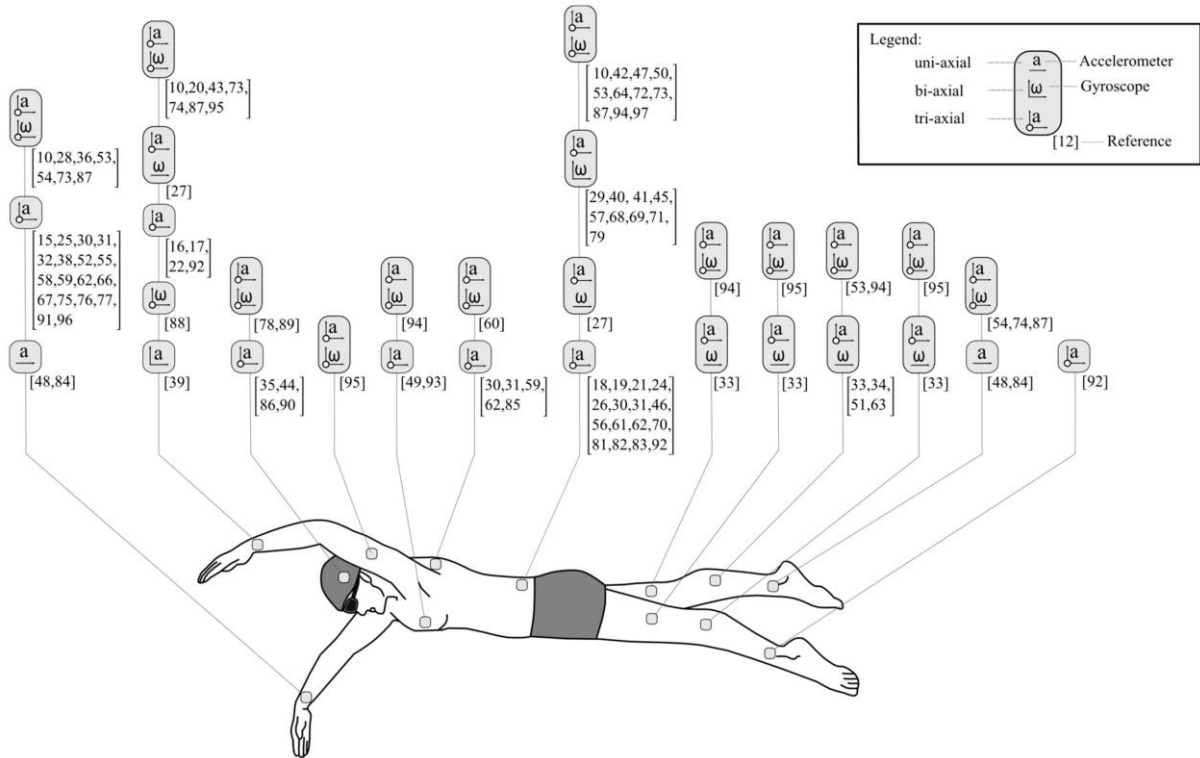
Kuten Callaway ym. toteavat vuonna 2009 julkaistussa kirjallisuuskatsauksessaan, videoanalyysimenetelmät ovat olleet uintimaailman ja uintitutkimuksen käytetyin menetelmä liikkeen analysoimisessa viimeisen kolmen vuosikymmenen ajan. Videoanalyysin avulla saadaan tärkeää tietoa muun muassa nivelkulmista sekä eri kehonosien liikeradoista. Videoanalysointimenetelmässä on tosin joitakin puutteita, kuten kuvan tarkkuuden heikentyminen valon hajotessa veden ja ilman rajapinnassa sekä uimarin veteen aiheuttaman turbulenssin vaikutuksesta. Tämä saattaa hankaloittaa videokuvan digitoimista. (Callaway ym. 2009.) Lisäksi videokuvan digitoiminen on aikaa vievää ja työlästä (Phillips ym. 2014).

Bixler & Scott (2002) ovat esittäneet myös niin kutsuttua *computational fluid dynamics* -menetelmää, joka perustuu veden virtaukseen paikallaan olevan mallinnetun kämmenen ja kyynärvarren ympärillä. Veden käyttäytymisen perusteella pystytään matemaattisesti laskemaan voiman eri komponentteja, kuten vastusvoiman ja nostevoiman osuuksia. Tämän menetelmän haittapuolena on se, että veden virtausta tutkitaan usein tasaisella nopeudella ja tietyllä kämmenen kulmalla kerrallaan. Uimarin veto ei kuitenkaan tapahdu tasaisella nopeudella eikä samalla kämmenen kulmalla tai vain yhteen suuntaan kerrallaan.

Magalhaesin ym. (2015) systemaattisen kirjallisuuskatsauksen mukaan kiihtyvyyssanturit ja gyroskoopit ovat luotettavia laitteita vesiympäristössä tapahtuvan uintitekniikan mittaamisessa ja arvioimisessa. Heidän mukaansa uimarissa kiinni olevien mittalaitteiden yhtenä etuna on se, että ne pystyvät mittaamaan uintia hyvin pitkältä matkalta verrattuna videoanalyysijärjestelmään. Tämä tuo hyötyjä esimerkiksi silloin, kun tutkitaan väsymisen aiheuttamia muutoksia suoritustekniikkaan. Anturiteknologian avulla tehtyjen liikeanalyysien tekeminen on myös usein huomattavasti nopeampaa kuin videoanalyysimenetelmän avulla. Tämän ansiosta niiden antamaa tietoa voidaan hyödyntää reaaliaikaisesti valmennustilanteessa palautteen antamisen apuna. (Magalhaes ym. 2015.)

Liikeantureiden sijoittaminen uimarin eri kehonosiin on tosin ollut hyvin vaihtelevaa tutkimuksissa ja samoin tutkimusasetelmat ovat vaihdelleet huomattavasti. Tämä vaikeuttaa tutkimustulosten keskinäistä vertailua. (Callaway ym. 2009; Magalhaes ym. 2015; Mooney ym.

2016.) Mooney ym. (2016) nostavat esille myös algoritmien erilaisuudet, jotka nekin johtuvat pääasiassa antureiden erilaisista sijoittamispaikoista. Kuva 1 havainnollistaa eri tutkimuksissa käytettyjä antureiden paikkoja.



KUVA 1. Eri tutkimuksissa käytettyjä antureiden sijoittamispaikkoja. Kuva on Mooney ym. (2016) raportista. Numerot tarkoittavat raportissa tarkasteltuja eri tutkimuksia. Kuvassa ylhäällä oikealla on selitetty merkintätapa siihen, onko kyseessä ollut yksi-, kaksi-, vai kolmiulotteisesti liikettä mittaava laite, sekä kiihtyvyyssanturin ja gyroskoopin merkintätapa.

Mooney ym. 2016 toteavat kirjallisuuskatsauksessaan kiihtyvyyssanturiteknologian olevan lupaava ala tulevaisuuden käytännön uintivalmennuksen kannalta. Koska vesiympäristössä biomekaanisten muuttujien analysointi on hankalaa, on kiihtyvyyssanturiteknologialla suuri kysyntä. He toteavat tosin myös, että kyseessä on vasta nuori ja voimakkaasti kehittyvä ala, joten anturiteknologiassa löytyy vielä jonkin verran puutteita. Saman kysymyksen nostavat esille myös Callaway ym. (2009) omassa kirjallisuuskatsauksessaan.

Kiihtyvyyssmittareiden iso etu on niiden suuri keräystaajuus. Tämä luo potentiaalin hyvin tarkkaan käsivedon muuttujien mittaamiseen silloin, kun signaalin käsittely on lisäksi luotettavaa. Nykyaikaisen anturiteknologian avulla voidaankin saada tarkempaa tietoa esimerkiksi käden veteenmenokulmasta ja kämmenen kiihtyvyyksistä vedon eri vaiheissa verrattuna perinteiseen videoanalyysiin (Callaway ym. 2009).

Toinen etu on anturiteknologian käytön helppous, koska jo yhdellä anturilla pystytään saamaan paljon tietoa vedon eri muuttujista. Haittapuolena vain yhden anturin menetelmässä on uimarin käsivetojen mahdolliset ja jopa todennäköiset puolierot. (Callaway ym. 2009.) Tämän takia monen anturin samanaikainen käyttö olisi hyödyllistä (Callaway ym. 2009; Mooney ym. 2016). Monen anturin menetelmällä voitaisiin saada arvokasta ja luotettavaa tietoa myös nivelkulmista (Phillips ym. 2014; Seifert ym. 2014).

Välitön palaute, jonka anturiteknologia mahdollistaa, on uimarin ja valmentajan työskentelyssä mahdollisesti eduksi. Anturiteknologian avulla saatava tieto vaatii kuitenkin osaavaa tulkintaa, jotta siitä on hyötyä. Videoanalyysin antama data onkin usein helpommin ymmärrettävää (Callaway ym. 2009). Tämän takia anturiteknologiaan pohjautuvien laitteiden datan tulkitsemisen helppouteen tulisi panostaa, jotta teknologiasta saataisiin paras hyöty uimarille ja valmentajalle. Tietysti myös valmentajan osaamisella on tässä asiassa suuri rooli.

3 TUTKIMUKSEN TARKOITUS JA TUTKIMUSKYSYMYKSET

Tutkimuksen tarkoituksena on selvittää Smart Paddle -laitteen reliabiliteettia ja arvioida sen validiteettia. Lisäksi tutkitaan, ovatko seuraavat tekijät yhteydessä viidenkymmenen metrin uintiaikaan: käsivedon voima, impulssi, impulssin suuntautuminen taaksepäin, kämmenen nopeus, frekvenssi, vetopituus, teho ja uimarin pituus sekä siipiväli.

Tutkimusongelma 1: Ovatko laitteen mittaustulokset toistettavia?

Tutkimushypoteesi 1: Laitteen mittaustulokset ovat toistettavia.

Perustelu 1: Laitteen suuri keräystaajuus (100 Hz) mahdollistaa tarkan mittaamisen, jonka johdosta samanlaisesta suorituksesta saadaan samanlainen tulos. Julkaistua tutkimustietoa anturiteknologian reliabiliteetista uinnin käsivedon tutkimuksessa ei kovin paljon ole. Chakravorti ym:n (2013) tutkimuksessa vapaauinnin käsivedon frekvenssin mittaamisen sisäkorrelaatio (ICC) vaihteli välillä 0,88–0,96 ja keskiarvon keskivirhe oli 0,6–1,6 %. Fulton ym. (2009) tutkimuksessa uimarin potkun frekvenssin ja määrän määrittämisessä koehenkilöiden mittausten välinen keskihajonta oli noin 4 %.

Tutkimusongelma 2: Mitkä laitteen mittaamista käsivedon muuttujista ovat yhteydessä nopeaan uintiaikaan?

Tutkimushypoteesi 2: Käsivedon voima (F), impulssi (I), impulssin suuntautuminen taaksepäin (I_{taakse}), kämmenen nopeus (v_k) ja teho (P) ovat yhteydessä nopeaan uintiaikaan. Frekvenssi (Fr) on yhteydessä nopeaan uintiaikaan, jos vetopituus on myös suuri. Vetopituus (Strl) on yhteydessä nopeaan uintiaikaan, jos frekvenssi on myös suuri.

Perustelu 2: Voima ja impulssi ovat yhteydessä nopeaan uintiaikaan, koska vastustetussa uinnissa mitattujen voimien on aiemmin osoitettu olevan yhteydessä uintiaikaan (Morouco ym. 2014; Loturco ym. 2015; Santos ym. 2016). Impulssin osuus taaksepäin on yhteydessä nopeaan uintiaikaan, koska tällöin voidaan olettaa voiman suuntautuvan eteenpäin vievään liikkeeseen paremmin ja täten olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan. Kämmenen nopeus on yhteydessä suurempaan käsivedon voimaan ja täten myös uintinopeuteen, sillä virtausnopeuden kasvaessa

on havaittu myös voiman olevan suurempaa, ainakin tietokoneen avulla laskennallisesti uimarin käsivetoa mallintavaa *computational fluid mechanics* -menetelmää käyttäen (Bilinauskaite ym. 2013). Käsivedon teho kuvaa voiman ja nopeuden tuloa eli täten voidaan olettaa tehon olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan. Vastustetussa uinnissa saavutetun maksimitehon on osoitettu lisäksi olevan yhteydessä uintinopeuteen (Dominguez-Castells ym. 2013).

Frekvenssin voidaan olettaa olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan, jos vetopituus on myös tarpeeksi suuri. Vetopituuden voidaan olettaa olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan, jos frekvenssi on myös tarpeeksi suuri. On osoitettu, että uintinopeuden kasvaessa frekvenssi nousee ja vetopituus laskee, mutta kuitenkin niin, että frekvenssiä tietyn pisteen yli kasvattamalla nopeus lähtee laskemaan. Täten uintinopeus muodostuu frekvenssin ja vetopituuden tulosta, yksilöstä ja uintinopeudesta riippuen. (Graig & Pendergast 1979.)

Tutkimusongelma 3: Mitkä antropometriset tekijät ovat yhteydessä nopeaan uintiaikaan?

Tutkimushypoteesi 3: Kehon pituus ja käsien siipiväli ovat yhteydessä nopeaan uintiaikaan.

Perustelu 3: Aikaisemmissa tutkimuksissa on havaittu kehon pituuden (Geladas ym. 2005; Moura ym. 2014; Nasirzade ym. 2014) ja siipivälin (Geladas ym. 2005; Lätt ym. 2010; Nasirzade ym. 2014) olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan nuorilla uimareilla. Zampagnin ym. (2008) tutkimuksessa kehon pituuden osoitettiin olevan yhteydessä nopeaan vapaauintin uintiaikaan vanhemmilla uimareilla, erityisesti lyhyillä vapaauintimatkoilla.

4 MENETELMÄT

5.1 Koehenkilöt

Koehenkilöinä tutkimuksessa oli 12 miestä ja viisi naista. Keskimääräinen ikä oli miehillä 23,4 ±3,1 vuotta ja naisilla 21,4 ±3,4 vuotta. Tasoltaan uimarit olivat kansallisen ja kansainvälisen tason huippuja. Viidenkymmenen metrin vapaauintin ennätysten pitkän radan keskiarvo oli miehillä 24,15 ±1,04 sekuntia ja naisilla 26,55 ±0,87 sekuntia. FINA-pisteiden keskiarvo 50 metrin vapaaunnista oli miehillä 649 pistettä ja naisilla 714 pistettä. FINA-pisteet lasketaan suhteessa voimassa olevaan maailmanennätysaikaan siten, että maailmanennätystuloksella pisteitä saa tasan 1000. Koehenkilöt rekrytoitiin paikallisista uintiseuroista. Pyrkimys oli saada mahdollisimman kovatasoisia uimareita osallistumaan tutkimukseen. Tutkimus toteutettiin Jyväskylän yliopiston eettisten ohjeiden, periaatteiden ja käytäntöjen mukaisesti. Jokainen koehenkilö osallistui tutkimukseen vapaaehtoisesti ja hänellä oli oikeus keskeyttää tutkimus niin halutessaan.

5.2 Koeasetelma

Uintitestit tehtiin kahtena päivänä kahden viikon sisällä. Ensimmäisenä testipäivänä testi tehtiin laite oikeassa kädessä ja toisena testipäivänä vasemmassa kädessä. Laite kiinnitettiin kuminauhan avulla kämmenen palmaariselle puolelle keskisormen ja nimettömän ympärille, proksimaaliseen päähän, aivan sormien tyveen. Molempina testikertoina koehenkilö suoritti 15 minuutin mittaisen alkuverryttelyn siten, että viimeisen viiden minuutin ajan hän ui laitteen kanssa, jotta saisi totutella uimaan sen kanssa. Koehenkilö sai itse päättää verryttelynsä sisällön. Antropometrisista muuttujista pituus ja paino kysyttiin kultakin koehenkilöltä. Siipiväli mitattiin siten, että koehenkilö seiso i kantapäät yhdessä seinää vasten ja levitti kätensä mahdollisimman kauaksi toisistaan horisontaalisuunnassa. Mittatulos saatiin mitattua seinän ja metrimittan avulla keskisormen päästä toisen keskisormen päähän.

Itse testi koostui kuudesta viidenkymmenen metrin vapaauintisuorituksesta, jotka kaikki suoritettiin päädyistä ponnistamalla ja ilman vedenalaisia delfiinipotkuja. Tähän päädyttiin, jotta

vedenalaisen työskentelyn osuus ei vaikuttaisi uintiaikaan merkittävästi, koska tarkoituksena oli tutkia käsivedon muuttujien yhteyttä uintiaikaan. Jos koehenkilö olisi esimerkiksi tehnyt maksimipituisen sallitun viidentoista metrin liu'un, tämä olisi vaikuttanut tuloksiin. Samoin päädyistä ponnistamisen ajateltiin olevan helpoimmin vakioitavissa oleva tapa suorittaa lähtö, koska koehenkilöiden starttihypyn vaikutus olisi myös saattanut tuottaa harhaa tuloksiin. Tällä tavalla uinnista saatiin mitattua myös pidempi matka ja useampi käsiveto, joten tämän ajateltiin antavan luotettavimman kuvan käsivedon muuttujista. Koehenkilöä ohjeistettiin tekemään kuitenkin normaali tehokas pintaautuminen, jotta uintivauhti olisi maksimaalinen heti alusta lähtien.

Ensimmäinen viidenkymmenen metrin aika pyrittiin uimaan noin viidentoista sekunnin päähän omasta viidenkymmenen metrin ennätyksestä. Koehenkilöä ohjeistettiin uimaan mieluummin liian hiljaa kuin liian kovaa ensimmäinen viisikymmentä metriä, jotta hän pystyisi nostamaan vauhtia noin viiden sekunnin verran aina seuraavilla viisikymmentämetrisillä. Siispä neljäs viisikymmentämetrin oli koehenkilön maksimaalista uintivauhtia. Laitteen reliabiliteetin tutkimiseksi uitiin myös toinen viidenkymmenen metrin maksimaalinen suoritus. Kuudes viidenkymmenen metrin uintisuoritus tehtiin pelkillä käsivedoilla, maksimaalisella vauhdilla ja kelluke jalkojen välissä. Koehenkilöä ohjeistettiin olemaan potkimatta, mutta jalkoja ei tarvinnut pitää täysin suorina ja jäykkinä, vaan ne saivat heilua perässä vapaasti. Häntä ohjeistettiin myös uimaan mahdollisimman normaalisti ikään kuin kädessä ei olisi laitetta ollenkaan.

Lopulliseen analyysiin päätyivät vain 4. ja 5. suoritus, koska haluttiin tutkia käsivedon muuttujia maksimaalisessa uintivauhdissa. Täten ensimmäiset kolme suoritusta olivat jatkoa verryttelylle ja lisätututtelua laitteen kanssa uimiseen. Potkujen vaikutusta ei myöskään poistettu, koska uimarin haluttiin uivan mahdollisimman normaalilla tekniikalla ja potkujen poisjättäminen olisi vaikuttanut tähän asiaan negatiivisesti. Kuudennen viisikymmentämetrisen analyysistä poisjättäminen johtui siitä, että koehenkilöillä oli eroa siinä, kuinka hyvin he pystyivät olemaan potkimatta. Täten tulevissa tutkimuksissa olisi hyvä kellukkeiden lisäksi sitoa jalat yhteen esimerkiksi kuminauhan avulla, kun halutaan uida pelkästään käsivetojen avulla.

Alla on esitetty uintitestin kulku:

Verryttely 15' (viimeinen 5' laitteen kanssa)

↓ Tauko 3'

50 metriä vapaauintia, tavoitevauhti: maksimi + 15''

↓ Tauko 3'

50 metriä vapaauintia, tavoitevauhti: maksimi + 10''

↓ Tauko 3'

50 metriä vapaauintia, tavoitevauhti: maksimi + 5''

↓ Tauko 5'

50 metriä vapaauintia, tavoitevauhti: maksimi

↓ Tauko 20'

50 metriä vapaauintia, tavoitevauhti: maksimi

↓ Tauko 20'

50 metriä vapaauintia pelkillä käsivedoilla, kelluke jalkojen välissä, tavoitevauhti: maksimi

5.3 Laitteen avulla mitatut muuttujat

Smart Paddle eli vapaasti suomennettuna älylättäri (KUVA 2) on suomalaisen Trainesense Oy:n kehittämä laite, joka koostuu gyroskoopista, magnetometrasta sekä kiihtyvyyssanturista. Laitteen avulla pystytään mittaamaan vetojen määrää, vetopituutta, vetotiheyttä, kämmenen liikerataa, anturiin kohdistuvaa impulssia ja sen suuntaa, anturiin kohdistuvaa voimaa ja sen suuntaa, kämmenen kiihtyvyyttä ja sen suuntaa, kämmenen nopeutta ja sen suuntaa sekä uimarin keskimääräistä etenemisnopeutta ja uintiaikaa. Laite antaa myös tietoa käsivedon vaihtelusta keskihajontoina uintisuorituksen aikana ja käsivedon muutoksen trendistä, eli esimerkiksi kuinka paljon käsiveto muuttuu, kun verrataan viimeisiä käsivetoja ensimmäisiin.

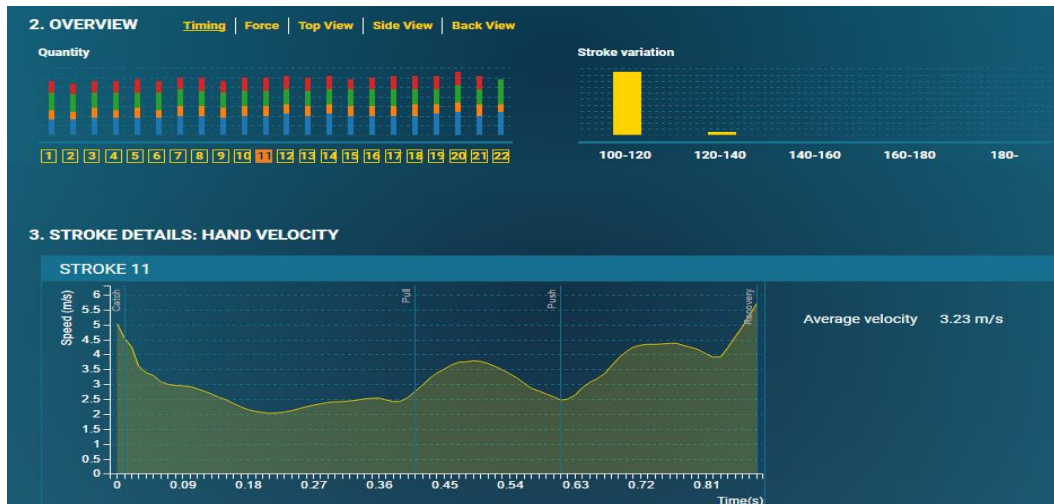


KUVA 2. Smart Paddle eli älylättäri.

Laitteen mittaama data saatiin tallennettua bluetooth-yhteyttä hyödyntävän sovelluksen avulla älypuhelimeen sekä suoraan sovelluksen pilvipalveluun. Pilvipalvelusta data saatiin ladattua tietokoneelle, jonka jälkeen sitä pystyttiin laskemaan ja analysoimaan Matlab GUI -ohjelman avulla sekä siirtämään sieltä laskettu data suoraan taulukko-ohjelmaan. Smart Paddle -laitteiston keräämä data saadaan havainnollistettua heti suorituksen jälkeen älypuhelimien näytölle pilvipalvelusta numeraalisesti sekä visuaalisesti kuvien 3 ja 4 mukaisesti.

1. SUMMARY		SET 5717	DIST 3267	TIME		STROKE		IMPULSE		POWER	
SET	LAP	SPLIT	QUANTITY	RATE (SPM)	TOTAL IMPULSE	FWD % / TOTAL	FORCE (AVG) [N]	AVERAGE VELOCITY			
+ SET 1											⬇️ 📄
+ SET 2											⬇️ 📄
+ SET 3											⬇️ 📄
+ SET 4											⬇️ 📄
- SET 5											⬇️ 📄
- DIST 1											
LAP 1	00:26:72	00:26:72	22	52	58.93	41.71	36.79	3.51			⬇️ 📄
+ SET 6											⬇️ 📄

KUVA 3. Laitteen keräämä keskiarvodata on havainnollistettu numeraalisesti välittömästi suorituksen jälkeen.



KUVA 4. Jokaisen käsivedon yksityiskohtaiset parametrit saadaan havainnollistettua välittömästi suorituksen jälkeen, kuvassa 11:n käsivedon kämmenen nopeus vedon aikana.

Tuloksia tarkasteltiin keskiarvoina. Uintiajan ja käsivedon muuttujien yhteyttä tutkittaessa sekä oikean että vasemman käden maksimaalisista viidenkymmenen metrin uintisuorituksista laskettiin keskiarvotulokset. Tämän jälkeen oikean ja vasemman käden keskiarvoista laskettiin yksi yhteinen keskiarvotulos, jota pidettiin keskiarvokäsivetonä vasemman ja oikean käden suhteen. Tällä tavalla pyrittiin vähentämään mahdollisten käsivedon puolierojen vaikutusta tuloksiin. Pelkästään toista kättä tarkasteltaessa olisivat tulokset voineet antaa väärää tietoa uimarin käsivedon ja uintiajan yhteyksistä.

Reliabiliteettia tutkittaessa käytettiin oikean käden ensimmäisen ja toisen maksimaalisen viidenkymmenen metrin vapaauintin tuloksia, joita verrattiin toisiinsa. Oletus oli, että uimari pystyy toistamaan päivän kunnon mukaisen suorituksensa lähes täysin, kun uintisuoritusten välillä on kahdenkymmenen minuutin tauko. Uintiaika mitattiin sekuntikellolla manuaalisesti sadasosan tarkkuudella. Ajallisesti uintisuoritukset eivät muuttuneet. Koko ryhmän oikean käden ensimmäisen maksimaalisen yrityksen uintiaikojen keskiarvo oli 27,44 s ja toisen 27,33 s. Vasemman käden ensimmäisen suorituksen uintiaikojen keskiarvo oli 27,55 s ja jälkimmäisen suorituksen keskiarvoaika 27,48 s. Tästä voitiin olettaa, että uinnit olivat suhteellisen samankaltaisia keskenään ja väsymys ei heikentänyt jälkimmäistä suoritusta. Tämän ansiosta voitiin myös laitteen reliabiliteettia tutkia suoritusten tulosten avulla.

Kaikkia mitattuja suorituksia ei tosin saatu onnistuneesti tehtyä. Tämä johtui todennäköisesti siitä, että internet-yhteys katkesi, kun puhelinsovelluksen tallentama tieto olisi täytynyt saada siirrettyä pilvipalveluun. Katkenneen yhteyden vuoksi tulos katosi ja sitä ei saatu ladattua tietokoneelle. Toinen mahdollinen syy tulosten tallennusongelmissa saattoi kahden viimeisen koehenkilön kohdalla johtua siitä, että laitteen sisälle oli joutunut vettä.

Osassa mittauksista saatiin lisäksi tallennettua vain suorituksen alku tai lyhyt pätkä keskeltä uintisuoritusta. Tämä saattoi johtua ainakin nopeimman uimarin kohdalla siitä, että laite oletti kyseessä olevan 25 metrin uintimatka, koska 50 metrin aika oli niin pieni. Kaikki mittaustulokset käytiin yksitellen läpi ja vääristyneitä tuloksia ei otettu mukaan analyysiin.

Kaikilta paitsi yhdeltä koehenkilöltä saatiin tallennettua kuitenkin vähintään yksi maksimaalinen suoritus molempien käsien osalta. Kyseisen naiskoehenkilön kohdalla molempien käsien keskiarvotuloksena käytettiin vain oikean käden tulosta. Yhteensä hävinneitä tai analyysistä poistettuja uintisuorituksia oli seitsemän kappaletta: yksi kummastakin oikean käden maksimaalisesta suorituksesta sekä kolme ensimmäisestä ja kaksi jälkimmäisestä vasemman käden maksimaalisesta uintisuorituksesta. Näiden tulosten osalta käytettiin vain joko ensimmäistä tai jälkimmäistä maksimaalista uintisuoritusta analyysissä eikä kahden tuloksen keskiarvoa.

Jokaisesta uinnista mitattiin uintiaika laitteen puhelinsovelluksen yhteydessä olevalla manuaalisella sekuntikellolla, koska laitteen mittaamassa uintiajassa oli tutkimuksen teon aikana vielä kehitettävää. Muut muuttujat saatiin suoraan laitteen avulla. Tutkielman julkaisun aikaan laitteen mittaama uintiaika on saatu tarkemmaksi ja luotettavaksi. Samoin nykyisin pystytään käyttämään kahta laitetta samanaikaisesti eli molemmat kädet voidaan mitata samasta suorituksesta.

5.4 Tilastolliset menetelmät

Käsivedon muuttujien yhteyksiä uintiaikaan ja laitteen reliabiliteettia tutkittiin SPSS for Windows -ohjelmiston avulla (IBM SPSS Statistics 24). Reliabiliteetin mittarina pidettiin sisäkorrelaatiota (*intraclass correlation coefficient*, ICC). Se on tilastotieteessä käytetty tapa

kuvata mittarin mittaustulosten toistettavuutta. Kuten Koo ja Li (2016) artikkelissaan toteavat, sisäkorrelaatiota voidaan mitata kymmenellä eri tavalla. Mittaustapa määräytyy koeasetelman mukaan. Tässä tutkimuksessa ICC-arvon mittaamisessa käytettiin *2-way mixed-effects* -mallia ja mittaustulosten tarkastelussa käytettiin *single measurements* -arvoa. Tämän lisäksi tuloksia on syytä tarkastella Koon ja Lin (2016) mukaan 95 % luottamusvälin avulla. *Absolute agreement* -arvo tarkoittaa sitä, kuinka yhdenmukaisia tuloksia laite antaa, joten sitä käytettiin sisäkorrelaation laskemisessa.

Miesten ryhmää ja koko aineistoa tutkittaessa uintiajan yhteyttä käsivedon muuttujiin tarkasteltiin Pearsonin korrelaatiokertoimen avulla. Naisten ryhmän uintiajan yhteyttä käsivedon muuttujiin tutkittiin Spearmanin korrelaatiokertoimen avulla, sillä uintiaika, kämmenen nopeus ja käsivedon teho eivät olleet normaalisti jakautuneita. Tästä syystä myös miesten ja naisten välisiä eroja tutkittiin Mann-Whitneyn U-testin avulla. Aineiston normaalijakautuneisuutta tutkittiin Kolmogorov-Smirnov-testillä.

6 TULOKSET

6.1 Viidenkymmenen metrin vapaauintin tulokset

Taulukossa 1 on kuvattu kahden maksimaalisen viidenkymmenen metrin uintisuorituksen keskiarvotulokset koko aineistolla sekä miesten ja naisten ryhmissä.

TAULUKKO 1. Maksimaalisten viidenkymmenen metrin vapaauintin sekä antropometristen muuttujien keskiarvot ja keskihajonnat.

Sukupuoli	Mies			Nainen			Kaikki		
	Ka.	n	Sd.	Ka.	n	Sd.	Ka.	n	Sd.
Pituus (cm)	190,9	12	7,34	177,0	5	7,07	186,8	17	9,6
Paino (kg)	90,4	12	11,12	74,5	5	3,97	85,7	17	12,0
Ikä (v)	23,4	12	3,12	21,4	5	3,36	22,8	17	3,2
Siipi (cm)	195,6	12	12,21	177,6	5	6,31	190,3	17	13,6
P (W/kg)	1,68	12	0,25	1,36	5	0,14	1,59	17	0,27
P (W)	150,8	12	21,62	101,4	5	13,98	136,3	17	30,2
Strl (m)	1,08	12	0,07	1,02	5	0,07	1,06	17	0,07
Fr (1/min)	52,2	12	3,77	47,8	5	2,54	50,9	17	4,0
v_k (m/s)	3,30	12	0,24	2,84	5	0,27	3,17	17	0,32
I_{taakse} (%)	47,2	12	2,51	50,5	5	6,02	48,1	17	4,0
I (Ns)	59,4	12	10,1	50,9	5	12,27	56,9	17	11,1
F (N)	41,9	12	4,62	34,0	5	4,71	39,6	17	5,8
Aika (s)	26,27	12	1,05	29,65	5	0,83	27,26	17	1,86

Siipi (siipiväli) = matka keskisormen päästä toisen keskisormen päähän, P = teho Strl = vetopituus, Fr = frekvenssi, v_k = kämmenen nopeus, I = impulssi I_{taakse} = impulssin osuus taaksepäin, F = voima, Aika = 50 metrin uintiaika

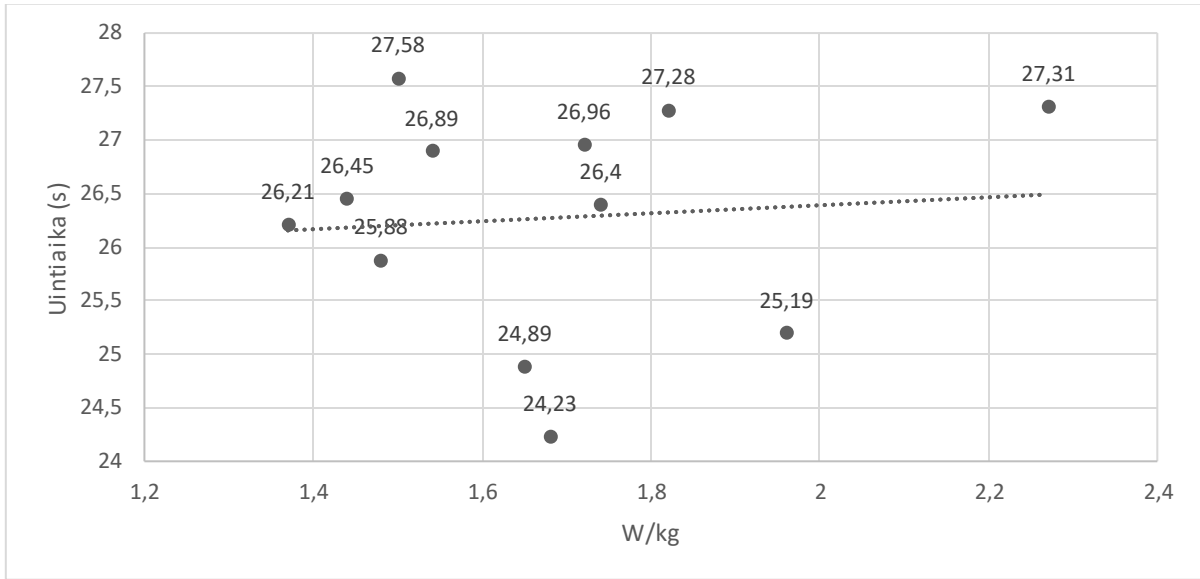
6.2 Miestenryhmän käsivedon muuttujien ja antropometrian yhteys uintiaikaan

Miesten ryhmässä yksikään muuttujista ei saavuttanut tilastollista merkitsevyyttä, mutta vetopituus, impulssi, frekvenssi, voima, pituus ja siipiväli antoivat viitteitä mahdollisesta yhteydestä. Kun frekvenssin ja vetopituuden kertoi keskenään, tulos oli tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä uintiaikaan ($p = 0,001$, $r = -0,795$). Täydellistä korrelaatiota ei todennäköisesti löytynyt ponnistuksen, liu'un ja maaliintulon vaikutuksesta uintiaikaan.

TAULUKKO 2. Käsivedon muuttujien yhteys uintiaikaan miehillä.

	Aika (s)		
	r	p	n
Aika (s)	1	>0,001	12
Voima (N)	0,282	0,187	12
Impulssi (Ns)	0,362	0,124	12
Impulssin osuus taakse (%)	0,229	0,237	12
Kämmenten nopeus (m/s)	0,025	0,469	12
Frekvenssi (1/min)	-0,308	0,165	12
Vetopituus (m)	-0,404	0,096	12
Teho (W)	0,196	0,271	12
Pituus (cm)	-0,367	0,120	12
Siipiväli (cm)	-0,314	0,160	12
Teho (W/kg)	0,098	0,381	12
Fr x strl (1/min x m)	-0,795**	0,001	12

Yksisuuntainen Pearsonin korrelaatiokerroin, merkitsevyyden raja $p \leq 0,05$.



KUVA 5. Massaan suhteutetun tehon (W/kg) ja uintiajan (s) yhteys miehillä.

Kuvassa 5 on havainnollistettu massaan suhteutetun tehon ja uintiajan yhteyden suurta vaihtelua. Massaan suhteutetun käsivedon keskimääräisen tehon ja uintiajan korrelaatio ei ollut tilastollisesti merkitsevä ($p = 0,381$), mutta tulos oli kiinnostava. Käsivedon tehossa oli suurta vaihtelua yksilöiden välillä. Samoin tuotetun tehon ja uintivauhdin välillä ei näyttänyt olevan yhteyttä.

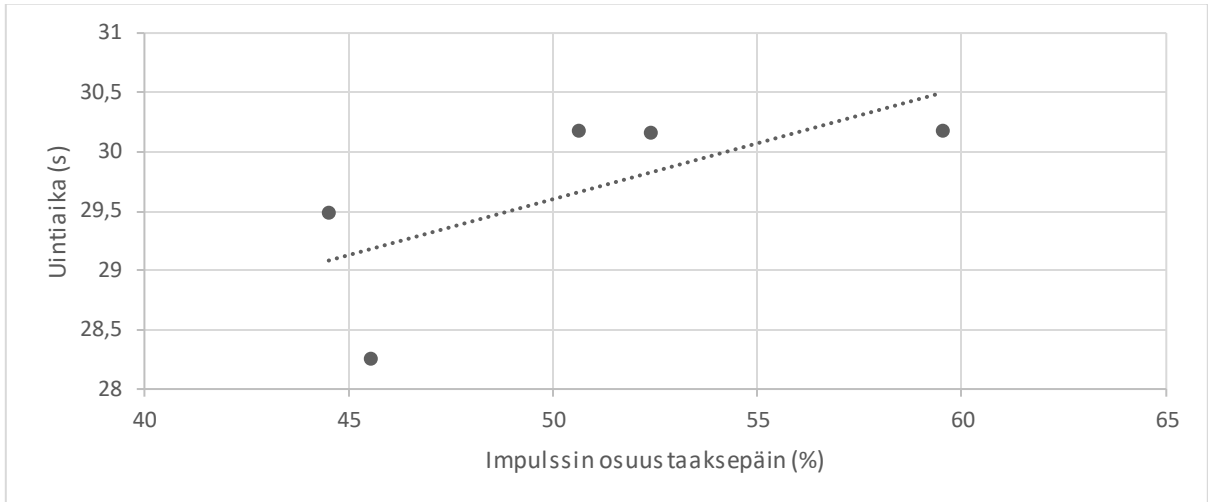
6.3 Naisten ryhmän käsivedon muuttujien ja antropometrian yhteys uintiaikaan

Naisten ryhmässä pituus ja siipiväli olivat yhteydessä uintiaikaan. Teho ja impulssin osuus taakse antoivat vahvoja viitteitä yhteydestä. Impulssin yhteys uintiaikaan oli myös suuntaa antava.

TAULUKKO 3. Naisten ryhmän muuttujien yhteys uintiaikaan.

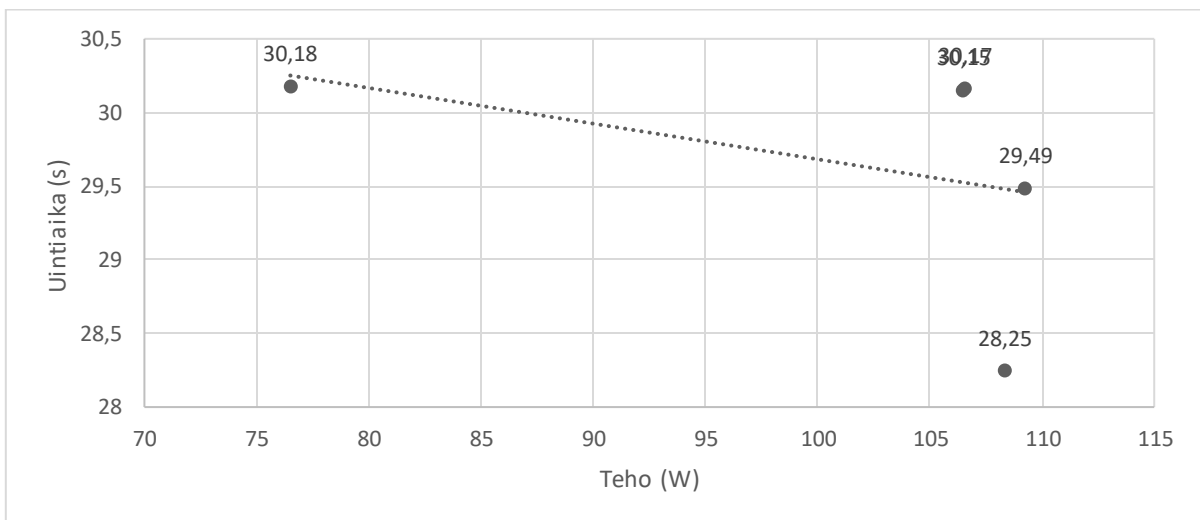
	Aika (s)		
	r	p	N
Aika (s)	1	0,000	5
Voima (N)	-0,300	0,312	5
Impulssi (Ns)	-0,700	0,094	5
Impulssin osuus taakse (%)	0,800	0,052	5
Kämmenen nopeus (m/s)	0,154	0,402	5
Frekvenssi (1/min)	0,300	0,312	5
Vetopituus (m)	-0,300	0,312	5
Teho (W)	-0,800	0,052	5
Pituus (cm)	-,900*	0,019	5
Siipiväli (cm)	-,894*	0,020	5
Teho (w/kg)	-0,600	0,142	5
Fr x strl	-0,900*	0,019	5

Yksisuuntainen Spearmanin korrelaatiokerroin, merkitsevyyden raja $p \leq 0,05$.



KUVA 6. Impulssin osuuden taaksepäin (%) ja uintiajan (s) yhteys naisilla.

Vaikkei tilastollista merkitsevyyttä (Kuva 6) aivan saavutettu ($p = 0,052$), oli tulos mielenkiintoinen. Impulssin osuus taaksepäin ei näyttänyt olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan, vaan jopa päinvastoin.



KUVA 7. Tehon ja ajan yhteys naisilla. Käsivedon tehon ja uintiajan yhteys oli suuntaa antavasti tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä uintiaikaan naisten ryhmässä ($r = -0,8$; $p = 0,052$).

6.4 Miesten ja naisten erot

Vetopituus, impulssi ja impulssin osuus taakse olivat muuttujia, joiden perusteella ei miesten ja naisten välillä tilastollisesti merkitseviä eroja löytynyt Mann-Whitneyn U -testin mukaan. Muiden muuttujien kohdalla miesten ja naisten ryhmien välillä oli selkeä ja tilastollisesti merkitsevä ero. Suurimmat erot ryhmien välillä löytyi absoluuttisen käsivedon tehon sekä uintiajan suhteen.

Mann-Whitneyn U-arvo kuvaa siis ryhmien välistä eroa. Se vertaa ryhmien välisiä tuloksia siten, että mitä pienempi luku on, sitä suurempi on ero. Suurin luku, jonka U-arvo voi saada, on ryhmien n kerrottuna keskenään ja jaettuna kahdella, eli tässä tapauksessa $(5 \times 12) / 2 = 30$. Mikäli U-arvo asettuu suunnilleen puoleen väliin pienimmän mahdollisen ja suurimman mahdollisen luvun välille, ei ryhmien välillä ole eroa.

TAULUKKO 4. Miesten ja naisten ryhmän tulosten erot Mann-Whitneyn U-testin mukaan.

	Mann-Whitney U (0-30)	p
Teho/massa (W/kg)	6	0,009
Teho (W)	0	>0,001
Vetopituus (m)	16	0,160
Frekvenssi (1/min)	8	0,019
Kämmenen nopeus (m/s)	5	0,006
Impulssi taakse (%)	19	0,279
Impulssi (Ns)	19	0,279
Voima (N)	5	0,006
Uuintaika (s)	0	>0,001

Ryhmittelevä muuttuja sukupuoli. Miesten ryhmän n = 12, naisten ryhmän n = 5, yhteensä n = 17. Merkitsevyyden p-arvon laskennassa on käytetty yksisuuntaista testausta.

6.5 Laitteen reliabiliteetti

Älylättärin reliabiliteetti eli mittaustulosten toistettavuus vaikuttaa olevan erittäin hyvällä tasolla. ICC-arvon (*intraclass correlation coefficient*, sisäkorrelaatio) ollessa yli 0,7, voidaan sanoa reliabiliteetin olevan todella hyvä. Älylättärin sisäkorrelaatio oli jokaisen muuttujan kohdalla noin 0,9.

Luottamusväli kuvaa niitä arvoja, joiden välille sisäkorrelaation arvo 95 % todennäköisyydellä osuu. Sisäkorrelaation luottamusvälin arvot ovat myös hyvin luotettavalla tasolla. Vetopituuden ja tehon suhteen luottamusvälin arvot voidaan sanoa olevan kohtalaisen ja erinomaisen välillä sekä muiden muuttujien suhteen hyvän ja erinomaisen välillä.

TAULUKKO 5. Mitattujen muuttujien sisäkorrelaatio.

	Sisäkorrelaatio	95 % luottamusväli		
		Alaraja	Yläraja	p
Voima (N)	0,908	0,747	0,968	>0,001
Impulssi (Ns)	0,938	0,826	0,979	>0,001
Impulssi taakse (%)	0,958	0,882	0,986	>0,001
Kämmenen nopeus (m/s)	0,955	0,873	0,985	>0,001
Frekvenssi (1/min)	0,891	0,714	0,961	>0,001
Vetopituus (m)	0,859	0,622	0,951	>0,001
Teho (W)	0,859	0,622	0,951	>0,001

7 POHDINTA

Päätulokset. Miesten ryhmässä ajan suhteen eniten korreloivat vetopituus ($r = -0,404$, $p = 0,096$), kehon pituus ($r = -0,367$, $p = 0,120$), impulssi ($r = 0,362$, $p = 0,124$), siipiväli ($r = -0,314$, $p = 0,160$) ja frekvenssi ($r = -0,308$, $p = 0,165$). Naisten ryhmässä eniten uintiaikaan yhteydessä olivat seuraavat muuttujat: kehon pituus ($r = -0,900$, $p = 0,019$), siipiväli ($r = -0,894$, $p = 0,020$), teho ($r = -0,800$, $p = 0,052$), impulssin osuus taaksepäin ($r = 0,800$, $p = 0,052$) ja impulssi ($r = -0,700$, $p = 0,094$). Laitteen reliabiliteetti on todella hyvä. Sisäkorrelaation (ICC) 95 % luottamusvälin mukaan voiman, impulssin, impulssin suuntautumisen taaksepäin, kämmenen nopeuden ja frekvenssin suhteen reliabiliteetti on hyvä tai erinomainen. Vetopituuden ja tehon suhteen reliabiliteetti on huonoimmillaankin kohtalainen mutta parhaimmillaan erinomainen.

Frekvenssin sekä vetopituuden ja uintiajan yhteys. Naisilla ei frekvenssin ($r = 0,3$, $p = 0,312$) eikä vetopituuden ($r = -0,3$, $p = 0,312$) suhteen yksistään tarkasteltaessa tilastollisesti merkitsevää yhteyttä uintiaikaan löytynyt. Kuten on jo mainittu, naisten ryhmän tulokseen vaikuttaa varmasti otoksen pieni koko. Voidaan myös sanoa, että vetopituus ja frekvenssi eivät yksinään ole toistaan tärkeämpiä, vaan uintinopeus muodostuu näiden kahden tulosta. Miehillä keskimääräinen frekvenssi oli 52,18 vetoparia minuutissa ja naisilla 47,78 vetoparia minuutissa. Vetopituus miehillä oli keskimäärin 1,08 metriä per käsiveto ja naisilla 1,02 metriä per käsiveto.

Myöskään miehillä uintiajan ja vetofrekvenssin välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää yhteyttä ($r = -0,308$, $p = 0,165$), kuten ei uintiajan ja vetopituudenkaan välillä ($r = -0,404$, $p = 0,096$). Molempien muuttujien yhteys uintiaikaan oli tosin suuntaa antava. Uinnin käsivedossa merkittävimpinä ja käytetyimpinä muuttujina on yleisesti pidetty vetofrekvenssiä ja vetopituutta. Frekvenssin ja vetopituuden korrelaatio miesten ryhmässä oli tilastollisesti merkitsevä ja negatiivinen ($r = -0,616$, $p = 0,033$). Toisin sanoen: mitä isompi vetopituus sitä pienempi vetofrekvenssi. Tämä viittaa siihen, että uimarin tulee löytää oikea suhde frekvenssin ja vetopituuden välillä, eräänlainen kompromissi, joka on todennäköisesti hyvin yksilöllinen muuttuja. Onkin loogista, että yksistään tarkasteltaessa kummankaan muuttujan suhteen ei

vahvaa korrelaatiota löytnyt. Vetopituus näytti tosin olevan hieman enemmän yhteydessä nopeaan uintiaikaan kuin vetofrekvenssi.

Graigin ja Pendergastin (1979) tutkimuksessa havaittiin frekvenssin kasvattamisella olevan uintinopeutta lisäävä vaikutus kurvilineaarisesti tiettyyn arvoon asti, kunnes edelleen frekvenssiä lisättäessä nopeus lähti laskemaan. Tämä kertoisi siitä, että tällöin vetopituuden ja frekvenssin tulo alkoi pienemään, eli lisättäessä frekvenssiä tietyn pisteen yli vetopituus alkoi laskea huomattavasti. Kunkin uimarin tulee todennäköisesti löytää yksilöllinen ja omalle keholleen sopiva uintityyli ja tapa, jolla nopeutta pystyy nostamaan. Tässäkin tutkimuksessa uintinopeutta tuotettiin hyvin erilaisilla strategioilla yksilöstä riippuen (LIITE). Miesten ryhmässä uimarin pituus ja vetopituus korreloivat tilastollisesti merkittävästi keskenään ($p = 0,040$, $r = 0,598$), mutta siipivälin ja vetopituuden yhteys oli vain suuntaa antava ($p = 0,129$, $r = 0,463$). Korrelaatio pituuden ja vetopituuden välillä kohtuullisen vahva, eli voidaan olettaa pidemmän uimarin uivan pääsääntöisesti pidemmällä vetopituudella. Frekvenssin ja antropometristen muuttujien välillä ei kuitenkaan löytnyt korrelaatiota. Täten lyhyemmällä ja pidemmällä uimareilla ei ollut tilastollisesti merkitsevää eroa siinä, kuinka suurella frekvenssillä he uivat. Naisten ryhmässä sekä pituus että siipiväli eivät saavuttaneet tilastollisesti merkitsevää yhteyttä vetopituuden eikä frekvenssin suhteen.

Impulssi ja uintiaika. Impulssin ja uintiajan välistä yhteyttä tarkasteltaessa naisten ryhmässä oli viitteitä siihen, että suurempi käsivedon impulssi olisi yhteydessä nopeampaan uintiaikaan ($r = -0,70$, $p = 0,094$). Miesten ryhmässä yhteyttä ei havaittu ($r = 0,362$, $p = 0,124$). Aikaisemmissa tutkimuksissa suurempi impulssi on ollut yhteydessä nopeampaan uintiaikaan, kun vastustetussa uinnissa mitattua käsivedon impulssia on tutkittu suhteessa viidenkymmenen metrin uintiaikaan (Loturco ym. 2015, Morouco ym. 2014).

Moroucon ym. (2014) tutkimuksessa havaittu keskimääräinen impulssi oli lisäksi jonkin verran suurempi, kuin tässä tutkimuksessa miesten ryhmässä havaitut arvot (78,3 Ns vs. 59,35 Ns), vaikka kyseessä olivat heikommat uimarit (518 FINA-pistettä vs. 649 FINA-pistettä) Eroon vaikuttaa osaltaan potkujen osuus, joka sisältyi Moroucon ym. tuloksiin, mutta todennäköisesti myös tutkimustapa. On loogista, että vastustetussa uinnissa saavutetaan suurempi

keskimääräinen impulssi, koska vedon propulsiivisten vaiheiden aika kasvaa verrattaessa normaaliin uintiin, kuten edellä mainittiin.

Impulssin osuus taaksepäin ja uintiaika. Uintimaailmassa on pitkään keskusteltu, tulisiko uimarin pyrkiä mahdollisimman ”suoraan” käsivetoon vai tulisiko voimaa pyrkiä tuottamaan kaarevilla pyyhkäisyillä. Tässä tutkimuksessa ei tilastollisesti merkittävää yhteyttä havaittu käsivedon impulssin suuntautumisen ja nopean uintiajan suhteen. Tämä ei tukenut hypoteesia, jonka mukaan taaksepäin suuntautuneen impulssin osuus olisi ollut yhteydessä nopeampaan uintiaikaan. Naisilla havaittiin jopa viitteitä siihen, että suurempi taaksepäin suuntautunut impulssi olisi ollut yhteydessä huonompaan uintiaikaan ($r = 0,80$, $p = 0,052$). Tässä tosin yksi poikkeava havainto saattoi vaikuttaa tulokseen huomattavasti (impulssin osuus taaksepäin 59,51 %) ottaen huomioon vielä naisten ryhmän pienen koon. Kun analyysin teki ilman kyseistä poikkeavaa tapausta, oli tosin edelleen viitteitä siihen, että taaksepäin suuntautunut impulssi olisi yhteydessä huonompaan uintiaikaan ($r = 0,60$, $p = 0,200$). Impulssin osuus taaksepäin vaihteli miehillä noin 44–50 % välillä. Naisilla oli taipumusta hieman suurempiin lukemiin. Miesten keskiarvo oli 47,15 % ja naisten 50,50 %. Voidaankin sanoa, että uimarin käsivedon liikerata on hyvin yksilöllinen ja oikeaa vastausta siihen, tulisiko voimaa pyrkiä tietoisesti suuntaamaan suoraan taaksepäin vai ei, on hankala sanoa.

Täytyy tosin huomioida, että tässä tutkimuksessa käsivedon impulssin suuntautumisen osuutta taaksepäin tutkittiin keskiarvoina. Mahdollisesti huomattavasti arvokkaampaa tietoa olisi voitu saada tutkimalla sitä, missä vaiheessa käsivetoa voima suuntautuu taaksepäin (horisontaalisesti), sivusuuntaan (lateraalisesti), alaspäin tai ylöspäin (vertikaalisesti), ja onko sillä merkitystä. Laitteen avulla saadaan tietoa siitä, missä vaiheessa käsivetoa ajallisesti kämmenen paine on suurimmillaan, alla olevien esimerkkikuvien mukaisesti (KUVA 7 ja KUVA 8). Haasteena tämän ilmiön tutkimisessa on se, kuinka tarkasti käsivedon vaiheet voidaan määrittää laitteen avulla, eli käytännössä kämmenen orientaation mukaan. Kuten kuvista 7 ja 8 näkee, käsivedon vaiheiden määrittäminen kämmenen asennon perusteella voi olla haastavaa. Kuvassa 7 kämmenen asento muuttuu ulospäin-suunnasta sisäänpäin-suuntaan vasta myöhäisessä vaiheessa käsivetoa, kun taas kuvassa 8 kämmenen asennon muutos tapahtuu aikaisemmin. Käsivedon vaiheiden täsmällinen määrittäminen olisi saattanut vaatia samanaikaisen videoanalyysimenetelmän käyttöä.



KUVA 7. Esimerkki käsivedon voimasta ja voiman eri komponenteista. Kuvassa nähdään, kuinka kämmenen suunta vaihtuu sisäänpäin vasta myöhäisessä vaiheessa käsivetoa (kohdassa *pull*). Vihreä = horisontaalisuunta, keltainen = lateraalisuunta, punainen = vertikaalisuunta.



KUVA 8. Esimerkki voiman eri komponenteista käsivedon eri vaiheessa, kun kämmenen suunta vaihtuu sisäänpäin aikaisemmassa vaiheessa (kohdassa *pull*). Vihreä = horisontaalisuunta, keltainen = lateraalisuunta, punainen = vertikaalisuunta.

Koska käsivedon resultanttivoima on vastusvoimien (*drag forces*) ja nostevoimien (*lift forces*) summa (Maglischo 2003, 18–35), on loogista, että impulssin suuntautuminen taaksepäin ei ollut yhteydessä uintiaikaan. Todennäköisesti vedon keskivaiheilla vastusvoimat ovat tärkeämmässä osassa ja vedon loppuvaiheessa nostevoimien osuus on suurempi, kuten Gourgoulis y m. (2015) havaitsivat. Tämän vuoksi tutkimuksessa olisi ollut tarkoituksenmukaisempaa tutkia sitä, missä vaiheessa käsivetoa impulssin suuntautumisella on merkitystä.

Käsivedon teho ja uintiaika. Miesten ryhmässä käsivedon absoluuttisella sekä kehon massaan suhteutetulla teholla ei ollut tilastollisesti merkitsevää yhteyttä uintiajan kanssa ($r = 0,196$, $p = 0,271$ ja $r = 0,098$, $p = 0,381$). Naisilla käsivedon absoluuttisen tehon ja uintiajan yhteys saavutti lähes tilastollisesti merkitsevän yhteyden ($r = -0,8$, $p = 0,052$). Suuri käsivedon absoluuttinen teho näytti olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan. Massa suhteutettuna korrelaation merkitsevyys sekä vahvuus pienenevät ($r = -0,6$, $p = 0,142$), mutta myös tällöin oli viitteitä siitä, että suurempi teho olisi yhteydessä nopeampaan uintiaikaan.

Tämä oli mielenkiintoinen tutkimustulos. Mahdollinen selitys naisten ryhmässä havaitulle yhteydelle voi olla ryhmän pieni koko. Kuitenkin voidaan myös pohtia sitä, onko naisilla käsivedon teho tärkeämmässä roolissa kuin miehillä. Uinnissa tuotetut voimat ovat suhteellisen pieniä verrattuina muihin lajeihin, koska veden viskoelastinen luonne asettaa haasteita suurelle voimantuotolle. Voikin olla, että fyysisesti luontaisesti vahvemmat miehet saavuttavat helpommin huippu-uinnissa riittävät voimatasot ja erottava tekijä on se, kuinka tehokkaasti voima saadaan suunnattua eteenpäin vievään liikkeeseen. Naisten kohdalla taas voi olla mahdollista, että parempi fysiikka ja voimatasot näkyvät itsessään selvemmin parantuneena uintisuorituksena.

Antropometria ja uintiaika. Miesten ryhmässä sekä pituuden ($r = -0,367$, $p = 0,120$) että siipivälin ($r = -0,314$, $p = 0,160$) yhteys uintiaikaan oli suuntaa antava. Täten oli taipumusta siihen, että pidemmällä ja pidempiraajaisilla uimareilla uintiaika oli pienempi. Korrelaatio ei ollut kuitenkaan kovin vahva. Naisilla taas molemmat muuttujat olivat tilastollisesti merkitsevästi yhteydessä uintiaikaan ($r = -0,900$, $p = 0,019$ ja $r = -0,894$, $p = 0,020$). Tähän tulokseen vaikutti varmasti ryhmän pieni koko ja jakauma nopeimman uimarin ollessa selkeästi

pisin ja hitaimman uimarin ollessa selkeästi lyhyin. Voidaan kuitenkin sanoa, että sprinttivapaauintissa pituus ja siipiväli näyttäisivät olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan.

Tulevaisuudessa olisi hyvä tutkia myös sitä, kuinka kämmenen koko vaikuttaa uimarin käsivedon eri muuttujiin. Tässä tutkimuksessa käytetty laite mittaa painetta oletettuun 100 cm² pinta-alaan perustuen (10 x 10 cm). Suurempi kämmenen pinta-ala on todennäköisesti yhteydessä suurempaan voimantuottoon. Esimerkiksi Gourgoulis ym. (2008) tutkimuksessa suurempi kämmenen pinta-ala oli yhteydessä suurempaan voimantuottoon sekä pienempään kämmenen nopeuteen. Suuri käsivedon voima saavutetaankin todennäköisesti suuren vetopinta-alan sekä kämmenen nopeuden yhdistelmästä.

Voima ja uintiaika. Nopean viidenkymmenen metrin ja käsivedon voiman välillä ei havaittu tilastollisesti merkittävää yhteyttä niin miesten kuin naistenkaan ryhmässä. Tämä tulos ei tue aikaisempia tutkimuksia, jotka ovat tutkineet vastustetussa uinnissa tuotettua käsivedon voimaa ja sen yhteyttä uintiaikaan. Näissä tutkimuksissa käsivedon voima ja uintiaika ovat korreloineet keskenään. Loturcon ym. (2015) ja M oroucon ym. (2014) tutkimuksissa vastustetussa uinnissa saavutettu huippuvoima ja keskimääräinen voima olivat yhteydessä viidenkymmenen metrin uintiaikaan ja Santosin ym. (2016) tutkimuksessa vastustetun uinnin huippuvoima oli yhteydessä kahdensadan metrin uintivauhtiin, mutta keskimääräinen voima ei. Vastustetussa uinnissa mitattuja käsivedon kinemaattisia muuttujia ei tosin välttämättä ole hedelmällistä verrata normaaliin uintiin. Älylätärin etuna on, että sillä pystytään mittaamaan käsivedon voimaa normaalissa uinnissa, jossa uimari liikkuu eteenpäin, eikä ole paikallaan. Maglischo ym. (1984) havaitsivat vastustetussa uinnissa käsivedon kinematiikan muuttuvan: vedon kokonaisaika kasvoi ja vedon propulsiivisten vaiheiden suhteellinen osuus kasvoi sekä kämmenen nopeus näissä vaiheissa oli hitaampaa. Samoin Gourgoulisin ym. (2010) tutkimuksessa vastustetussa uinnissa käsivedon propulsiivisten vaiheiden suhteellinen kesto kasvoi verrattaessa uintiin ilman vastusta. Voi siis olla, että anturiteknologian avulla voidaankin tulevaisuudessa saada tarkempaa tietoa voimantuotosta normaalien uinnin aikana. Tämä tutkielma antaa viitteitä siihen, että selkeää yhteyttä ei välttämättä tällöin löydy.

Kämmenen nopeus ja uintiaika. Kämmenen nopeuden ja uintiajan välillä ei löytynyt tilastollisesti merkitsevää yhteyttä kummassakaan ryhmässä. Voikin olla, että kämmenen

nopeudella itsessään ei ole suurta merkitystä. Uimarin kämmenen nopeus voi olla hyvinkin suuri, mutta veto voi mennä ”läpi” vedestä, eli kämmenen nopeudella on todennäköisesti merkitystä vain silloin, kun myös paine saadaan säilytettyä vedossa. Laite mittasi myös siihen kohdistuvaa voimaa, joten voiman ja nopeuden tulosta saatavan tehon olisi voinut olettaa olevan yhteydessä nopeaan uintiaikaan. Näin ei kuitenkaan ollut.

Kämmenen nopeutta tutkittiin kämmenen keskiarvonopeutena käsivedon vedenalaisen vaiheen aikana. Seuraavissa tutkimuksissa olisikin ehkä tärkeämpää tutkia kämmenen nopeutta vedon eri vaiheissa ja kuinka kämmenen nopeus muuttuu käsivedon aikana. Kiihtyvyyttä tutkimalla olisi voitu saada parempaa tietoa kämmenen nopeuden ja uintiajan yhteyksistä. Kuten Gourgoulis ym. (2015) havaitsivat, on kämmenen nopeudella merkitystä käsivedon voimantuotossa ja uimarin tulisi todennäköisesti pyrkiä kiihdyttämään kämmentänsä käsivedon loppua kohden.

Laitteen reliabiliteetti. Laitteen mittaustulosten toistettavuus vaikuttaisi olevan 95 % luottamusvälillä hyvästä erinomaiseen voiman, impulssin, impulssin suuntautumisen taaksepäin, kämmenen nopeuden ja frekvenssin suhteen sekä kohtuullisesta erinomaiseen vetopituuden ja tehon suhteen. Tulkinta perustuu Koon ja Lin (2016) katsausartikkelissaan esittämiin perusteluihin siitä, kuinka ICC-arvoa tulisi tulkita. Tämän tutkimuksen perusteella 95 % luottamusväliä tarkasteltaessa voima, impulssi, impulssin suuntautuminen taaksepäin, kämmenen nopeus ja frekvenssi olivat muuttujia, jotka laite mittaa siis huonoimmillaankin hyvällä toistettavuudella ja vetopituutta ja tehoa kohtuullisella toistettavuudella. Parhaimmillaan laitteen toistettavuus on kaikkien muuttujien suhteen erinomainen. Tähän tulokseen vaikuttivat varmasti osaltaan myös koeasetelman heikkoudet, kuten se, kuinka samankaltaisen uinnin uimari pystyy toistamaan kahdenkymmenen minuutin palautuksen ollessa välissä. Voidaan olettaa, että jokainen uinti eroaa aina jonkin verran toisistaan ja täten reliabiliteetin ICC-arvot olisivat voineet olla vieläkin korkeammat. Laitteen reliabiliteetin voidaan sanoa olevan todella hyvä.

Laitteen validiteetti. Validiteetin arviointi on tämän tutkimuksen perusteella hankalampaa. Koska toista samankaltaista laitetta ei ole olemassa eikä kirjallisuudesta löydy sopivaa vertailtavaa tietoa, vaatii validiteetin arviointi lisätutkimusta. Kuitenkin voidaan olettaa, että

ainakin kiihtyvyyssanturi, magnetometri sekä gyroskooppi mittaavat haluttua asiaa luotettavasti. Täten kämmenen nopeuden, kiihtyvyyden, liikeradan ja orientaation tulokset pitänevät paikkansa, jos laskennassa ei virheitä ole. Mittaustilanteen vakiointi onkin todennäköisesti suurempi virheen aiheuttaja kuin mittari itsessään. Paineanturin heikkoutena on tällä hetkellä se, että laite olettaa kämmenen pinta-alaksi 100 cm^2 . Kuitenkin uimareiden kämmenien pinta-alassa saattaa olla suuriakin eroja. Olisikin hyvä, jos laitteeseen voitaisiin syöttää mitattu kämmenen pinta-alan arvo, joka otettaisiin huomioon laskennassa.

Laskenta-algoritmien tarkoitus on pyrkiä tasoittamaan mittauksessa mahdollisesti tapahtuvia virheitä. Haasteena on saada erityisesti kämmenen nopeuden, liikeradan ja paikan mittaaminen validiksi. Tämä johtuu siitä, että kyseiset muuttujat lasketaan epäsuorasti kiihtyvyyssanturin ja gyroskoopin datan perusteella. Kämmenen orientaatio saadaan suurimmalla tarkkuudella, mutta kämmenen nopeus ja paikka joudutaan laskemaan muiden muuttujien perusteella, jolloin virheen mahdollisuus kasvaa. Tämä tosin näkyisi todennäköisesti myös reliabiliteetin arvoissa, jotka olivat hyviä. Käsivedon syklistä luonteesta johtuen voidaan laskennassa tehdä oletuksia, jotka tasoittavat mahdollisia mittausrvirheitä ja keskiarvotulokset ovatkin hyvin luotettavia. Koska tämän tutkimuksen perusteella reliabiliteetti oli kaikkien muuttujien suhteen hyvä, voidaan käsivetojen keskiarvon olettaa olevan myös luotettavalla tasolla

Suurimpana haasteena laitteen datan keräämisessä ovat rajapinnat veden ja ilman välillä, eli vetojen alku- ja loppukohtien tunnistaminen oikein. Lyhyeltä matkalta mitattuna ongelma korostuu. Tämän takia tässä tutkimuksessa uintiaika mitattiinkin erikseen sekuntikellolla, eikä käytetty laitteen antamaa tulosta. Vetojen alku- ja loppukohtien tunnistamisen haasteet näkyivätkin todennäköisesti myös reliabiliteetin arvoissa, koska kyseinen ongelma vaikuttaa käsivedon nopeuden ja tehon laskemiseen epäluotettavuutta lisäävästi. Tehon suhteen reliabiliteetin sisäkorrelaation arvot olivatkin muihin muuttujiin verraten pienemmät. Kämmenen nopeuden suhteen sisäkorrelaation arvot olivat tosin hyvin korkeat. Ehkä kämmenen nopeuden laskemisessa algoritmi korjaa virhettä riittävästi. Tehon laskemisessa otetaan huomioon sekä kämmenen nopeus että paineanturin mittaama voima. Tällöin eri mittareiden pienet virheet saattavat kertautua, jolloin tämä näkyi myös käsivedon tehon mittauksen hieman muita muuttujia huonommassa reliabiliteetissa. Voimamittauksen reliabiliteetti oli tosin hyvällä tasolla. Tämä on loogista, koska voiman mittaaminen

paineanturin perusteella on suora mittaus, eikä siihen vaikuta esimerkiksi edellä mainittu vedon alku- ja loppukohtien tunnistaminen. Siihen tosin vaikuttaa kämmenen pinta-alan oletaminen vakioksi sekä se, että veden syvyyden aiheuttama hydrostaattinen paine tuo virhettä. Nyt kämmenen syvyys vaikuttaa mittaustulokseen voimaa lisäävästi. Haluttu mittaustulos olisi vain käsivedon tuottama dynaaminen paine. Uudessa laiteversiossa tämä asia on saatu tosin jo korjattua ja uusi laite pystyykin mittaamaan vain käsivedon dynaamista painetta.

Mahdolliset muut virhelähteet. Anturin aiheuttama veden virtauksen muutos kämmenen alueella oli mahdollisesti häiritsevä tekijä osalle koehenkilöistä. Anturin käyttö saattoi jonkin verran muuttaa täten uimarin normaalia käsivetoa, vaikka uimareita ohjeistettiin uimaan mahdollisimman normaalisti. Mielenkiintoinen havainto oli, että useimmat koehenkilöistä tunsivat anturin häiritsevän enemmän, kun testi tehtiin ei-dominoivalla kädellä. Kuitenkin kaikki koehenkilöt olivat sitä mieltä, että anturi ei häirinnyt uintia käytännössä lainkaan, etenkin suurilla uintinopeuksilla.

Mittaustilanteet eivät olleet täysin vakioita jokaiselle koehenkilölle. Uintisuoritukset tehtiin yleisessä uimahallissa, ja osa koehenkilöistä pääsi uimaan testin kokonaan omalla radalla, mutta osa testeistä jouduttiin tekemään niin, että radalla oli myös muita uimareita. Vastään uivien uimareiden aiheuttama veden virtaus ja aaltojen muodostus saattoivat joissain tapauksissa vaikuttaa hieman tuloksiin. Kuitenkin edellä mainittujen seikkojen vaikutus on todennäköisesti hyvin pieni.

Huolimatta huolellisesta datan läpikäymisestä, saattoi analyysiin päätyä mahdollisesti vääristyneitä tuloksia. Tämä on kuitenkin hyvin epätodennäköistä. Pieni osa vääristyneistä tuloksista, jotka johtuivat internet-yhteyden katkeamisesta tai anturin väärin tulkitsemasta altaan pituudesta, poistettiin analyysistä.

Uintiajan mittaaminen suoritettiin manuaalisella sekuntikellolla, joten uintiaikaan on hyvä suhtautua pienellä varauksella. Mittaaja oli tottunut käyttämään sekuntikelloa uintiajan mittaamisessa, ja sama henkilö suoritti jokaisen mittauksen. Täten suuria virheitä ei uintiajankaan suhteen todennäköisesti ollut.

Uintisuuritukset tehtiin päädyistä ponnistamalla, jotta starttihypyn vaikutus uintiaikaan saatiin poistettua. Kuitenkin koehenkilö sai potkia normaalisti uinnin aikana, jotta uintitekniikka olisi mahdollisimman normaali. Potkujen vaikutusta uintiaikaan ei huomioitu ja tämä vaikuttaa uintiajan ja käsivedon muuttujien korrelaatioon. Kuten aikaisemmat tutkimukset osoittavat, on käsiveto suurimmassa roolissa uinnin eteenpäin vievissä voimissa (Watkins & Gordon 1983, Maglischon 2003 mukaan, Gourgoulis ym. 2014), mutta yksilölliset erot voivat olla suuria (Hollander ym. 1988, Maglischon 2003 mukaan).

Suurin mahdollinen analyysiin ja tulosten tulkintaan vaikuttava virhelähde oli todennäköisesti otosten jakaumat. Miesten ryhmä oli normaalisti jakautunut ja suhteellisen suuri, mutta naisten ryhmä ei. Lisäksi huolimatta normaalisti jakautuneesta ja hyvän kokoisesta miesten ryhmästä, oli otos kerätty vain yhden kaupungin ja kahden uimaseuran sisältä. Mahdolliset harjoittelussa toteutettavat periaatteet erityisesti tekniikan opettamisen suhteen voivat vaikuttaa tutkimuksen tuloksiin. Tuloksia ei olekaan välttämättä mielekästä yleistää koskemaan koko Suomen kyseisen ikäisiä ja tasoisia uimareita, mutta viitteitä tämä tutkimus toki antaa.

Laitteen reliabiliteetin tutkimisessa mahdollisena virhelähteenä voidaan pitää sitä, kuinka vakioidun uinnin uimari pystyy tekemään kahdenkymmenen minuutin palautuksella. Ajallisesti uimari pystyi toistamaan suorituksensa, mutta todennäköisesti jokainen suoritus on kuitenkin aina hieman toistaan erilainen. Myös koetilanteeseen mahdollisesti vaikuttavat ulkopuoliset tekijät, kuten vastaan uiva uimari, saattaa sisäkorrelaation mittaamisessa käytettyihin tuloksiin hieman vaikuttaa. Tämän takia laitteen toistettavuuden arvioinnissa käytetyt sisäkorrelaation (ICC) arvot voivat todellisuudessa olla jopa hieman suuremmat, kuin tässä tutkimuksessa mitatut, jo nyt hyvin korkeat arvot.

Käytännön sovellutukset ja johtopäätökset. Laite tarjoaa helppokäyttöisen ja luotettavan tavan mitata uinnin käsivedon eri muuttujia, jotka ovat ennen vaatineet työlään videoanalyysin käyttämistä. Täten laitteesta saatava hyöty käytännön valmennuksen kannalta on suuri. Yhtenä haasteena anturiteknologian käyttämisessä voidaan edelleen pitää tulosten tulkinnan haastavuutta ja laitevalmistajien tuleekin varmasti tulevaisuudessa panostaa siihen, jotta teknologian avulla saatava informaatio hyödyttäisi käytännön valmennustyötä parhaalla mahdollisella tavalla. Voidaan kuitenkin sanoa, että jo nykyisellä tasollaan laite auttaa suuresti uimaria ja valmentajaa ymmärtämään uimarin käsivedon tekniikkaa nopeasti, helposti ja luotettavasti. Asiantuntevassa tutkimus- ja valmennustyössä laite voikin tuoda aivan uudenlaista näkemystä koko ajan kovaa vauhtia parantuvaan uintitekniikan ymmärtämiseen.

Tässä tutkimuksessa mikään yksittäinen tekijä ei ollut vahvasti yhteydessä uintiaikaan ja voidaankin todeta uimarin käsivedon koostuvan monen eri asian summasta. Jatkossa olisi tärkeä tutkia sitä, kuinka käsivedon muuttujat vaikuttavat toisiinsa ja onko tällöin löydettävissä yhteyttä uintiaikaan. Myös käsivedon ajalliset muuttujat, eli esimerkiksi missä käsivedon kohdassa voimaa tuotetaan, olisivat hyvä jatkotutkimuksen aihe. On myös selvää, että yksistään uimaria eteenpäin vievät voimat eivät selitä nopeaa uintiaikaa: myös uimaria vastustavat voimat ovat suuressa roolissa. Voidaankin kai sanoa, että nopea uimari osaa tehdä näiden kahden voiman erotuksesta mahdollisimman suuren tavalla, joka on kullekin uimarille yksilöllinen.

LÄHTEET

- Bilinauskaite M., Mantha R. V., Rouboa A. I., Ziliukas P. & Silva A. J. 2013. Computational Fluid Dynamics Study of Swimmer's Hand Velocity, Orientation, and Shape: Contributions to Hydrodynamics. *Biomed Research International*, Article id 140487.
- Bixler, B. & Scott R. 2002. Analysis of a swimmer's hand and arm in steady flow conditions using computational fluid dynamics. *Journal of biomechanics*, 35 (5), 713–717.
- Callaway, A. J., Andrew, J., Cobb, J. E. & Jones, I. 2009. A comparison of video and accelerometer based approaches applied to performance monitoring in swimming. *International journal of sports science & coaching*, 4 (1), 139–153.
- Chakravorti, N., Le Sage, T., Slawson, S., Conway, P. & West, A. 2013. Design & implementation of an integrated performance monitoring tool for swimming to extract stroke information at real time. *IEEE transactions of human-machine systems*, 43, 199–213.
- Dominguez-Castells, R., Izquierdo, M. & Arellano, R. 2013. An updated protocol to assess arm swimming power in front crawl. *International journal of sports medicine*, 34 (4), 324–329.
- Fulton, S. K., Pyne, D. B. & Burkett, B. 2009. Quantifying freestyle kick-count and kick-rate patterns in paralympic swimming. *Journal of sport sciences*, 27, 1455–1461.
- Geladas, N. D., Nassis G. P. & Pavlicevic S. 2005. Somatic and physical traits affecting sprint swimming performance in young swimmers. *International journal of sports medicine*, 26 (2), 139–144.
- Gourgoulis V., Aggeloussis N., Vezos N., Kasimatis P., Antoniou P. & Mavromatis G. 2008. Estimation of hand forces and propelling efficiency during front crawl swimming with hand paddles. *Journal of biomechanics*, 41 (1), 208–215.
- Gourgoulis, V., Antoniou, P., Aggeloussis, N., Mavridis, G., Kasimatis, P., Vezos, N., Boli, A. & Mavromatis, G. 2010. Kinematic characteristics of the stroke and orientation of the hand during front crawl resisted swimming. *Journal of sports sciences*, 28 (11), 1165–1173.
- Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Antoniou, P., Toubekis, A. & Mavromatis, G. 2015. The influence of the hand's acceleration and the relative contribution of drag and lift forces in front crawl swimming. *Journal of sports sciences* 33 (7), 696–712.

- Gourgoulis, V., Boli, A., Aggeloussis, N., Toubekis, A. & Argyris, A. 2014. The effect of leg kick on sprint front crawl swimming. *Journal of sports sciences*, 32 (3), 278–289.
- Graig A. B. & Pendergast D. R. 1979. Relationships of stroke rate, distance per stroke, and velocity in competitive swimming. *Medicine and science in sports*, 11 (3), 278–283.
- Koo, T. K., & Li, M. Y. 2016. A Guideline of selecting and reporting intraclass correlation coefficients for reliability research. *Journal of chiropractic medicine*, 15 (2), 155–163.
- Loturco, I., Barbosa, A. C., Nocentini, R. K., Pereira, L. A., Kobal, R., Kitamura, K., Abad, C., Figueiredo, P. & Nakamura, F. Y. 2015. A correlational analysis of tethered swimming, swim sprint performance and dry-land power assessments. *International journal of sports medicine*, 37 (3), 211–218.
- Lätt E., Jürimäe J., Mäestu J., Purge P., Rämson R., Haljaste K., Keskinen K. L., Rodriguez F. A. & Jürimäe T. 2010. Physiological, biomechanical and anthropometrical predictors of sprint swimming performance in adolescent swimmers. *Journal of sports science and medicine*, 9, 398–404.
- Magalhaes, F. A. D. , Vannozzi, G., Gatta, G. & Fantozzi, S. 2015. Wearable inertial sensors in swimming motion analysis: A systematic review. *Journal of sports sciences*, 33 (7), 732–745.
- Maglischo E, W. 2003. *Swimming fastest*. Champaign, IL. Human kinetics.
- Maglischo, C., Maglischo, E., Sharp, R., Zier, D., & Katz, A. 1984. Tethered and nontethered crawl swimming. In: *Proceedings of ISBS—Sports biomechanics*. J. Terauds, K. Barthels, E. Kreighbaum, R. Mann, & J. Crakes, eds. Del Mar, CA: Academic publication, 163–176.
- Mooney, R., Corley, G., Gavin, G., Godfrey, A., Quinlan, L. R. & Ólaighin, G. 2016. Inertial sensor technology for elite swimming performance analysis: A systematic review. *Sensors (Basel, Switzerland)* 16 (1), 18.
- Morouço P. G., Marinho D. A., Keskinen K. L., Badillo J. J. & Marques M. C. 2014. Tethered swimming can be used to evaluate force contribution for short-distance swimming performance. *Journal of strength and conditioning research*, 28 (11), 3093–3099.
- Moura T., Costa M., Oliveira S., Júnior Marcos B., Ritti-Dias R. & Santos M. 2014. Height and body composition determine arm propulsive force in youth swimmers independent of a maturation stage. *Journal of human kinetics*, 42(1), 277–284.

- Nasirzade, A., Ehsanbakhsh A., Argavani H., Sobhkhiz A. & Aliakbari M. 2014. Selected anthropometrical, muscular architecture, and biomechanical variables as predictors of 50-m performance of front crawl swimming in young male swimmers. *Science & sports in press*, 29 (5) 75–81.
- Phillips, C. W. G., Forrester, A. I. J., Hudson, D. A. & Turnock, S. R. 2014. Comparison of kinematic acquisition methods for musculoskeletal analysis of underwater flykick. *Procedia engineering*, 72, 56–61.
- Santos, B. K., Bento, B., Paulo, C., Pereira, F. G., Rodacki, F. & André L. 2016. The relationship between propulsive force in tethered swimming and 200-m front crawl performance. *Journal of strength and conditioning research*, 30 (9), 2500–2507.
- Seifert, L., L'Hermette, M., Komar, J., Orth, D., Mell, F.; Merriaux, P., Grenet, P., Caritu, rY., Hérault, R., Dovgalecs, V. & Davids, K. 2014. Pattern recognition in cyclic and discrete skills performance from inertial measurement units. *Procedia engineering*, 72, 196–201.
- Zampagni, M. L., Casino, D., Benelli, P., Visani, A., Marcacci, M. & De Vito, G. 2008. Anthropometric and strength variables to predict freestyle performance times in elite master swimmers. *Journal of strength and conditioning research*, 22 (4), 1298–1307.

LIITE. Koehenkilöiden 50 metrin vapaauintin tulokset ja antropometriset muuttujat.

ID	t (s)	f (n)	I (ns)	I _{taakse} (%)	v _k (m/s)	fr (1/min)	strl (m)	P (W)	h (cm)	m (kg)	h _s (cm)	P (W/kg)
1	24,23	44,35	62,57	46,77	3,35	54,59	1,19	161,19	208	96	223	1,68
2	27,28	39,92	49,07	47,67	3,55	57,37	0,96	153,22	177	84	174	1,82
3	26,96	45,72	63,7	49,34	3,32	53,3	1,03	158,51	196	92	206,5	1,72
4	27,58	47,69	75,91	46,54	3,42	50,36	1,11	175,51	196	117	203	1,50
5	26,40	42,43	64,69	48,08	3,25	46,03	1,19	146,31	187	84	185,5	1,74
6	28,25	37,78	63,62	45,53	2,67	48,72	1,04	108,31	188	73	184	1,48
7	26,89	39,74	61,68	47,91	2,94	45,67	1,10	130,76	191	85	195,5	1,54
8	24,89	40,22	48,51	49,75	3,08	57,98	1,02	135,74	187	82,5	190,5	1,65
9	30,17	38,37	56,27	50,62	2,67	44,13	1,09	106,55	176	76	179	1,40
10	27,31	50,6	72,36	51,36	3,41	53,09	1,03	188,81	189	83	196	2,27
11	26,21	38,42	55,83	43,02	3,53	52,35	1,09	146,25	191	107	195,5	1,37
12	29,49	31,57	53,07	44,51	3,31	46,24	1,06	109,24	179	79	179	1,38
13	25,88	34,34	40,51	47,41	3,14	50,24	1,12	122,53	188	83	187,5	1,48
14	25,19	42,44	62,1	43,8	3,7	53,06	1,09	172,13	188	88	190	1,96
15	30,18	27,07	30,74	59,51	2,83	50,21	0,90	76,50	170	68,5	167	1,12
16	30,15	35,23	50,88	52,36	2,75	49,6	1,00	106,47	172	76	179	1,40
17	26,45	37,06	55,31	44,12	2,97	52,09	1,09	119,33	193	83	200,5	1,44
ka.	27,26	39,58	56,87	48,13	3,17	50,88	1,06	136,32	186,83	85,72	190,33	1,59