

**DELFIINIPOTKUN SYKLIMUUTTUJEN EROT VAPAAUINNIN JA SELKÄ-
UINNIN STARTIN JA SEINÄSTÄ PÖNNISTUKSEN JÄLKEEN**

Noora Sartela

Biomekaniikan Pro-gradu tutkielma
Liikuntatieteellinen tiedekunta
Jyväskylän Yliopisto
Syksy 2017
Ohjaaja: Janne Avela

TIIVISTELMÄ

Noora Sartela (2017). Delfiininpotkun syklimuuttujien erot vapaauinnin ja selkäuinnin startin ja seinästä ponnistuksen jälkeen. Liikuntatieteellinen tiedekunta, liikuntabiologia, biomekaniikan maisterin tutkielma s. 45.

Kilpauinnissa, kuten muissakin urheilulajeissa suoritusten analysointi on tärkeässä roolissa urheilijan kehityksessä. 1980 Olympialaisissa selkäuimarit alkoivat tehdä pidempiä vedenalaisia delfiininpotkuja ja huomattiin että nämä uimarit olivat nopeampia. Tämän tutkimuksen tarkoituksena oli selvittää delfiininpotkuun vaikuttavia biomekaanisia tekijöitä ja niiden eroja selällään ja vatsallaan tehtyinä startin ja ponnistuksen jälkeen.

Yhdeksän nuorta mieskilpauimaria osallistui tutkimukseen (ikä: $17,56 \pm 1,24$ v, pituus: $182,11 \pm 6,75$ cm, paino: $74,54 \pm 7,01$ kg). Maksimaalisia delfiininpotkuja tehtiin 15 metriä neljällä eri tyylillä: vapaauinninstartista (vust), vapaauinnin / vatsalleen ponnistuksesta (vudelf), selkäuinninstartista (sust) ja selkäuinnin / selällään ponnistuksesta (sudelf). Suoritukset kuvattiin valmiilla kamera-asettelulla Impivaaran uimahallissa Turussa. Videokuva-analyysillä määritettiin delfiininpotkujen frekvenssi, amplitudi, suorituksen nopeus, yhdellä potkulla edetty matka ja polvi- sekä lonkkakulmat.

Startilla tehtyjen mittausten potkufrekvenssi oli merkitsevästi ($p \leq 0,006$) suurempi (vust = $2,32 \pm 0,23$, sust = $2,3 \pm 0,19$), kuin ponnistuksesta (vudelf = $2,08 \pm 0,28$, sudelf = $2,09 \pm 0,15$) tehtyjen. Vapaa-uinnin delfiininpotkujen amplitudit olivat suuremmat (vust = 37 ± 3 cm, vudelf = 41 ± 3 cm), kuin selällään tehtyjen (sust = 32 ± 5 cm, sudelf = 37 ± 3 cm). Merkitsevä ero ($p = 0,002$) amplitudeissa oli ponnistuksen jälkeisissä suorituksissa (vudelf/sudelf). Nopeus oli suurimmillaan vapaauinninstartin jälkeen ($1,61 \pm 0,12$ m/s, $p \leq 0,006$). St-luku määrittää potkun propulsiota ja tehoa, ja oli sust = $0,48 \pm 0,07$; vust = $0,54 \pm 0,04$; sudelf = $0,52 \pm 0,06$; vudelf = $0,56 \pm 0,06$.

Tulokset vastaavat osittain aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja tuloksia. Tuloksista huomattiin, että frekvenssin ja nopeuden välillä on korrelaatiota, kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu. Suurimmat uimarin etenemisnopeuteen vaikuttavat muuttujat ovat potkun frekvenssi ja amplitudi. Selällään ja vatsallaan tehdyt potkut erosivat toisistaan mm. amplitudiltaan ja vartalonkäytöltä. Vatsallaan tehtyinä potkujen amplitudi oli laajempi ja keskivartalon liike oli pienempi.

Uintivalmennuksessa tulisi huomioida delfiininpotkun frekvenssin ja amplitudin harjoittelu erillisinä harjoitteina. Frekvenssin tiheys korreloi nopeuden kanssa, joten kilpailuissa frekvenssiin keskittyminen on tärkeämpää. Harjoittelussa tulisi kuitenkin pyrkiä laajentamaan potkun amplitudia ilman suuria muutoksia frekvenssissä.

Avain sanat: delfiininpotku, biomekaniikka, amplitudi, frekvenssi, nopeus, uintivalmennus

SISÄLLYS

TIIVISTELMÄ

SISÄLLYS

1 JOHDANTO	1
2 KILPAUINTI.....	3
2.1 Startti	3
2.2 Käännökset	5
3 DELFIINIPOTKU	7
3.1 Delfiinipotkun biomekaniikka	10
4 VIDEOANALYYSIEN TEKEMINEN UINNISSA	17
4.1 Miten tutkitaan?	17
4.2 Markkerit	19
4.3 Mitä tutkitaan?	20
5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT.....	22
6 MENETELMÄT	23
6.1 Koehenkilöt	23
6.2 Tutkimusasetelma ja aineiston keräys	23
6.3 Aineiston analysointi	27
7 TULOKSET.....	28
8 POHDINTA.....	36
9 JOHTOPÄÄTÖKSET	41
LÄHTEET	42

1 JOHDANTO

Ihmistä ei ole luotu liikkumaan vedessä toisin kuin esimerkiksi kalat. Tästä huolimatta kilpauinti on yksi kilpailluimmista urheilulajeista maailmassa. Uinti pääpiirteissään on hyvin koordinoitujen raajojen ja kehon liikkeiden yhteistyötä, siten että ihminen etenee vedessä mahdollisimman nopeasti ja tehokkaasti. Uintinopeus koostuu pääpiirteissään vetopituudesta ja vetotiheydestä ja on maksimissaan noin 2,3 m/s miehillä (Maglischo 2003, s. 42). Veden alla liukuasennossa delfiinipotkuja tehdessään uimari voi saavuttaa jopa noin 3 m/s nopeuden (Burkett ym. 2010). Uinti on yksi vaikeimmin tutkittavia urheilulajeja. Nykyään analyysien tekeminen on helpottunut vedenpitävien laitteiden kehittymisen myötä. On muun muassa mahdollista määrittää jokaisesta uintityylistä raajojen koordinoitumista suhteessa toisiinsa. Esimerkiksi voidaan selvittää käsivetojen ajoittumista suhteessa toisiinsa vapaa- ja selkäuinnissa tai käsivetojen ja potkun ajoittumista perhos- ja rintauinnissa. (Barbosa ym. 2013). Tärkeimpiä uintitutkimuksen tehtäviä on selvittää 1) miten minimoida veden vastus, 2) maksimoidaan eteenpäin työntävä voima (propulsio) ja 3) vähennetään energian kulutusta (Sanders 2002; Cohen ym. 2011).

Kilpauinnissa, kuten muissakin urheilulajeissa suoritusten analysointi on tärkeässä roolissa urheilijan kehityksessä. Erityisesti kilpailuanalyysijä tehtäessä videoanalyysistä on tullut erittäin tärkeä työkalu uimareille ja valmentajille, sekä urheilututkijoille, välinevalmistajille ja medialle. Idea kilpailuanalyysien tekemisestä uinnissa syntyi ennen 1980-lukua, mutta vasta 1989 Bonnin Euroopan mestaruuskisoissa analyysien tekemisestä tuli kansainvälistä. (Smith ym. 2002).

1980 Olympialaisissa selkäuimarit alkoivat tehdä pidempiä vedenalaisia delfiinipotkuja ja huomattiin että nämä uimarit olivat nopeampia. Nopeasti tyyli levisi myös perho- ja vapaauintiin. Tämä sallittiin kunnes kansainvälinen uimaliitto FINA (Federation Internationale de Natation) kielsi uimareita sukeltamasta yli 15 metrin matkaa startin ja käännösten jälkeen. Veden alla tehtävät delfiinipotkut ovat nopein tapa ihmiselle liikkua vedessä (Cohen ym. 2011), joten tyyli antoi näille uimareille edun kilpailtaessa aikaa vastaan. (Hochstein & Blickhan 2011). Nykyään tärkeänä osana uintia pidetään vedenalaisia vaiheita startin ja käännösten jälkeen. Vaikka kilpailusäännöt rajoittavatkin veden alla tehtävien delfiinipotkujen pituutta hyötyvät huiput silti niistä etenkin lyhyellä 25 metrin altaalla uitaessa. (Alerrano ym. 2002). Veden alla

uimarin on omaksuttava hyvä liukuasento kädet ylös venytettyinä ja kämmenet päällekkäin mahdollisimman hydrodynaamisen asennon saavuttaakseen. Liukuasento vähentää huomattavasti pään ja hartioiden aiheuttamaa muotovastusta (Marinho ym. 2009). Tutkimuksessaan he vertailivat kahdessa eri asennossa; kädet ylhäällä liukuasentoon venytettyinä sekä kädet alhaalla kyljissä, tehtyjä liukuja. Vedenvastus liukuasennossa kädet ylhäälle venytettyinä oli noin puolet siitä mitä se oli kädet kyljissä tehdyissä liukuissa. (Marinho ym. 2009).

Tämän tutkimuksen tarkoitus oli selvittää, delfiinipotkuun vaikuttavien muuttujien eroja, kun koehenkilöt tekivät potkuja selällään ja vatsallaan startin ja ponnistuksen jälkeen. Lisäksi tarkoitus oli vertailla tähän tutkimukseen osallistuneiden nuorten miesten tuloksia ja aikaisempaa tutkimusaineistoa, sekä selvittää, mitkä osa-alueet ovat vahvoja jo nuorempana ja mitkä vaativat enemmän hiomista matkalla kohti maailman huippua.

2 KILPAUINTI

Uinti tyylejä on neljä: perhosuinti, selkäuinti, rintauinti ja vapaauinti. Lajit ovat kehittyneet pitkälti kokeilun kautta. Esimerkiksi perhosuinti kehittyi rintauinnista omaksi lajikseen, kun uimarit keksivät palauttaa kätensä vedenpinnan yläpuolelta ja 1955 alettiin käyttää delfiinipotkua, jolloin perhosuinti erotettiin rintauinnista kokonaan (Maglischo 2003, s. 145).

Uinnin biomekaaniset ja fysiologiset vaatimukset vaihtelevat uintityylin ja matkan pituuden mukaan. Lyhyillä sprinttimatkoilla korostuvat startin ja maaliintulon tärkeys kun taas pidemmillä matkoilla itse uinti ja sen taloudellisuus ovat tärkeimpiä tekijöitä. (Colvin 2002, s. 168–180). Kilpauinnissa ylävartalon voima korreloi hyvin uintinopeuden kanssa. Uitaessa uimarin tulee voittaa vedenvastus päästäkseen etenemään. Mitä nopeammin uimari ui, sitä suuremmaksi vedenvastus kasvaa. (Barbosa ym. 2013). Kilpauinti vaatii sekä hyvää ja taloudellista uintitekniikkaa että mahdollisimman tehokasta voiman välittymistä lihaksista niin että uimari etenee vedessä mahdollisimman nopeasti. Voimantuoton ja / tai tekniikan taloudellisuuden merkitys eri kilpailumatkoilla vaihtelee ja uinti onkin vaihtokauppaa näiden kahden välillä. (Hochstein & Blickhan 2011). Seuraavaksi käsitelen lähemmin uinnin startteja ja käännöksiä, sillä delfiinipotku on olennainen osa uinnin käännöksiä ja startteja.

2.1 Startti

Startin ja käännösten jälkeen on sallittua tehdä delfiinipotkuja veden alla viiteentoista metriin asti. Pään on tultava pintaan viidentoista metrin kohdalla, muutoin uimarin suoritus hylätään. Delfiinipotku veden alla on nopein tapa liikkua vedessä ja sääntö rajaa sukeltamisen pois kilpauinnista. Delfiinipotkuja liu’uissa tehdään perhosuinnissa, selkäuinnissa ja vapaauinnissa. (Maglischo 2003 s. 286–292.) Rintauinnissa on oma vedenalainen liukuvaihe, minkä aikana on sallittua tehdä yksi delfiinipotku, rintauinnin pitkä veto ja rintauinnin potku (Colvin 2002 s. 71). Näiden jälkeen uimarin on tultava pintaan ja aloitettava rintauinti (Maglischo 2003 s. 286–292).

Selkäuinnin startti tapahtuu vedestä. Uimarin jalkojen tulee olla seinässä ja käsillä otetaan kiinni starttikorokkeen kahvoista (uimaliitto.fi, fina.org). Kahvoissa on erilaisia otteita, joten uimarin on mahdollista ottaa kiinni haluamaltaan korkeudelta ja haluamallaan otteella (Magli-

scho 2003 s. 185–186). Lisäksi selkäuinnin startin onnistumiseksi on nykyään käytössä lähtöavustin (Kuva 1), joka varmistaa etteivät uimarin jalat lipeä seinästä (iccm mediasport.com). Startissa uimari ponnistaa voimakkaasti jaloilla seinästä ylös- ja taaksepäin samalla irrottaen kätensä ja heittää ne taaksepäin. Mahdollisimman korkean lentokaaren saavuttaakseen uimari nostaa lantiotaan ylös, kääntää päätä taakse päin ja kurkottaa käsiään eteen ja alaspäin. Veteen meno pyritään tekemään mahdollisimman pienestä ”reiästä”. (Maglischo 2003 s. 265–315.)

Kaikissa muissa uintilajeissa startti tapahtuu starttikorokkeelta (Kuva 1). Lähtöasennossa molempien jalkojen on oltava korokkeella ja käsillä otetaan kiinni korokkeen etureunasta. (uima-liitto.fi, fina.org). Nykyään suositaan niin sanottua track starttia eli pikajuoksulähtöä korokkeen takaosassa olevan tuen ansiosta (Kuva 1) (Maglischo 2003 s. 273–276). Asento on eteen taivutettu, painopiste mahdollisimman lähellä lähtökorokkeen etureunaa. Startissa uimari työntää käsillään itseään eteenpäin ja siirtää kehon painopistettä korokkeen etupuolelle. Kädet heilautetaan eteen ja jaloilla ponnistetaan voimakkaasti eteen ja ylöspäin. Uimari taittaa itseään lentoradan korkeimmalla kohdalla lantiosta siten, että veteen meno asento on olisi mahdollisimman virtaviivainen ja vedenpinta rikkoutuisi mahdollisimman vähän. Vedessä liukuasento ojennetaan vedenpinnan suuntaiseksi. (Maglischo 2003 s. 265–315.)



KUVA 1. OSB11 lähtökoroke, takaosan tuki ja selkäuinnin startti avustin. (iccmidi-
asport.com)

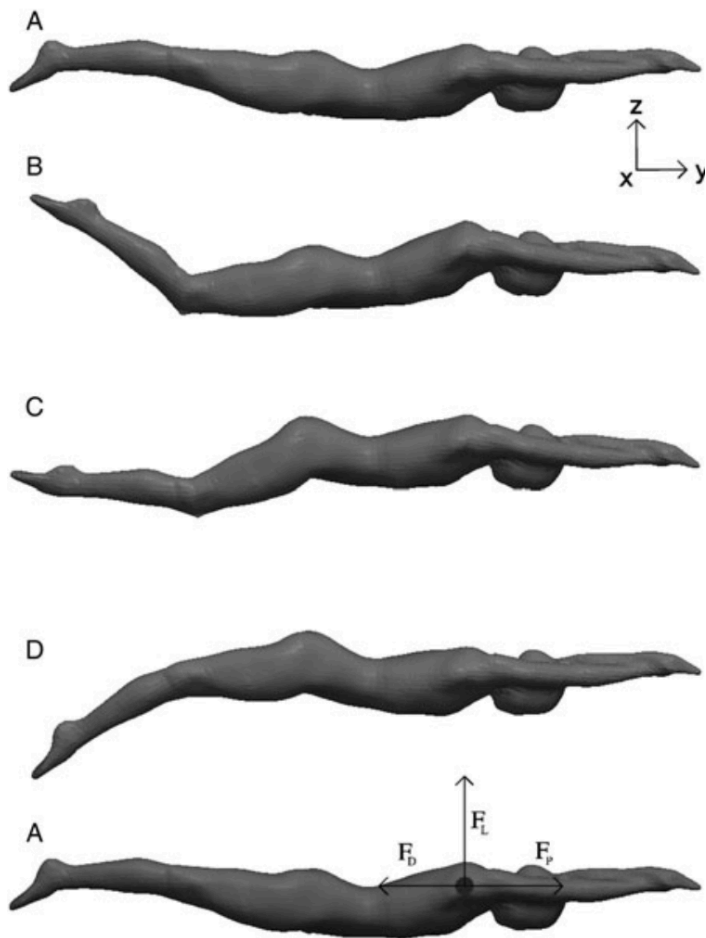
2.2 Käännökset

Käännöksillä on suuri merkitys uinnissa. Uintimatkan kasvaessa ja etenkin lyhyellä radalla (25m) uitaessa käännösten merkitys korostuu. Eri uintityyleillä on omat käännöksensä. Vapauinnissa ainoa sääntö käännöksessä on, että jonkun kehon osan on koskettava seinään. Samoin selkäuinnissa jonkin osan on koskettava seinään ja uimari saa kääntyä vatsalleen ennen käännöstä yhden käsivedon ajaksi. (uimaliitto.fi, fina.org.) Molemmissa lajeissa suositetaan niin sanottua voltti käännöstä, jossa uimari tekee kuperkeikan ja ponnistaa jaloilla itsensä liukuasentoon irti seinästä (Maglischo 2003, s. 287 & 294, Colvin 2002 s. 64–66). Rintauinnissa ja perhosuinnissa säännöt käännösten suhteen ovat tarkempia. Molempien käsien on koskettava seinään käännöksissä yhtä aikaa ja vierekkäin (uimaliitto.fi, fina.org). Käännös on yleensä niin sanottu kylkikäännös, jossa uimari vetää jalat koukkuun vartalon alle ja työntää itsensä ympäri käsillään ponnistaen lopuksi molemmilla jaloilla seinästä (Maglischo 2003, s. 302).

Liuku käännöksen jälkeen tehdään noin 0,5 metrin syvyydessä, jolloin vedenpinnan aaltovastus on mahdollisimman pieni, mutta uimarin ei kuitenkaan tarvitse tehdä kovin suurta suunnan muutosta pintautuakseen ja aloittaakseen uinnin (Lyttle ym. 1998).

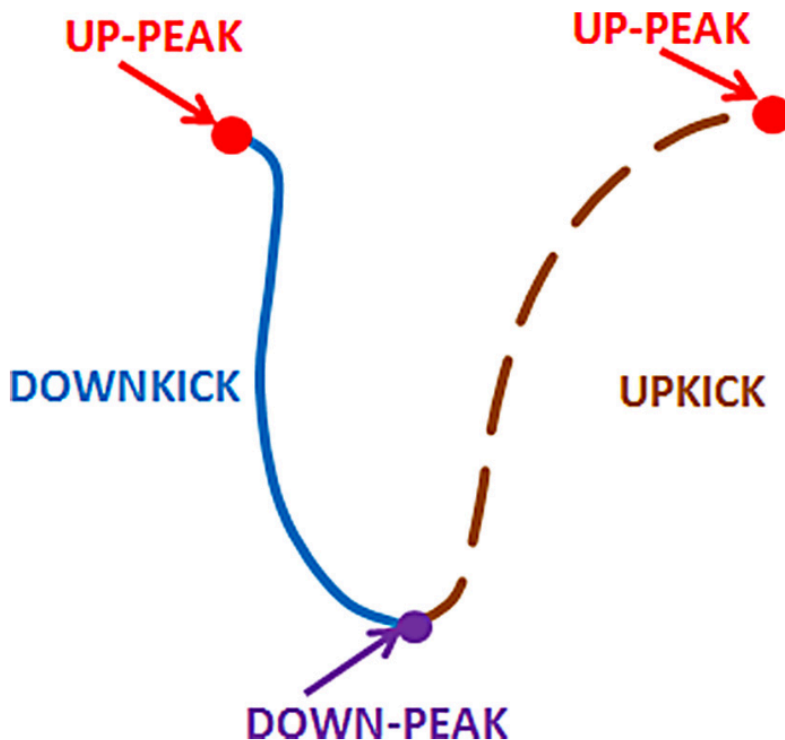
3 DELFIINIPOTKU

Delfiinipotkua käytetään kolmessa neljästä kilpailutilajista aina startin ja käännösten jälkeen, jolloin huiput tekevät potkuja keskimäärin noin 5–8 (Pacholak ym. 2014). Lisäksi perhosuinnissa käytettävä potku on delfiinipotku. Sen kinematiikka eroaa hieman veden alla tehdyistä potkuista, sillä osa potkusta tehdään vedenpinnan päällä potkun tapahtuessa ihan pinnassa. (Atkinson ym. 2014). Suuri osa tutkimuksista, jotka käsittelevät delfiinipotkua vertaavat ihmisten ja vedessä elävien nisäkkäiden, sekä kalojen potkua toisiinsa. Tuoreimmissa tutkimuksissa kilpauinnin delfiinipotkua on tutkittu yksinään ja sen mekaniikkaa on pyritty selvittämään. (Connaboy ym. 2009). Delfiinipotku on siniaallon tyyppinen vertikaalisuuntainen kehon ja jalkojen liike (Kuva 2). ”Aaltoliike” kasvaa varpaisiin edetessä ja ylävartalon tulisikin olla melko paikoillaan. (Loebbecke ym. 2008). Potku on syklinen liike jalkaterien saavuttaessa vertikaalisen maksimi ja minimikohdan vuoronperään. Kehon aaltoliikkeen kasvaessa kohti jalkateriä se muuttuu piiskamaiseksi voiman välittyessä keskivartalosta jalkateriin. (Atkinson ym 2014).

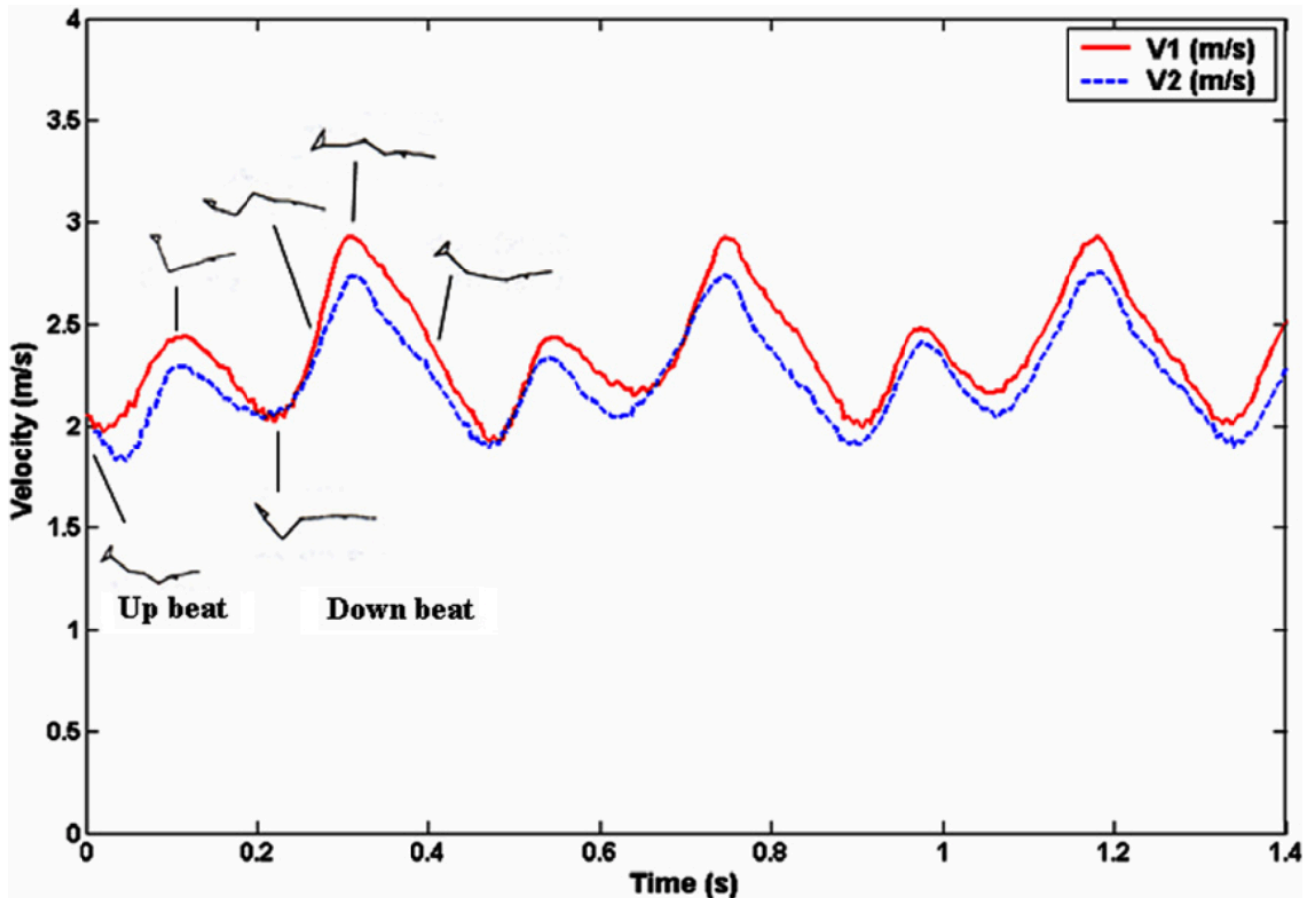


KUVA 2. Delfiinipotku (Pacholak ym. 2014).

Delfiinipotku jaetaan yleensä kahteen osaan, alaspotkuun ja ylöspotkuun (kuva 3). Vatsallaan tehtynä alaspotku on liike jossa jalat lähtevät potkun ylimmästä kohdasta ja päätyvät alimpaan kohtaan, jolloin lantiossa on pieni kulma ja polvet ovat ojennettuina. Ylöspotkussa jalat lähtevät potkun alimmasta kohdasta päätyen ylimpään kohtaan, jolloin lantio on ojennettuna ja polvet sopivasti koukistuneina. (Atkinson ym. 2014). Uimarit käyttävät enemmän aikaa ylöspotkuun, kuin alaspotkuun ja ylöspotku onkin mielletty potkun palautus vaiheeksi (Atkinson ym. 2014). Myös Guillaumen ym. (2007) monoräpylöillä (pyrstömäinen iso räpylä, missä molemmat jalat yhdessä kiinni) tehdyssä tutkimuksessa alaspotkuvaihe oli tehokkaampi ja tuotti piikin uimarin etenemisnopeudessa (kuva 4). Kuitenkin nopeammat uimarit näyttäsivät käyttävän molempiin vaiheisiin lähes yhtä paljon aikaa, kun taas hitaammilla menee suhteellisen paljon kauemmin ylöspotkuun kuin alaspotkuun. Atkinson ym. (2014) ehdottaakin, että potkun erivaiheisiin käytetty aika on tärkeä potkutehon mittari. Arellano ym. (2002) jakoivat delfiinipotkun poikkeuksellisesti kolmeen vaiheeseen omassa tutkimuksessaan. He jakoivat ylöspotkun kahteen vaiheeseen, vertikaaliseen ja horisontaaliseen. Vertikaalinen vaihe seuraa ensimmäisenä alaspotkua suuntautuen alhaalta ylöspäin polvien ollessa toistaiseksi suorina, kun taas horisontaalinen vaihe, joka tulee vertikaalisen jälkeen suuntautuu enemmän kohti uimarin keskivartaloa polvien koukistumisen myötä. Alaspotku oli heidänkin mukaansa potkun tehokkain vaihe ja toinen tehopiikki osuu ylöspotkun vaiheiden väliin. (Arellano ym. 2002).



KUVA 3. Varpaiden liikerata delfiinipotkun aikana. (Atkinson ym. 2014)



KUVA 4. Monoräpylällä tehdyssä tutkimuksessa alaspotkuvaihe tuotti suuremman etenemisnopeuden kuin ylöspotku. (Guillaume ym. 2007)

Suurin ero ihmisen ja kalojen potkussa on nimenomaan potkun symmetrisyydessä. Ihmisen rakenne on epäedullisempi delfiinipotkujen tehokkuudelle. Taipuvia niveliä on vähemmän, sekä niiden liike laajuudet ovat rajallisempia (Loebbecke ym. 2008). Lisäksi jalkaterien rakenne ei ole optimaalinen verrattuna kalojen pyrstön muotoon (Atkinson ym. 2014). Tämä rajoittaa erityisesti ylöspotkun tehokkuutta. Potkun symmetrisyys johtaa tasaisempaan potkun propulsioon ja nopeampaan vauhtiin, toisin kuin epäsymmetrisen potkun, jonka toinen vaihe on propulsiota tuottava ja toinen vastustava vaihe. (Atkinson ym. 2014). Toisaalta uimarit, jotka pystyvät yliojentamaan polvensa saattavat hyötyä siitä nimenomaan ylöspotku vaiheessa. Yliojennus auttaa ylläpitämään propulsiota, jolloin vauhti säilyy. (Atkinson ym. 2014; Loebbecke ym. 2008.) Nilkanliikkuvuus ja nilkanlihasten voima on myös tärkeä osa potkua. Hyvin jäykkiä nilkkoja on vaikea saada oikeaan asentoon ja potkun rentous häviää. Nilkan dorsaali fleksoreitten voimantuotolla näyttäisi olevan suurempi merkitys potkun tehokkuudelle kuin plantaari fleksoreitten voimantuotolla. Tämän mahdollisesti sen takia että alaspotkuvaihe on tutkitusti tehokkaampi potkuvaihe, kuin ylöspotku. Lisäksi nilkan liikkuvuus vaikut-

taa polvikulmaan. Taipuisimmat nilkat vähentävät tarvetta tehdä laajaa liikettä polvinivelistä, jolloin uintiasento pysyy virtaviivaisempana. (Willems ym. 2014).

Cohen ym. (2011) tutkivat uimareiden delfiinipotkun vaiheita, niiden tehokkuutta, amplitudia, frekvenssiä, nopeutta ja vedenvastusta. Heidän tutkimuksensa osoitti myös, että alaspotku on tehokkaampi propulsiion tuotossa kuin ylöspotku ja täten tärkeämpi tekijä uimarin etenemisnopeudelle. Huomiota tulisi ylös- ja alaspotkun vaiheiden lisäksi kiinnittää näiden vaiheiden vaihtumiseen eli potkun amplitudin ääripäihin, jolloin liikettä tapahtuu vähemmän ja vedenvastus on suurimmillaan, raajojen ollessa kaukana kehon keskilinjasta. Potkujen nopeutta kiihdyttävä voima on aina pienimmillään juuri ennen potkun alkua kun taas alaspotkun aikana voima on suurimmillaan. Lisäksi tutkimuksessa todettiin potkufrekvenssin korreloivan uimarin nopeuden kanssa starttien ja käännösten jälkeen. (Cohen ym. 2011). Shimojo ym. (2014) tutkivat myös potkufrekvenssiä ja tekivät kaksi sitä koskevaa löytöä. Kun uimarin potkufrekvenssi hidastui hidastui myös uimarin nopeus, mutta frekvenssin kiihdyttäminen taas ei johtanut nopeampaan etenemiseen. Tulokset kertovat potkun amplitudin muutoksista. Kun potkufrekvenssiä kiihdytetään tippuu potkun amplitudi, mikä heikentää potkutehoa eikä etenemisnopeus kasva. Frekvenssiä pudotettaessa uimarin tulisi kasvattaa amplitudia, mihin tarvitaan enemmän lihasvoimaa ja samalla vedenvastus kasvaa kun uimarin keskilinjan ulkopuolinen pinta-ala kasvaa potkun ääripäissä. (Shimojo ym. 2014).

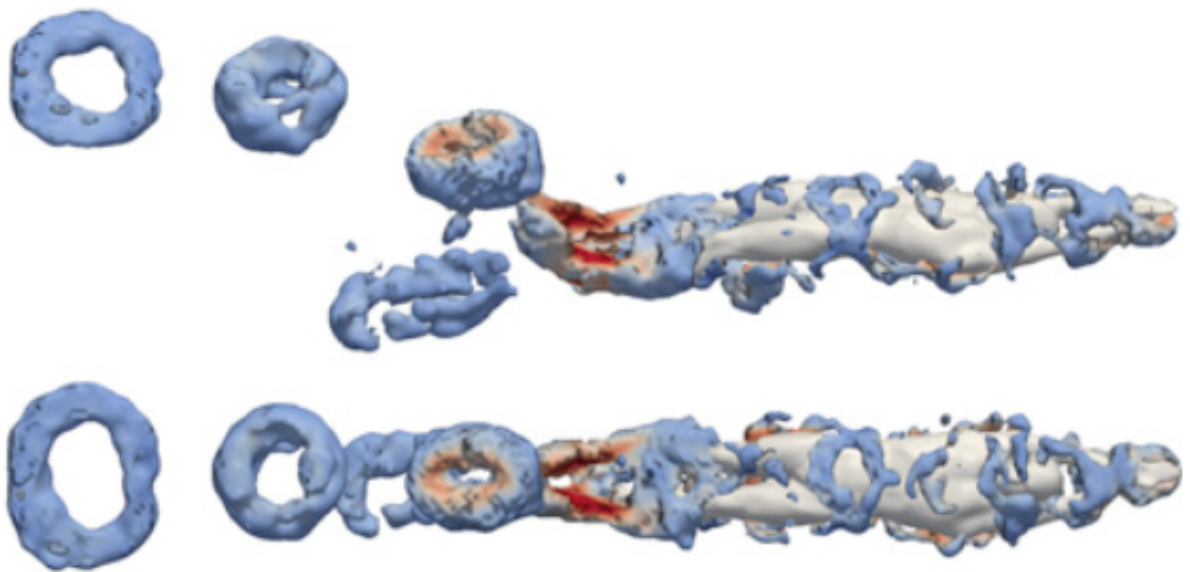
3.1 Delfiinipotkun biomekaniikkaa

Uimarin etenemisnopeuteen vaikuttavat delfiinipotkun amplitudi, frekvenssi, potkun teho, vedenvastus, kehon muoto ja pituus sekä potkun suunta. Pehdystyn näihin erikseen yksityiskohtaisemmin.

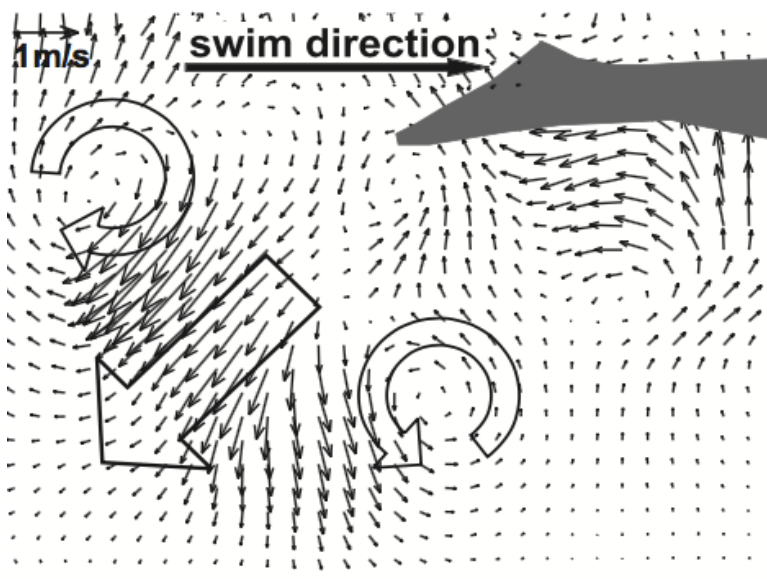
Propulsio

Veden alla liikkuminen eteenpäin on mahdollista työntövoiman eli propulsiion ansiosta (Connaboy ym. 2009). Työntövoima syntyy voimamomentista, jonka uimari tuottaa vettä vastaan (Atkinson ym. 2014). Propulsio syntyy uimarin ”työntäessä” itseään eteenpäin vedessä, jolloin veden liikkeet muodostavat koko kehonmatkalta pyörteitä eli vortekseja, jotka etenevät vastakkaiseen suuntaan uimarin etenemisen kanssa (Kuva 5). Vorteksit muodostuvat uimarin iholla, ihon ja veden välisestä kitkasta. Lisäksi jalkaterät muodostavat vortekseja potkun ääri-

päissä. Nämä pyörteet ovat eri suuntaisia, kuin kehon muodostamat pyörteet ja johtuvat veden liikkeistä sen pyrkiessä tasaamaan painetta suuremmasta paineesta pienempään (Kuva 6) (Hochstein & Blickhan 2011; Pacholak ym. 2014). Ensimmäisen kerran vortekseja tutki Rosen (1959). Hän sai vorteksit ”näkyään” maidon avulla vedessä. Maito erottui vedestä ja ”piirsi” pyörteitä kalan pyrstöliikkeiden seurauksena. (Rosen 1959 Arellano ym. 2002 mukaan.) Propulsion työntövoima syntyy siis näiden pyörteiden liikkeestä uimarin tuottaman voiman välittyessä vorteksien kautta ympäröivään veteen. Vorteksit ovatkin kineettisen energian silmännähtävä muoto (Arellano ym. 1999). Uimarin etenemisnopeus on aina hitaampi ja vastakkaisuuntainen kuin uimarin tuottamien vorteksin nopeus. (Connaboy ym. 2009, Arellano ym. 1999).

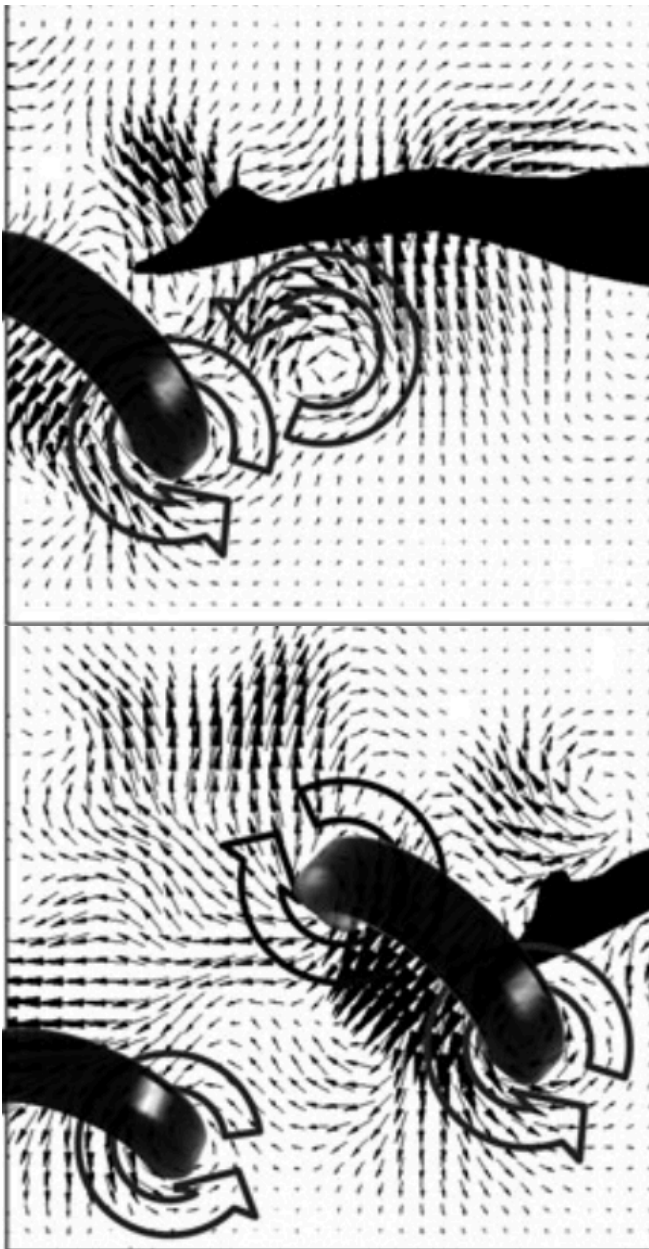


KUVA 5. Vortexin muodostuminen uimarin ympärille (Cohen ym. 2011).



KUVA 6. Vortexien muodostuminen alaspotkun lopussa (Hochstein & Blickhan 2011).

Pacholak ym. (2014) tutkivat tietokonemallinnuksen avulla vorteksien syntyä tarkemmin ja huomasivat, että tehokkain propulsiivinen vaihe saavutetaan yleensä vasta kuudennen delfiinipotkun jälkeen, jolloin propulsiivinen voima vakioitui. Seinästä ponnistuksen jälkeen potkujen 2–6 aikana propulsiossa huomattiin noin 8% paraneminen. Tämä johtuu siitä että kehon ympärille muodostuvien vorteksien täydellinen muodostuminen vie aikaa muutaman potkusyklin. Kun kehon vorteksit ja jalkaterien muodostamat vorteksit ”törmäävät” ja yhdistyvät kineettisen energian määrää kasvaa parantaen propulsiota hetkellisesti (Kuva 7) (Pacholak ym. 2014).



KUVA 7. Vorteksien yhdistyminen (Pacholak ym. 2014).

Loebbecke ym. (2008) artikkelissaan totesivat propulsio on olevan tehokkaampi silloin, kun suuri vesimäärä kiihtyy kerralla kuin silloin, kun pienempi vesimassa siirtyy. Artikkelissa verrattiin ihmisen delfiiniä kalojen ja delfiinien pyrstöliikkeisiin ja tutkimus osoitti että vaikka uimari käyttää suurempaa frekvenssiä potkiessaan kuin kalat, propulsio ei kasva samassa suhteessa. Hitaammin liikkuva suuri vesimassa aiheuttaa siis suuremman propulsio kuin nopeasti etenevä pienempi vesimassa. (Loebbecke ym. 2008). Uimarin potkun työntövoimaa rajoittaa erityisesti taipuvien nivelten vähyys ja nivelten liikerajoitteet. Verrattuna esimerkiksi delfiineihin, joilla selkänikamat jatkuvat pyrstöön asti on ihmisellä vähemmän niveliä edettäessä kohti jalkateriä. Lisäksi esimerkiksi polvinivel taipuu vain toiseen suuntaan, polven yliojentuminen parantaa potkun propulsiota. (Atkinson ym. 2014).

Vedenvastus

Vedenvastus voidaan jakaa vastustavaan vedenvastukseen ja propulsiiviseen vedenvastukseen (Maglisco 2003, s. 6). Tässä käsitellään vastustavaa vedenvastusta. Vesi on noin 1000 kertaa tiheämpää kuin ilma. Veden viskositeetin vuoksi uimari kokee liikettä vastustavaa voimaa. Häiriöttömässä tilassa veden molekyylit ovat järjestyksessä vierekkäin ja päällekkäin. Laminaariseksi virraksi kutsutaan tilannetta, jolloin vesimolekyylit virtaavat häiriöttömästi samalla nopeudella samaan suuntaan. (Maglisco 2003, 46.) Turbulenttiseksi virtaukseksi kutsutaan virtausta, jossa molekyylit eivät kulje samaan suuntaan samalla vauhdilla vaan pyöriävät ja sinkoilevat. Turbulenttisia virtauksia syntyy kun veden virtaukseen aiheutetaan häiriötä, esimerkiksi uimarin liikkeet häiritsevät virtausta ja sekoittavat vettä. (Maglisco 2003, 46.)

Uimariin vaikuttava vedenvastus koostuu sekä muotovastuksesta, aaltovastuksesta että kitkasta. Muotovastuksella viitataan uimarin vartaloon. Ihmiskeho ei ole yhtä virtaviivainen kuin kaloilla, jotka on luotu veteen. Tämän takia esimerkiksi liukuasento on tärkeä jo nuorena opeltettava taito uimareille. Hartiat ja pää aiheuttavat suuren vedenvastuksen, kun kädet ovat kyljissä, sillä etuprofiilin pinta-ala on suuri. Mutta kun kädet ojennetaan liukuasentoon muotovastus pienenee, sillä veden läpi liukuvan uimarin sormenpäiden aiheuttama etuprofiilin vastus on pieni ja kasvaa liukuvasti kohti vartaloa. (Connaboy ym. 2009). Muotovastukseen vaikuttaa myös uimarin pituus. Kehonosan aiheuttama muotovastus pienenee, mitä kauempana se on liukuasennon etuprofiilista eli sormenpäistä. (Webb ym. 1992). Aaltovastus syntyy veden pyörteistä ja aaltojen liikkeistä ja kitkavastus kuvaa uimarin ihon ja veden välistä kitkaa, jota lisää esimerkiksi ihon karheus tai karvaisuus (McMaster & Troup 2001). Lisäksi uitaessa uimarin taakse muodostuu matalampi vedenpaine siihen, missä uimari hetki sitten oli. Tämä

aiheuttaa veden virtauksen uimarin edestä uimarin taakse, mikä osaltaan lisää vedenvastusta. (Maglisco 2003, 6–7.) Houel ym. (2013) selvittivät tutkimuksessaan, milloin uimarin kannattaa aloittaa delfiinipotku käynnösten ja startin jälkeen. Artikkelissaan he totesivat että liian aikaisin aloitetut potkut lisäävät vedenvastusta enemmän kuin nopeuttavat uintia. Tämä johtuu siitä että ponnistuksesta saatu vauhti hyvässä liukuasennossa on paljon suurempi (3,6 m / s), kuin potkuilla saavutettava vauhti (1,9–2,2 m/s), jolloin potkun liian aikainen aloittaminen vain lisää vedenvastusta (Elipot ym. 2009). Tutkimuksen perusteella uimarin kannattaa aloittaa delfiinipotkut noin kuuden metrin etäisyydellä seinästä ponnistuksen jälkeen. Myöhemmin aloitettaessa etenemisnopeus ehtii hidastua turhan paljon. (Houel ym. 2013).

Amplitudi

Jalkaterän liikelaajuus eli amplitudi on tärkeimpiä kinemaattisia muuttujia delfiinipotkun tehokkuutta arvioitaessa (Connaboy ym. 2009). Tyypillinen delfiinipotkun amplitudi perhosuinnissa on noin 0,29 metriä ja liu'uissa tehtynä potkun amplitudi kansainvälisen tason uimareilla on noin 0,62 metriä (taulukko 1) (Loebbecke ym. 2008). Jos potkun amplitudia pystytään kasvattamaan ja samalla pystyttää pitämään muut muuttujat vakiona, paranee potkun eteenpäin työntävä voima. Toisaalta suurempi amplitudi vaikuttaa suoraan vedenvastukseen, kasvattaen sitä potkun molemmissa ääripäissä. (Connaboy ym. 2009). Webb ym. (1984) artikkelissaan esitti että vedenvastus kasvaa kahdesta syystä. Sekä muotovastus että kitka aiheuttavat vedenvastuksen kasvun amplitudia kasvatettaessa. (Webb ym. 1984). Muotovastuksen kasvuun voidaan vaikuttaa hyvällä liukuasennolla. Connaboy ym. (2009) ja Webb ym. (1984) artikkeleissa uimarin / kalan pituuden huomattiin vaikuttavan muotovastukseen. Mitä pidempi uimari / kala on, sitä laajempi potku voi olla ilman, että muotovastuksen kasvu syö laajemmasta potkusta saadun hyödyn. (Connaboy ym. 2009). Myös Arellano ym. (2002) huomasivat saman ilmiön tutkimuksessaan. Tutkimukseen osallistui kansallisen- ja kansainvälisentason uimareita, joiden delfiinipotkun amplitudit eivät eronneet toisistaan merkittävästi, mutta kansainvälisentason uimarit olivat pitempiä ja nopeampia kuin kansallisen tason uimarit. Kansallisentason uimarin potkun amplitudi oli 36,58% heidän pituudestaan, kun taas kansainvälisentason uimareiden potkun amplitudi oli 34,31% pituudesta. (Arellano ym. 2002). Connaboy ym. (2009) artikkelissa vielä tarkennetaan että taitava uimari pystyy hyvällä liukuasennollaan vähentämään muotovastusta jonka hartiat ja pää muutoin aiheuttaisivat ja lisäksi hyvä liukuasento suuntaa potkun oikein. (Connaboy ym. 2009).

Frekvenssi

Frekvenssi kertoo kuinka monta delfiinipotkua uimari tekee sekunnissa. Uimarin etenemisnopeuden ja delfiinipotkufrekvenssin välillä on lineaarinen yhteys, eli kun potkufrekvenssi nousee kasvaa myös etenemisnopeus (Webb ym. 1984). Pelkästään frekvenssin perusteella ei voida kuitenkaan päätellä kuka on hyvä ja kuka heikko potkija. Frekvenssin kiihdyttäminen yleensä pienentää potkun amplitudia, jolloin potkun eteenpäin työntävä voima pienenee. Frekvenssin kiihdyttäminen parantaa etenemisnopeutta siis vain tiettyyn pisteeseen asti, jonka jälkeen nopeus alkaa jälleen hidastua. (Connaboy ym. 2009). Loebbecke ym. (2008) vertasivat ihmisen ja delfiinien potkun frekvenssiä toisiinsa. Ihminen joutuu käyttämään suurempaa frekvenssiä, kuin delfiinit johtuen jalkaterän rakenteesta. Delfiinin pyrstö siirtää suuremman määrän vettä yhdellä potkulla, jolloin propulsio on suurempi. Ihminen sitä vastoin ei pysty jalkaterillään siirtämään samaa määrää vettä yhdellä potkulla, joten uimari joutuu kompensoimaan propulsiota frekvenssillä. Kansainvälisentason kilpauimarin delfiinipotkun frekvenssi on yleensä noin 2,14–2,17 Hz (taulukko 1). (Loebbecke ym. 2008).

Strouthalin luku

Vertaa jalkaterän liikenopeutta uimarin etenemisnopeuteen delfiinipotkun aikana. Se on tärkeä muuttuja määritettäessä potkun propulsiota ja tehoa. (Houel ym. 2013). St-luku lasketaan kaavalla fA/v , jossa f on potkufrekvenssi (Hz), A on potkun amplitudi (m) ja v on uimarin nopeus (m/s) (Guillaume ym. 2007). Luku on suurempi ihmisellä, kuin delfiineillä johtuen potkufrekvenssin suuruudesta. Yleisimmin kaloilla ja delfiineillä St-luku on noin 0,25–0,4 ja paras tehontuotto osuu suunnilleen 0,3:een. (Loebbecke ym. 2008; Hochstein & Blickhan 2011 & Atkinson ym. 2014). Atkinsonin ym. (2014) tutkimuksessa uimareitten St-luku oli noin 0,81 (taulukko 1) ja tätä matalammat arvot korreloivat suuremman uinti nopeuden kanssa.

TAULUKKO 1. Lähdeartikkelien arvoja (tutkimuksia ei ole tehty huippu-uimareilla, joten arvot poikkeavat toisistaan, sekä ovat hyvin matalia kilpauimareille).

Artikkeli	Uimarin pituus (m)	Nopeus (m/s)	Frekvenssi (Hz)	Amplitudi (m)	St-luku	Maksimi polvikulma (fleksio)
Atkinson ym. (2014)	2,39 *	1,64	2,11	0,55	0,81	113,7/ 104,9
Loebecke ym. (2009)	2,3 *	1,45	2,18	0,53	0,80	
Loebecke ym. (2008) (naiset/miehet)	2,3/2,8 *	0,95/1,31	1,8/2,4	0,64/0,58	1,21/1,06	
Arellano ym. (2002) (International / Na- tional)	1,801/ 1,692	1,614/ 1,152	2,139/ 1,755	0,618/ 0,619	0,794/ 0,950	
Guillaume ym. (2007)	1,77	2,5	2,09	0,55	0,46	
Shimojo ym. (2014)	1,755	1,6	2,26	0,50	0,70	
Hochstein & Blick- han (2011) (koehlö1/koehlö2)	2,41 / 2,25 *	1,22 / 1,18	1,98 / 2,13	0,54 / 0,52	0,85 / 0,93	

*Uimarin pituus mitattu kädet liukuasennossa sormenpäistä varpasiin

4 VIDEOANALYYSIEN TEKEMINEN UINNISSA

Tekniikka-analyyseja on tehty uinnissa jo pitkään, tosin kilpailuanalyysit ovatkin yleistyneet vasta 1980-luvulla. Uintisuoritus jaotellaan kolmeen vaiheeseen; starttiin, käännöksiin ja uintiin, joita on hyvä harjoitella ja myös kuvata erikseen (Smith ym. 2002, Slawson ym. 2012). Oman suorituksen näkeminen videolta on urheilijalle tärkeää taidonoppimisen kannalta. Mooney ym. (2015) selvitti videoanalyysien olevan yksi käytetyimpiä apuvälineitä valmennuksessa, koska se on helppo ja nopea menetelmä palautteen antamisessa. Videokuvaa voi katsoa uudestaan, sitä voi hidastaa, sieltä voi tarkastella yksityiskohtia kuva kerrallaan ja laskea esimerkiksi vetopituuksia. Artikkeleihin haastateltu uimari kommentoi: ”video antaa uimarelle mahdollisuuden nähdä mitä hän tekee, joskus pelkkä ohjeistus tekniikan korjaamiseksi ei yksinään riitä.” (Mooney ym. 2015).

Tekniikkaa analysoitaessa käytetään edelleen melko harvoin 2D tai 3D analysointimenetelmiä. Nämä ovat uintiympäristössä melko hankalasti toteutettavissa ja vievät aikaa huomattavasti enemmän kuin kuivalla maalla toteutettuina (Barbosa ym. 2013).

4.1 Miten tutkitaan?

Uinnin kuvaaminen vaatii usein erityisiä järjestelyjä vesielementin takia. Tutkimuksissa on käytetty erilaisia tekniikoita uinnin kuvaamiseksi. Uintia on muun muassa kuvattu altaassa olevien ikkunoiden läpi monessa tutkimuksessa. Esimerkiksi Cronin ym. (2007) tutkimuksessa käytettiin yhtä kameraa, Burkett ym. (2010) kahta kameraa ja Seiffert ym. (2010) kolmea kameraa tällä tavalla. Croninin ym. (2007) ja Burkettin ym. (2010) tutkimuksissa käytettiin lisäksi uimalakkiin piirrettyä tai kiinnitettyä magneettista markkeria uintiajan tarkkaan määrittämiseen starttien ja käännösten jälkeen. Burkett ym. (2010) vertailivat olympiauimareita ja paraolympiauimareita keskenään ja huomasivat muun muassa että paraolympiauimareiden nopeus oli pienempi johtuen heikommasta liukuasennosta. Seiffertin ym. (2010) tutkimuksessa taas määritettiin tietokoneella yhdeksän anatomista pistettä, joiden avulla määritettiin hengityksen vaikutusta perhouinnin käsivetoon eri uintinopeuksilla ja huomattiin, että hengitys aiheutti propulsiion katkeamisen ja johti pidempään liukuvaiheeseen ennen uutta vetoa. Strzala ym. (2013) käyttivät tutkimuksessaan kahta kameraa, jotka oli kiinnitetty altaan reunalla liikuttavaan karryyn, siten että toinen kamera kuvaa uintia veden alta ja toinen kuvaa veden

päältä. Menetelmä mahdollistaa uinnin kuvaamisen jatkuvasti uimarin sivusta, jolloin voidaan vertailla veto- ja potkusyklejä helpommin keskenään. Strzalan ym. (2013) tutkimuksessa tutkittiin rintauintin käsiveto- ja potkuvaiheiden suhdetta liukuvaiheeseen ja huomattiin että nopeammilla 50 metrin rintauintareilla propulsiivinen vaihe kestää kauemmin, kuin hitaammilla uintareilla.

2D analyysit ovat yleistyneet vasta vuoden 2010 jälkeen. Muun muassa Takeda ym. (2012), Shimojo ym. (2014) ja Atkinson ym. (2013) tutkimuksissa on käytetty 2D kuvantamismenetelmiä. Takeda ym. (2012) selvittivät tutkimuksessaan muun muassa startin nopeutta, hyppy kulmaa, veteen menoa ja voimantuottoa starttikorokkeen eri kallistusasennoissa. Shimojo ym. (2014) tutkimuksessaan käyttivät metronomia, minkä avulla tutkittavat muokkasivat delfiinipotku frekvenssiä ja eri frekvensseillä tehtyjä mittauksia vertailtiin keskenään. Tutkimuksessa huomattiin että hieman tavallista nopeampi frekvenssi paransi uintinopeutta. Atkinson ym. (2013) tutkivat delfiinipotkua. Tuloksista selvisi että nopeammilla uintareilla oli symmetrisempi potku ja heidän ylöspotkuvaihe oli selkeästi tehokkaampi.

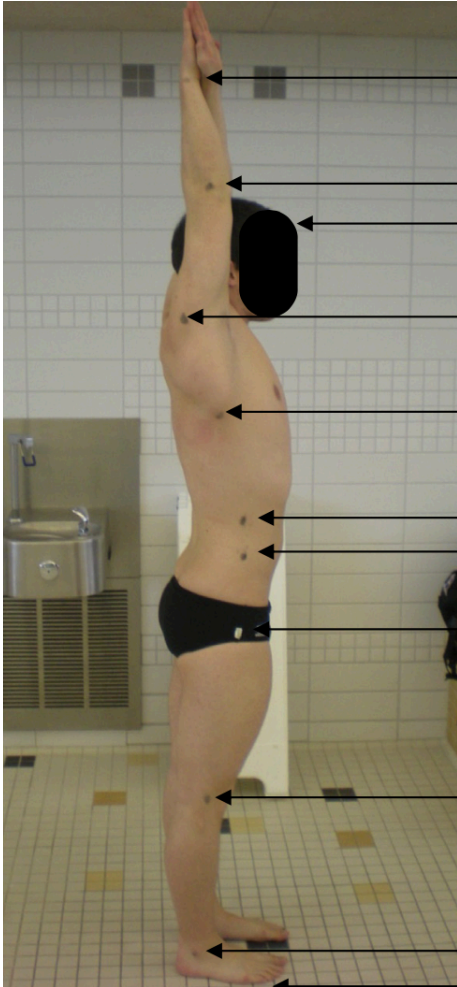
3D analyysien tekeminen on vielä harvinaisempaa, mutta esimerkiksi Jesus ym. (2015) ja Houel ym. (2013) tutkimuksissa on käytetty 3D menetelmää. 3D analyysistä ongelmallisen tekee kuvaus alueen pienuus. Yleensä uinti vaatii laajempaa kuvausaluetta, jos halutaan tarkkailla varsinaista uintia eikä keskittyä vain pieneen osaan kuten esimerkiksi Jesus ym (2015) ja Houel ym. (2012) tutkimuksessa, joissa tutkittiin starttia ja startin jälkeistä liukua. Houel ym. (2012) tutkivat korokkeelta tehtyä starttia ja startin jälkeisten delfiinipotkujen aloituskohdtaa ja huomasivat että delfiinipotkua ei kannattanut aloittaa ennen, kuin noin 6 metrin päässä seinästä sillä potku muuten jarrutti uimaria. Jesus ym. (2015) tutkimuksessa tutkittiin selkäuintin starttia kahdella eri käsien asettelulla lähtöasennossa. Tutkimuksessa käytettiin myös EMG-antureita mittaamaan 12 eri lihaksen aktiivisuuksia starttihypyn aikana. Lihaskäytävissä huomattiin pieniä eroja, mutta ne eivät vaikuttaneet startin ja liu'un onnistumiseen.

Lisäksi uintia tutkitaan erilaisten tietokonemallinnusten avulla. Yleensä uimari skannataan tietokonemallia varten, jonka jälkeen tietokoneella voidaan tutkia esimerkiksi mitä tapahtuu kun jotain tiettyä muuttujaa muutetaan. Esimerkiksi Cohen ym. (2011) tutkimuksessa etsittiin optimaalista delfiinipotkun amplitudia ja frekvenssiä jotta uinti olisi mahdollisimman nopeaa ja veden vastus pysyisi suhteellisen pienenä. Pacholak ym. (2014) käytti tietokonemallinnusta

vorteksien muodostumisen selvittämiseen ja niiden aiheuttaman propulSION tehon määrittämiseen.

4.2 Markkerit

Markkereiden riittävä erottuvuus vedessä on haaste sillä veden sumeus, heijastukset, kuplat, valaistus ja taustan ”häiriöt” aiheuttavat helposti häiriötä analyysiin. Markkerien kiinnittämisessä ja materiaalissa on uinnissa merkitystä kiinnipysymisen, näkymisen ja vastuksen minimoimisen kannalta. Suuria ja ulkonevia markkereita ei voida tutkimuksissa käyttää sillä ne nostaisivat vedenvastusta ja vaikuttaisivat siten tutkimuksen tuloksiin. Esimerkiksi Jesus ym. (2015) ja Takeda ym. (2012) tutkimuksissa uimareilla oli käytössään uima-asut, joihin halutut anatomiset pisteet merkittiin. Shimojon ym. (2014) tutkimuksessa käytettiin pieniä LED-valoja markkereina, kun taas Takeda ym. (2012) markkerit olivat mustavalkoista vinyyliteippiä ja Atkison ym. (2013) tutkimuksessa anatomiset pisteet piirrettiin koehenkilön ihoon mustalla tussilla (Kuva 8).



KUVA 8. Esimerkki markkereista (Atkison ym. 2013).

4.3 Mitä tutkitaan?

Startit: Uinnissa käytetään kahta eri startti tyyliä. Selkäuinnin startti on ainoa, joka poikkeaa muiden lajien (perhosuinti, rintauinti, vapaauinti, sekauinti) starteista. Selkäuinnin startti tapahtuu vedestä kun muut lajit startataan ylhäältä starttikorokkeelta. Molempia startteja on tutkittu erikseen ja molemmissa starteissa on olemassa useita variaatioita. Näitä variaatioita on tutkittu ja niitä on vertailtu keskenään. Kuitenkin toistaiseksi näyttää siltä, että niin sanottua absoluuttisesti parasta starttivariaatiota ei ole vaan starttaajan eli uimarin antropometriset mitat vaikuttavat siihen miten hänen kannattaa startata. Startin ja sen jälkeisen liu'un osuus koko uinnista vaihtelee uitavan matkan mukaan, mutta esimerkiksi 50 metrin vapaauintissa sen osuus voi olla jopa 15% kokonaisajasta (Beretić ym. 2013).

Uinti: Niin sanottua puhdasta uintia on tutkittu kaikista uintityyleistä. Uinnissa erityisesti kiinnostaa miten ja mitkä tekijät vaikuttavat mahdollisimman nopeaan uintivauhtiin. Uinti on hyvin tekninen laji ja uinti nopeuteen kaikissa lajeissa vaikuttavat etenkin käsivetojen frekvenssi sekä pituus. Lisäksi tulisi pyrkiä mahdollisimman hyvään vartalon asentoon, liukuvaan pinnansuuntaiseen uintiin ja minimoida veden vastusta. Lajista riippuen listatut asiat vaikuttavat eritavoin. Esimerkiksi vapaauinnissa vetopituuden ja frekvenssin suuruudet korreloivat nopeuden kanssa, kun taas rintauinnissa liukuvaihe on tärkeä ja sen tulisi viedä uimaria mahdollisimman paljon eteenpäin. (Colvin ym. 1992). Uintitutkimuksessa veden alla tehdyt delfiinipotkut lasketaan omaksi uintityylikseen. Kaikissa muissa lajeissa paitsi rintauinnissa delfiinipotkuja tehdään startin ja käänöksien jälkeen maksimissaan 15 metriä. Delfiinipotkuja on tutkittu erikseen niiden tehokkuudesta johtuen.

Käänökset: Käänökset ovat yksi tärkeä uinnin osa-alue. Cronin ym. (2007) tutkimuksessa todettiin käänöksen muodostavan noin 20% 50 metrin vapaauinnin ajasta ja 200 metrin vapaauinnissa noin 33%. Vapaa- ja selkäuinnissa tehdään niin sanottu volttikäänös ja rinta- ja perhosuinnissa käytetään kylkikäännöstä. Käänöksistä on uimarin tarkoitus saada lisää vauhtia ponnistamalla seinästä, mutta ponnistuksen hyöty menetetään jos käännöstä itseään ei tehdä pienenä ja tiukkana keränä, jolloin seinässä olo aika kasvaa vedenvastuksen seurauksena. Lisäksi seinästä tulisi ponnistaa hyvässä liukuasennossa. (Cronin ym. 2007).

5 TUTKIMUSKYSYMYKSET JA HYPOTEESEIT

Delfiinipotku on tärkeä osa uintia ja parhaimmillaan uimari voi kattaa 100 metrin uinnista 60 metriä pelkällä delfiinipotkulla liukumalla 25 metrin altaalla aina sallitun maksimimetrimäärän käännöksen ja startin jälkeen. Tutkimusta uinnista on tehty noin 40 vuotta, mutta videoanalyysien tekeminen ei kuitenkaan vielä ole yhtä helppoa ja automaattista, kuin monessa muussa lajissa. Minun tutkimukseni tarkoituksena oli selvittää Turun urheiluakatemiaan uima-areiden delfiinipotkujen biomekaniikkaa. Samalla halusin tutkia yhtäläisyyksiä ja eroavaisuuksia aikaisempaan tutkimusaineistoon, sillä suurin osa tutkimuksista käsittelee aikuisurheilijoita. Seuraavat tutkimuskysymykset ja hypoteesit kuvaavat tarkemmin mielenkiinnon kohteitani.

Tutkimuskysymys 1. Pystyykö hyvän ja heikon delfiinipotkun väliltä löytämään selkeän erotavan tekijän?

Hypoteesi 1. Nopeampi uimari on taitavampi pitämään ylävartalon paikoillaan.

Hypoteesi 2. Laajempi potku vie uimaria horisontaalisesti eteenpäin enemmän kuin kapea potku.

Tutkimuskysymys 2. Onko selällään tehdyn ja vatsallaan tehdyn delfiinipotkun välillä eroa?

Hypoteesi 3. Vatsallaan ja selällään tehtyjen delfiinipotkujen biomekaniikassa ei ole suuria eroja.

Tutkimuskysymys 3. Onko startin tai käännöksen jälkeen tehdyillä delfiinipotkuilla muita eroja kuin frekvenssi?

Hypoteesi 4. Startista tehtyjen potkujen frekvenssi on nopeampi, potkun amplitudi suurempi.

6 MENETELMÄT

6.1 Koehenkilöt

Tutkimukseen osallistui yhdeksän nuorta miestä Turun alueen uimaseuroista. Koehenkilöille selvitetiin tarkasti mittausten kulku ja tarkoitus ennen tutkimukseen osallistumista. Heille kerrottiin että osallistuminen on täysin vapaaehtoista ja jokaisella on oikeus jättää mittaukset kesken, missä vaiheessa mittausta tahansa. Jokainen tutkittava, tai tutkittavan vanhempi jos tutkittava oli alaikäinen, luki ja allekirjoitti suostumuslomakkeen ennen mittausten aloittamista. Tutkimukseen osallistumisen vaatimuksena oli että koehenkilöillä oli vähintään kuuden vuoden kilpauintitusta ja he kilpailivat oman ikäsarjansa SM-tasolla omassa päälajissaan. Koehenkilöiden perustiedot ja vapaauintin (vu) ja selkäuintin (su) 50 m ennätykset on esitetty taulukossa 2.

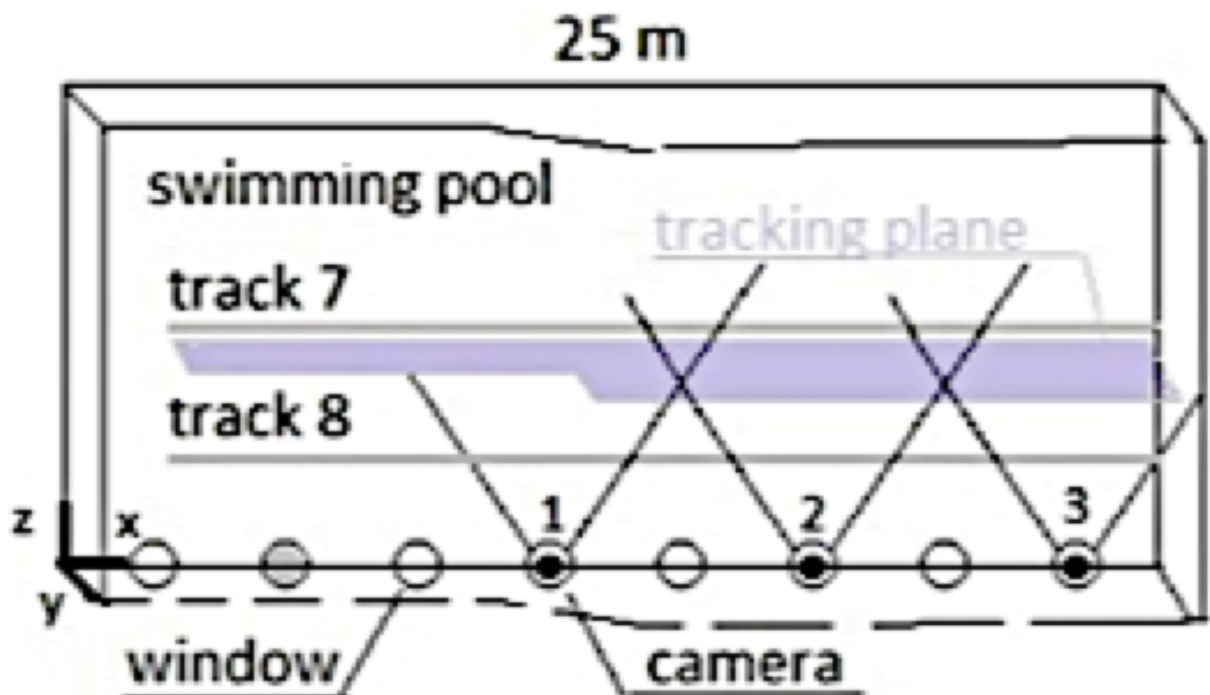
TAULUKKO 2. Koehenkilöiden perustiedot

Ikä (vuosina)	Pituus (cm)	Paino (kg)	Jalkojen pituus (cm)	Käsien pituus (cm)	Rinnan ympäryys (cm)	Lantion ympäryys (cm)	50m vu ennätys (s)	50m su ennätys (s)
17,56 ± 1,24	182,11 ± 6,75	74,54 ± 7,01	93,11 ± 3,01	80,17 ± 3,40	98,67 ± 2,69	87,20 ± 4,46	24,85 ± 0,85	31,25 ± 2,77

6.2 Tutkimusasetelma ja aineiston keräys

Tutkimus suoritettiin Turussa Impivaaran uimahallissa 25 metrin altaalla, yhden päivän aikana kahdessa erässä. Mittauksissa käytettiin rataa kahdeksan, jolloin kuvattava uimari oli noin 3–4 metrin päässä altaan reunasta. Kuvausten aikana rata 9 pidettiin tyhjillään, jotta kameroitten ja kuvattavien uimareiden väliin ei tullut häiriötä. Allas oli muutoin tavallisesti asiakkaiden käytössä. Impivaaran 25 metrin altaan syvyys syvässä päässä on 1,8 metriä ja allas madaltuu 1,3 metriin. Altaan syvässä päädyssä olevat starttikorokkeet ovat Omegan OSB11 malliset (kuva 1) ja niissä on säädettävä takajalan tuki. Lisäksi seinään oli kiinnitetty Omegan OCP5 päätypaneeli helpottamaan selkäuintin starttia.

Kuvaamiseen käytettiin valmista kamera asettelua, mikä on käytössä Turun Impivaan uimahallissa. Kolme Basler acA2000-50gc kameraa, joiden suurin kuvakoko on 750 x 2044 pikseliä, on asetettu 25 metriä pitkän altaan ikkunoiden taakse 560 mm syvyyteen siten, että ne kattavat 18 metriä altaan syvästä päästä. Syvässä päässä kuvausalue kattaa kahden metrin syvyyteen ja altaan madaltuessa kuva kattaa yhden metrin syvyyteen (Kuva 9). Kameroiden kuvaustaajuus on 48 kuvaa sekunnissa. Kaikki kamerat on synkronoitu kuvaamaan samanaikaisesti. Kameroiden kalibrointi on tehty kolmella eri metodilla; stereocamera (Bouguet, 2008), mono-camera (Bouguet, 2008) ja Nevalainen ym. (2016) suunnittelemalla direct planar kalibrointi menetelmällä. Videoiden analysointiin ja aineiston keräykseen käytin Turun Yliopiston kanssa yhteistyössä kehitettyä ei-kaupallista ohjelmaa (työnimi Camera). Ohjelman avulla on mahdollista tutkia kahta eri uintisuoritusta saman aikaisesti, suoritusta pystyy tutkimaan globaalissa koordinaatistossa, uimarin vetoja voi vertailla ja ohjelma pystyy seuraamaan haluttuja markkereita jäljittämällä kuvasta tiettyjä värejä. (Nevalainen ym. 2016).

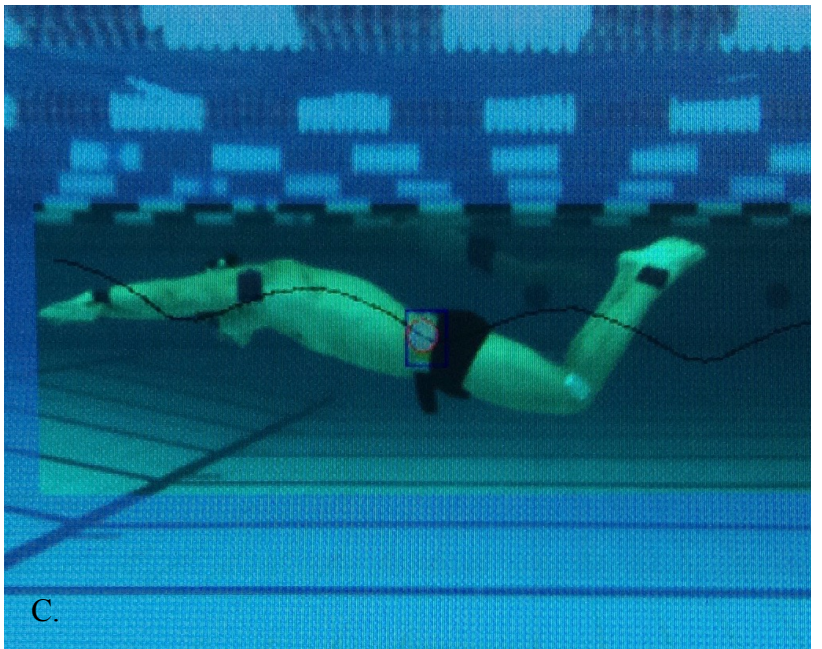


KUVA 9. Kameroiden paikat ja kuvan kattama alue. (Nevalainen ym. 2016).

Koehenkilöiden paino, pituus ja 50 metrin vapaauintin sekä selkäuintin ennätykset oli kysytyä esitettävällä kaavakkeella ja heidän raajojen pituudet sekä lantion ja vyötärön ympärykset mitattiin uimahallilla. Ennen mittausta koehenkilöt suorittivat oman verryttelyn (noin 1 km / 20 min), jonka tuli olla mahdollisimman samanlainen, kuin heidän normaalisti tekemä kilpailuun valmistava verryttely. Lisävaatimuksena oli tehdä kovia delfiininpotkuja 4 x 15 metriä verryttelyn aikana. Verryttelyn jälkeen koehenkilöt kuivasivat itsensä ja markkerit liimattiin kuivaan ihoon. Markkereita oli neljä molemmin puolin koehenkilöä. Markkereiden paikat olivat nilkan ulkokehräs (malleolus lateralis), polven ulkosivunasta (epicondylus lateralis femoris), kainalo olkanivelen nivelpussin alareuna kun käsi on nostettuna ylös eli olkapää (scapula acromion), sekä ranteen kyynärluun puikkolisäke (caput ulnae). Lisäksi koehenkilöillä oli mittauksissa lantiollaan noin 5 cm suoliluunetukärjestä taaksepäin (spina iliaca anterior superior) vyö, jossa oli erivärinen markkeri lantion liikkeen analysointia varten. Markkerien kiinnitys esitetty tarkemmin kuvassa 10 A ja lisäksi markkerien näkyvyys suorituksessa esitetty kuvissa 10 B ja 10 C.

Jokaiselta koehenkilöltä kuvattiin vapaauintin ja selkäuintin startin jälkeiset delfiininpotkut (vust ja sust), sekä ponnistuksen jälkeiset delfiininpotkut mahallaan ja selällään (vudelf ja sudelf). Jokainen suoritus tuli tehdä maksimaalisesti niin kuin kilpailusuorituksessa noin 15 metriin. Jos suorituksen aikana tapahtui jotain erikoista uimarin mielestä tai potkut eivät olleet oikealla syvyydellä kuvattiin suoritus uudestaan. Jokaisen suorituksen välissä passiivista taukoa oli 5–10 minuuttia palautumisen varmistamiseksi.

Jokainen mittaus analysoitiin erikseen. Mittauksista analysoitiin uimarin nopeus, potkufrekvenssi, potkun amplitudi, nilkan maksimi-, minimi- ja keskiarvoliikenopeus potkusyklin aikana, yhdellä potkulla edetty matka, polvi ja lantiokulmat potkun ääripäissä, sekä ylävartalon heilunnan amplitudi hartiaista mitattuna. Lisäksi laskettiin strouthalinluku kaavalla $St = fA/v$, jossa f on potkufrekvenssi (Hz), A on potkun amplitudi (m) ja v on uimarin nopeus (m/s).



Kuva 10 a, b & c. Markkerien paikat ja näkyvyys suorituksessa.

6.3 Aineiston analysointi

Tuloksista laskettiin keskiarvot ja keskihajonnat Microsoft Office Excel 2010 -ohjelmalla. Tulosten analysointiin käytettiin SPSS ohjelmaa, versio 19 (SPSS inc., Chigago IL). Muuttujien välisien riippuvuuksien määrittämiseen käytettiin Pearsonin korrelaatiokerrointa. Otoksen pienuudesta huolimatta aineisto oli normaalisti jakautunut. Otokset ovat toisistaan riippuvia, joten tilastollisia merkitsevyyksiä etsittiin parillisella T-testillä ja repeated measures of ANOVA testillä. Merkitsevyytasoksi asetettiin 0,05.

7 TULOKSET

Taulukossa 3. on esitetty muuttujin keskiarvot ja keskihajonnat. Frekvenssit erosivat toisistaan merkitsevästi starttien ja ponnistuksen jälkeen ($p \leq 0,006$). Eriassennoissa tehtyinä frekvenssissä ei huomattu eroa. Potkun amplitudi oli laajempi ja yhdellä potkulla edetty matka oli pidempi vatsallaan tehdyissä potkuissa, kuin selällään tehdyissä. Merkittävästi laajempi potku oli ponnistuksen jälkeen vatsallaan tehtynä verrattuna selällään ponnistuksen ja startin jälkeen tehtyihin potkuihin ($p = 0,002$). Myös jalkaterän nopeus vatsallaan tehdyissä potkuissa oli suurempi, kuin selällään tehdyissä asennosta riippumatta. Etenemisnopeus oli merkittävästi ($p \leq 0,006$) suurempi vapaauinnin startissa, kuin muissa mittauksissa.

TAULUKKO 3. Delfiininpotkumuuttujien arvoja

	Frekvenssi (Hz)	Amplitudi (cm)	Nopeus (m/s)	nilkan min. nopeus (m/s)	nilkan ka nopeus (m/s)	nilkan maks. nopeus (m/s)	1potkulla edetty- matka (m)	ST luku
sust	2,3± 0,19	32±5	1,52± 0,16	0,62± 0,13	1,45± 0,26	2,18± 0,46	0,63± 0,11	0,48± 0,07
vust	2,32± 0,23	37±3	1,61± 0,12	0,93± 0,22	1,75± 0,16	2,45± 0,23	0,76± 0,05	0,54± 0,04
sudelf	2,09± 0,15	37±3	1,5± 0,17	0,61± 0,13	1,54± 0,16	2,31± 0,29	0,74± 0,06	0,52± 0,06
vdelf	2,08± 0,28	41±3	1,52± 0,15	0,67± 0,25	1,68± 0,18	2,53± 0,17	0,81± 0,06	0,56± 0,06

vust = vatsallaan startin jälkeen,

sust = selällään startin jälkeen,

sudelf = selällään seinästä ponnistuksen jälkeen,

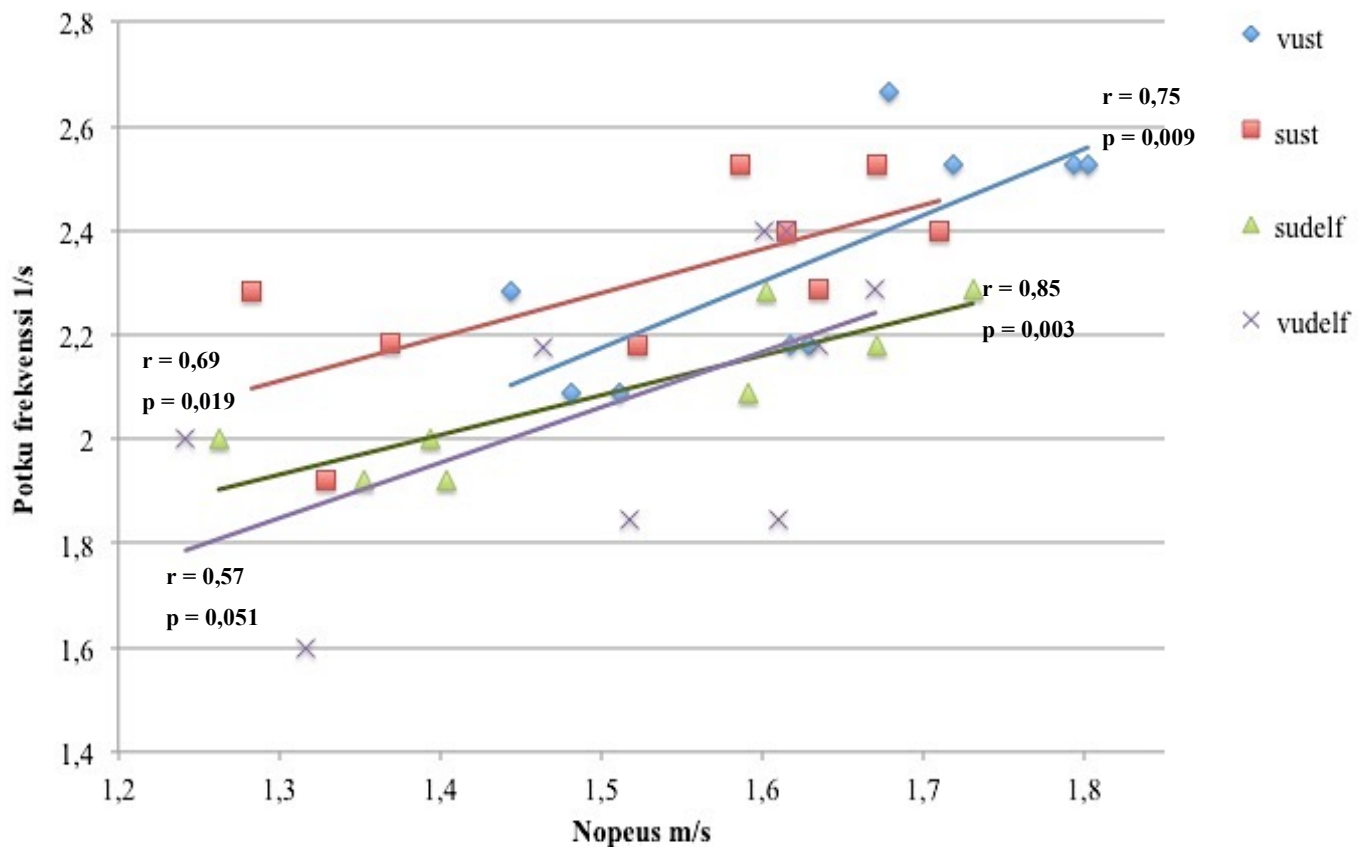
vdelf = vatsallaan seinästä ponnistuksen jälkeen

Taulukossa 4. on esitetty polvi- ja lonkkakulmat, sekä ylävartalon liikkeen amplitudit. Hartioiden amplitudi oli kaikissa mittauksissa suunnilleen sama, mutta lantion amplitudi oli suurempi, kun potkut tehtiin ponnistuksen jälkeen (ei merkitsevyyttä). Pienin lonkkakulma säilyi mittauksissa suunnilleen samana, mutta suurin lonkkakulma eli lantion yliojennus oli selkäuinnissa startin ja ponnistuksen jälkeen merkitsevästi ($p \leq 0,002$) suurempi, kuin vapaauinnissa startin ja ponnistuksen jälkeen.

TAULUKKO 4. Polvi- ja lonkkakulmat, sekä hartioiden ja lantion liikkeen amplitudit

	pienin polvikulma (°)	pienin lonkkakulma (°)	suurin lonkkakulma (°)	hartioiden amplitudi (cm)	lantion amplitudi (cm)
sust	108±6	148±8	201±5	13,4±4,8	20±3,3
vust	104±7	147±10	194±4	11,5±4,7	21±2,9
sudelf	102±4	147±7	202±3	13,8±4,1	23±2,9
vudelf	106±5	146±10	194±4	14,2±2,4	24±2,8

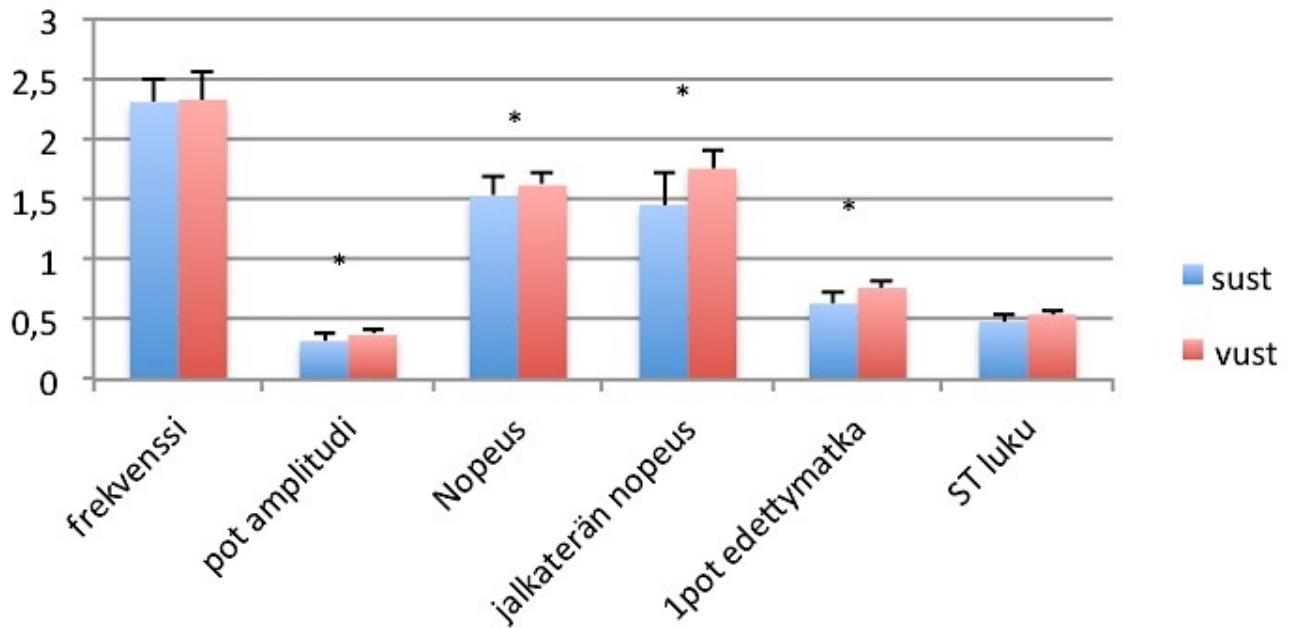
Potkufrekvenssi ja nopeus korreloivat positiivisesti keskenään kaikissa mittauksissa. Kuviossa 1. on esitetty pistekaaviona nopeuden ja frekvenssin yhteys. Potkufrekvenssin ollessa suurempi on uimarin etenemisnopeuskin suurempi. Selkein positiivinen korrelaatio on selkäuinnin delfiinipotkuissa ($r = 0,85$; $p = 0,003$), ja heikoin vapaauinnin delfiinipotkuissa ($p = 0,57$; $p = 0,051$). Selkäuinnin startin jälkeen korrelaatio on $r = 0,69$ ($p = 0,019$) ja vapaauinnin startin jälkeen korrelaatio on $r = 0,75$ ($p = 0,009$). Kaikissa muissa mittauksissa paitsi vatsalleen ponnistuksen jälkeisissä delfiinipotkuissa korrelaatio on merkittävä.



KUVIO 1. Potkufrekvenssin ja uintinopeuden suhde eri mittauksissa.

Starteista (sust ja vust) tehtyjen delfiinipotkujen vertailu on esitetty kuviossa 2. Vertailtaessa selkäuinninstartin ja vapaauinninstartin jälkeisiä delfiinipotkuja huomataan, että startista tehtyjen delfiinipotkujen frekvensseissä tai ST-luvussa ei ollut merkitseviä eroja ($p > 0,05$). Merkittäviä eroja löydettiin amplitudeissa ($p = 0,028$), nopeuksissa ($p = 0,002$), jalkateränopeuksissa ($p = 0,014$) ja yhdellä potkulla edetyissä matkoissa ($p = 0,028$).

SUST/VUST

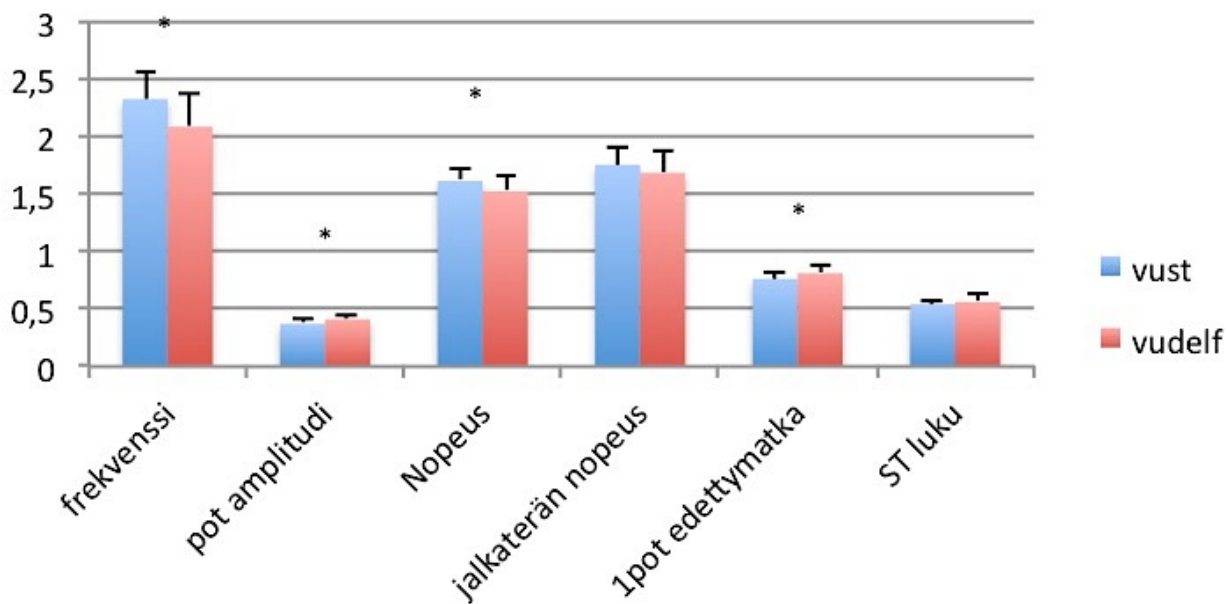


KUVIO 2. Vapaauintin ja selkäuintin startin jälkeisten delfiinipotkujen muuttujien vertailu.

* = merkitsevä ero otosten välillä $p < 0,05$

Kuviossa 3. on esitetty delfiinipotkujen vertailu vapaauintinstartin (vust) ja vapaauintin seinästä ponnistuksen jälkeen (vudelf). Vapaauintin delfiinipotkuissa startin ja ponnistuksen jälkeen jalkaterän nopeus ja ST-luku olivat ainoat muuttujat, jotka eivät eronneet toisistaan merkittävästi mittausten välillä ($p > 0,05$). Nopeus startin jälkeen on lähtökohtaisestikin suurempi, kuin ponnistuksen jälkeen ja vaikuttaa siten myös frekvenssiin ja potkun amplitudiin. Frekvenssi oli merkittävästi tiheämpi startin jälkeen ($p = 0,002$) ja amplitudi oli suurempi ponnistuksen jälkeen ($p = 0,023$). Vertailtaessa samalla tavalla selkäuintin startin ja ponnistuksen jälkeisiä delfiinipotkuja kuviossa 4. huomataan, että selkäuintinstartilla ei ollut merkittävää eroa uimareiden nopeuteen verrattuna ponnistuksesta tapahtuviin delfiinipotkuihin ($p > 0,05$). Myöskään ST-luvussa ja jalkaterän nopeudessa ei ollut merkittävää eroa mittausten välillä, tosin jalkaterän nopeus vaihteli koehenkilöiden välillä enemmän selkäuintin startin jälkeen. Potkufrekvenssi ($p = 0,006$) ja potkun amplitudi ($p = 0,025$) käyttäytyivät odotetulla tavalla, samoin kuin vapaauintin startin ja ponnistuksen jälkeen.

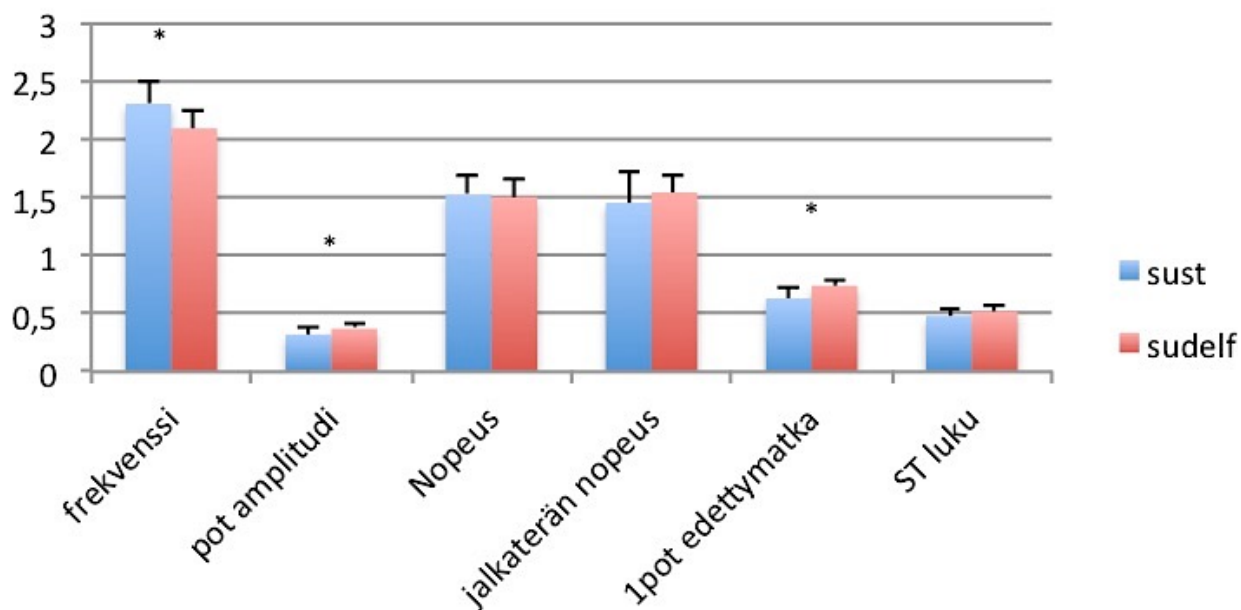
VUST/vudelf



KUVIO 3. Vapaauintin startin ja ponnistuksen jälkeen vatsallaan tehtyjen delfiinpotkujen vertailu.

* = merkitsevä ero otosten välillä $p < 0,05$

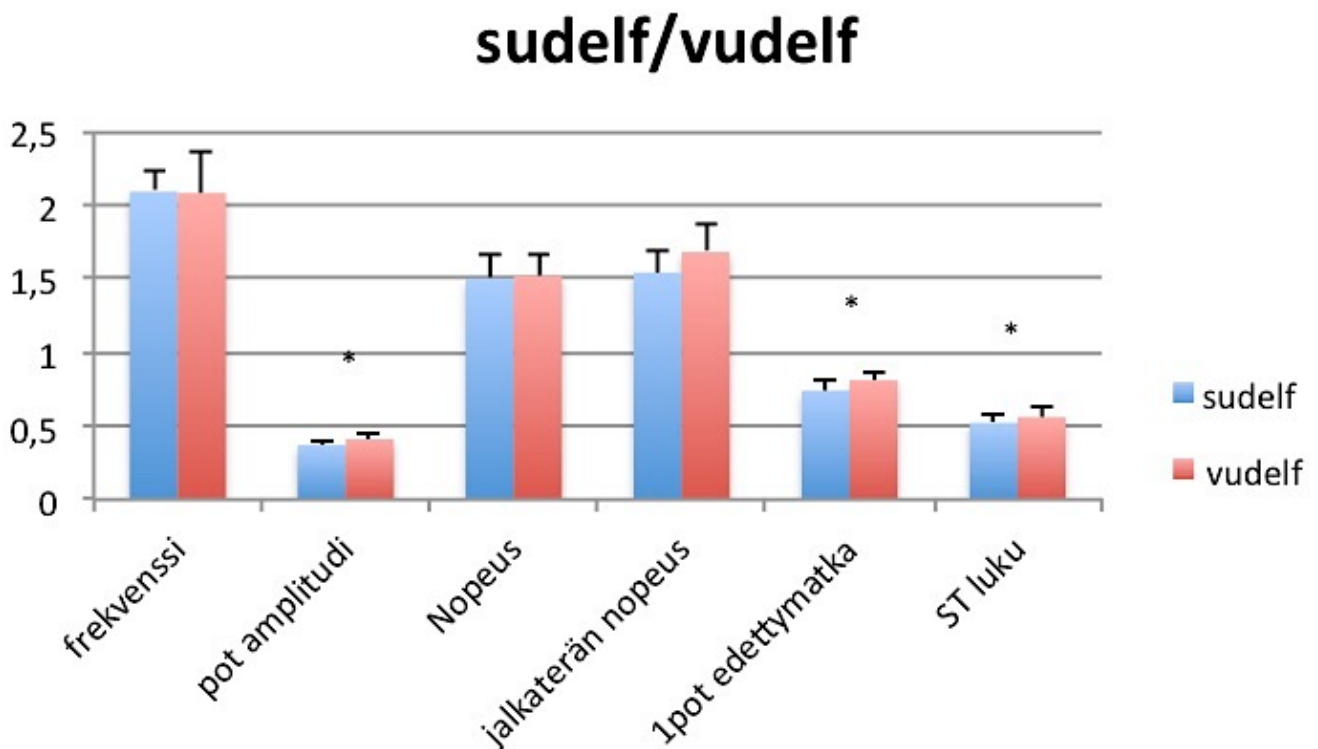
SUST/sudelf



KUVIO 4. Selkäuintin startin ja ponnistuksen jälkeen selälläään tehtyjen delfiinpotkujen vertailu.

* = merkitsevä ero otosten välillä $p < 0,05$

Ponnistuksen jälkeisiä delfiinipotkuja eri asentojen välillä vertailtaessa kuviossa 5. löydettiin tilastollisesti merkittäviä eroja potkun amplitudissa, yhdellä potkulla edetyssä matkassa ja ST-luvussa. Vatsallaan tehtyjen potkujen amplitudi oli suurempi, kuin selällään tehtyjen ($p = 0,002$), jolloin myös potkulla edetty matka on pidempi ($p = 0,002$). Frekvenssissä, etenemisnopeudessa ja jalkaterän nopeudessa ei löydetty merkitsevää eroa, mutta vatsallaan tehtyjen delfiinipotkujen frekvenssin vaihteluväli oli suurempi ja korkein frekvenssi huomattavasti korkeampi, kuin selkäuinnin ponnistuksen jälkeen.

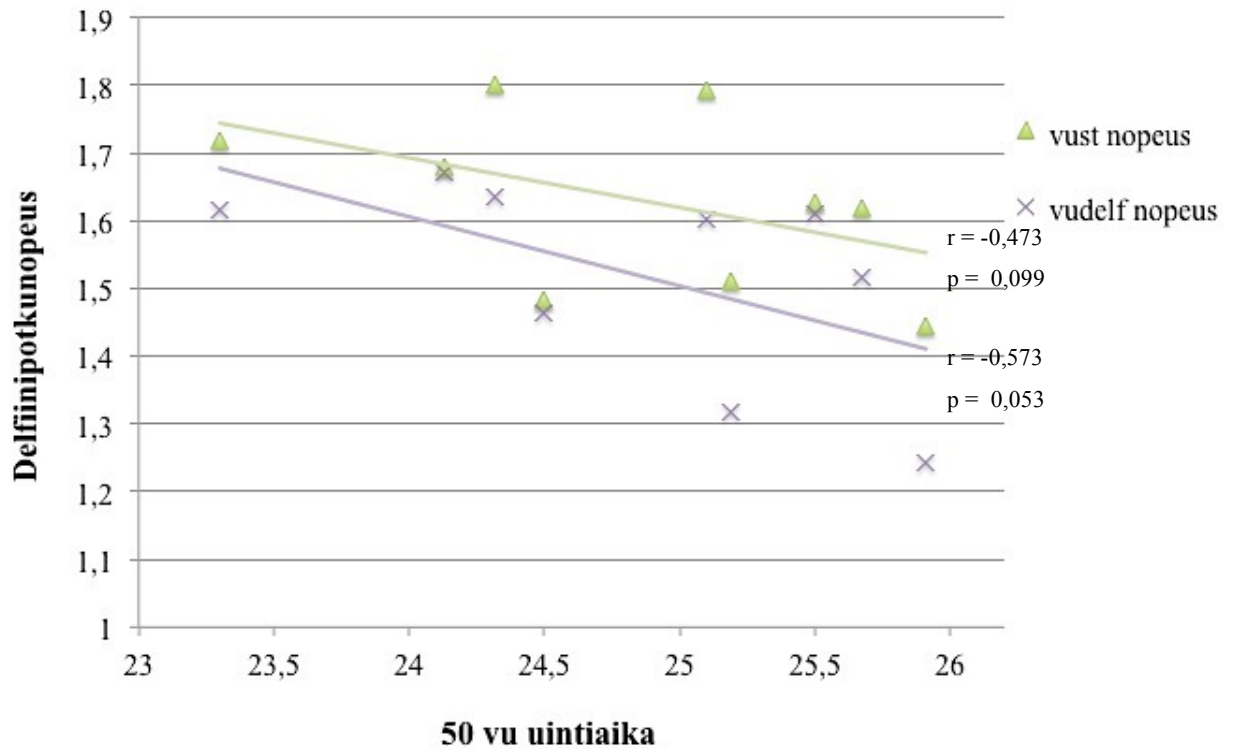


KUVIO 5. Vapaauintin ja selkäuinnin delfiinipotkujen vertailu seinästä ponnistuksen jälkeen.

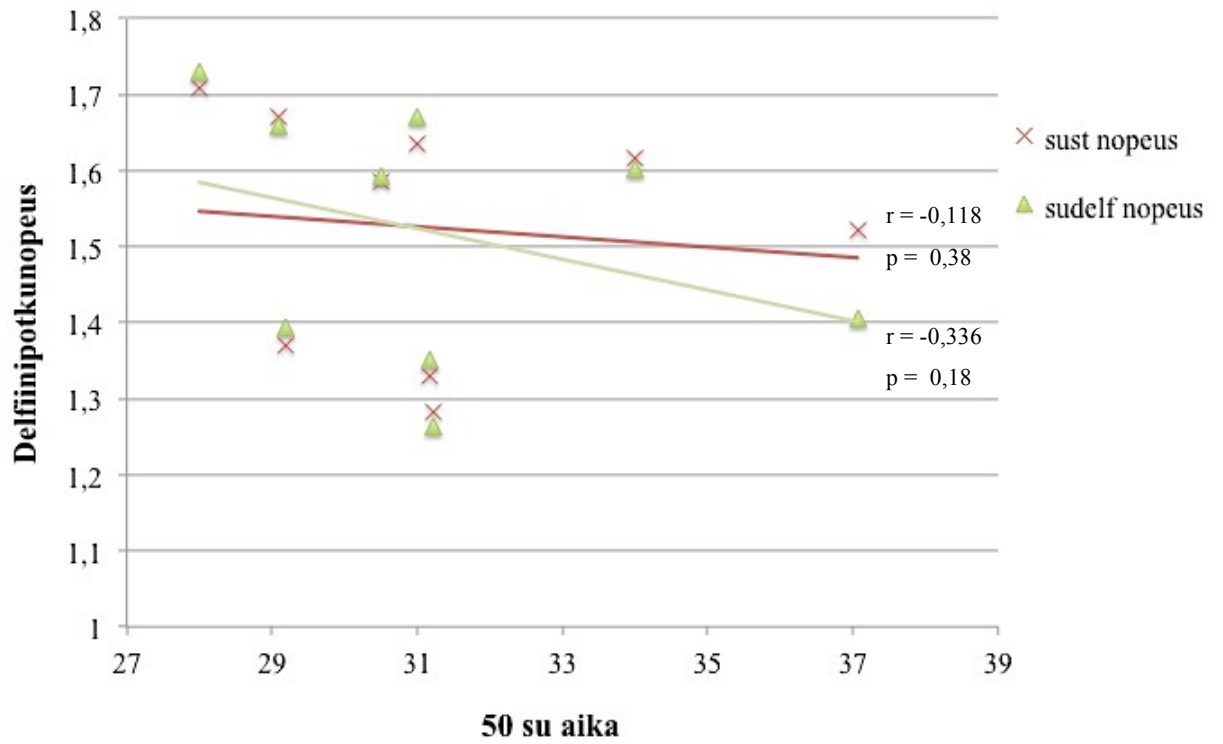
* = merkitsevä ero otosten välillä $p < 0,05$

Uimareitten ennätysten ja delfiinipotkujen vertailu on esitetty kuvioissa 6. ja 7. Kuten kuviossa 6. nähdään 50 metrin vapaauintin aika korreloi delfiinipotkujen nopeuden kanssa käänteisesti. Eli mitä nopeammat potkut uimarilla on sitä vähemmän aikaa hänellä kuluu 50 metrin uimiseen. Korrelaatiot olivat $vuaika / vust = -0,473$ ja $vuaika / vudelf = -0,573$, tilastollista merkittävyyttä ei kuitenkaan löydetty ($p > 0,05$). Kuviossa 7. on esitetty 50 metrin selkäuinnin aikojen ja delfiinipotkunopeuden korrelaatio. Voidaan sanoa että uintiaika ja potkunopeus

korreloivat negatiivisesti ponnistuksen jälkeisten delfiinipotkujen osalta, mutta startin jälkeisten potkujen nopeus ja 50 metrin selkäuinnin aika eivät korreloineet keskenään. Korrelaatiokertoimet olivat $50su / sust = -0,118$ ja $50su / sudelf = -0,336$, tilastollista merkittävyyttä ei löydetty ($p > 0,05$).



KUVIO 6. 50 metrin vapaauintin ajan ja delfiinipotkujen nopeuden korrelaatio



KUVIO 7. 50 metrin selkäuinnin ajan ja delfiinipotkujen nopeuden korrelaatio

8 POHDINTA

Tuloksista (Kuvio 1.) huomataan, että frekvenssi korreloi positiivisesti nopeuden kanssa kaikissa mittauksissa. Selkein korrelaatio frekvenssin ja etenemisnopeuden välillä oli selällään ponnistuksen jälkeen tehdyissä delfiinipotkuissa ($r = 0,86$) ja heikoin korrelaatio vatsallaan tehdyissä delfiinipotkuissa ($r = 0,58$).

Sekä vapaauinnissa, että selkäuinnissa startilla tehtyjen delfiinipotkujen frekvenssit olivat merkittävästi suurempia (vust = $2,32 \pm 0,23$ Hz ja sust = $2,3 \pm 0,19$), kuin ponnistuksen jälkeen (vudelf = $2,08 \pm 0,28$ Hz ja sudelf = $2,09 \pm 0,15$ Hz), kuten hypoteesi 4. antoi odottaa. Potkujen amplitudit puolestaan olivat matalampia startin jälkeen tehdyissä delfiinipotkuissa (vust 37 ± 3 cm, sust 32 ± 5 cm), kuin seinästä ponnistuksen jälkeen (vudelf 41 ± 3 cm, sudelf 37 ± 3 cm) (Kuviot 3. ja 4.), mikä taas erosi hypoteesista 4. Loebbecke ym. (2008) artikkelissa todettiin delfiinipotkujen amplitudin kansainvälisentason uimareilla olevan tyypillisesti noin 62 cm, mihin tässä tutkimuksessa mukana olleilla on vielä matkaa. Kaikissa mittauksissa amplitudi ja frekvenssi korreloivat käänteisesti toisiinsa nähden. Startin jälkeen uimarin nopeus on suurempi, kuin seinästä ponnistuksen jälkeen. Tiheämmällä frekvenssillä uimari pysyy pitämään startista saavutetun nopeuden paremmin, kuin hitaammalla frekvenssillä. Nopeampi frekvenssi osaltaan pienentää potkun amplitudia. Toisaalta uimarin on hyvä pitää amplitudi pienempänä kovemmassa vauhdissa, jotta veden vastusvoimat eivät kasva entisestään. Ponnistuksen jälkeen uimarin lähtönopeus ei ole yhtä suuri, kuin startin jälkeen ja uimari joutuu tekemään enemmän töitä edetäkseen yhtä nopeasti. Uimarille on taloudellisempaa kasvattaa potkun amplitudia ja pyrkiä ylläpitämään frekvenssi, kuin kasvattaa frekvenssiä entisestään. Koska nopeus ei ole ponnistuksen jälkeen yhtä suuri, kuin startin jälkeen ei myöskään amplitudin kasvattaminen lisää vedenvastusta yhtä paljon. Mielenkiintoinen huomio on, että selällään tehtyjen delfiinipotkujen nopeudessa ei ole merkittävää eroa startin ja ponnistuksen jälkeen. Tämä saattaa kertoa tutkimukseen osallistuneiden uimareiden taidosta tehdä selkäuinninstartti. Yhdenkään koehenkilön pääalaji ei ollut selkäuinti, joten selkäuinninstarttien määrä harjoittelussa on todennäköisesti pienempi kuin vapaa-, perhos- ja rintauinninstarttien. Selkäuinninstartti ei myöskään eroa selällään ponnistuksesta yhtä suuresti kuin vapaauinnin startti eroaa seinästä ponnistuksesta.

Nopeus on odotetusti suurin vapaauinnin startin jälkeen ja hajonta on kaikista pienin ($1,61 \pm 0,12$ m / s). Selkäuinninstartin jälkeen koehenkilöiden nopeus ($1,52 \pm 0,16$ m / s) oli sama,

kuin seinästä vatsalleen ponnistuksen jälkeen ($1,52 \pm 0,15$ m / s) ja lähes sama kuin selälleen ponnistuksen jälkeen ($1,5 \pm 0,17$ m / s). Uimarit tekevät todennäköisesti eniten ylhäältä starttikorokkeelta tehtyjä startteja harjoituksissa ja kisoissa johtuen siitä, että vapaa-, perhos-, rinta- sekä sekauinnin startit tehdään ylhäältä ja vain selkäuinti aloitetaan alhaalta. Tämä johtaa siihen, että myös selkäuimareilla on enemmän kokemusta ylhäältä tehdyistä starteista, kuin muiden lajien uimareilla selkäuinnin startista. Koska startteja tehdään enemmän korokkeelta osaavat uimarit paremmin suunnatta omaa liukuasentoaan. Taulukosta 4 nähdään että, selälleen tehdyistä mittauksissa koehenkilöt yliojentavat lantiotaan enemmän, mikä saattaa johtaa vedenvastuksen kasvuun ja voimantuottokyvyn heikkenemiseen. Lisäksi lantion yliojentaminen saattaa johtaa esimerkiksi hartioden ja käsien heilunnan lisääntymiseen, jolloin energiaa kuluu enemmän ylös-alas liikkeeseen, kuin etenemiseen. (Toussaint & Hollander 1994.)

Yhdellä potkulla edetty matka on vapaauinnin liu'uisissa pidempi (vust = $0,76 \pm 0,05$ m, vudelf = $0,81 \pm 0,06$ m), kuin selkäuinnin (sust = $0,63 \pm 0,11$ m, sudelf = $0,74 \pm 0,06$ m). Molemmilla tyyleillä tehtynä yhdellä potkulla edetty matka oli suurempi ponnistuksen jälkeen. Tämä johtuu siitä, että potkujen amplitudi ponnistuksen jälkeen oli laajempi, jolloin yhdellä potkulla tuotettu propulsio on suurempi.

Jalkaterän nopeus on merkittävästi suurempi vapaauinninstartin jälkeen, kuin selkäuinninstartin jälkeen tehdyissä delfiinipotkuissa. Sama nopeus ero on huomattavissa vapaauinnin ja selkäuinnin ponnistuksen jälkeisissä potkuissa vaikkakin merkittävyyttä ei löytynyt. Kuvaajissa jalkaterän nopeus on esitetty keskiarvona, mutta taulukossa 3 on esitetty myös maksimi ja minimi nopeudet. Vapaauinnin delfiinipotkuissa, sekä startin ($2,45 \pm 0,23$ m/s), että ponnistuksen ($2,53 \pm 0,17$ m/s) jälkeen maksiminopeus on suurempi, kuin ja selkäuinnin startin ($2,18 \pm 0,46$ m/s) ja ponnistuksen ($2,31 \pm 0,29$ m/s) jälkeen. Suuria eroja löytyy myös miniminopeuksissa. Vapaauinninstartin jälkeen tehtyjen potkujen jalkaterän miniminopeus on $0,93 \pm 0,22$ m/s, kun muissa mittauksissa jäädyään paljon pienempiin nopeuksiin (vudelf = $0,67 \pm 0,25$ m/s, sust = $0,62 \pm 0,13$ m/s, sudelf = $0,61 \pm 0,13$ m/s). Aikaisemmat tutkimukset (mm. Atkinson ym. 2014; Arellano ym. 2002; Guillaume ym. 2007) ovat osoittaneet että jalkaterän liikenopeus on suurimmillaan alaspotkuvaiheessa (tai ylöspotkuvaiheessa, kun on selkäuinti kyseessä). Vapaauinnin delfiinipotkuissa, sekä startin että ponnistuksen jälkeen lonkkakulmat olivat suurimmillaan $194 \pm 4^\circ$, kun selkäuinnissa kulmat olivat noin 10° suuremmat (sust = $201 \pm 5^\circ$, sudelf = $202 \pm 3^\circ$). Tämä saattaa selittää, miksi jalkaterän nopeus on pienempi selällään tehdyissä potkuissa. Keskivartalon ”pettäessä” lantion liikelaajuus kasvaa,

jolloin jalkaterän liikkuaessa vertikaalisuunnassa lantio liikkuu vastakkaiseen suuntaan jalkaterään nähden ja osa potkun energiasta ”karkaa” (vrt. Vipuvarti, jonka tukipiste painuu kasaan kuormaa nostettaessa) (Toussaint & Hollander 1994).

Tuloksia tarkasteltaessa huomataan, että ne vastaavat osittain aikaisemmissa tutkimuksissa havaittuja tuloksia (mm. Guillaume ym. 2007, Loebbecke ym. 2008, Atkinson ym. 2014). Kuvio 1 osoittaa, että frekvenssin ja nopeuden välillä on korrelaatiota, kuten aikaisemmissa tutkimuksissa on todettu, mutta tämän tutkimuksen otoksessa on paljon hajontaa. Tässä tutkimuksessa mukana olleiden uimareiden ikä oli noin 17,5 vuotta ja heillä kaikilla oli vähintään viisi vuotta kilpauintausta. Useissa muissa tutkimuksissa uimarit ovat olleet vanhempia ja heillä on pidempi uintiura, sekä kansainvälistä menestystä (Guillaume ym. 2007; Houel ym. 2013; Elipot ym. 2009). Nämä tekijät vaikuttavat tuloksiin ja erityisesti hajontaan. Kuitenkin jo tällä otoksella tuloksissa on nähtävissä yhtäläisyyksiä aikaisempaan tutkimusaineistoon nähden.

Vatsallaan ja selällään tehtyjen delfiinipotkujen välillä selkeimmät erot ovat potkun amplitudissa ja yhdellä potkulla edetyssä matkassa. Vatsallaan tehtyjen potkujen amplitudi oli sekä startin että ponnistuksen jälkeen suurempi kuin selällään tehdyissä, mikä selittää myös miksi vatsallaan tehtyinä potku vie uimaria enemmän eteenpäin. Amplitudiin tässä tutkimuksessa todennäköisesti eniten vaikuttaa aikaisemmin mainittu keskivartalon hallinta, mikä vatsallaan tehdyissä potkuissa oli parempi. Voidaan siis päätellä, että osa muuttujista tällä otoksella vaihtelee sen perusteella onko uimari missä asennossa. Tämä ei kuitenkaan tarkoita etteikö uimareiden tulisi pyrkiä hypoteesin 3. kaltaiseen tilanteeseen, jossa asento ei vaikuta negatiivisesti potkun tehoon.

Suurimmat uimarin etenemisnopeuteen vaikuttavat muuttujat ovat potkun frekvenssi ja amplitudi. Tässä tutkimuksessa frekvenssi vaihteli 2,08–2,32 Hz välillä. Startin jälkeen frekvenssi oli aina nopeampi kuin ponnistuksesta riippumatta siitä tehtiinkö delfiinipotkut selällään vai vatsallaan. Frekvenssit vastasivat hyvin muissa tutkimuksissa havaittuja frekvenssejä. Taulukossa 1 esitettyjen tutkimusten frekvenssit vaihtelevat 1,8–2,4 Hz välillä. Tutkimukseni amplitudeissa on suurempi ero muihin tutkimuksiin. Taulukon 1 tutkimusten potkujen amplitudi sijoittuu 50–64 cm välille, kun taas tämän tutkimuksen amplitudit ovat huomattavasti pienempiä keskiarvojen vaihdella 32–41 cm välillä. Nopeus vaihtelee taulukon 1 tutkimuksissa 1,45–2,5 m/s välillä ja tämän tutkimuksen nopeuksien keskiarvot sijoittuvat 1,5–1,61 m/s

välille. Suurimmat nopeudet tässä tutkimuksessa saavutettiin vapaauintin startin jälkeisissä delfiinipotkuissa. Nopeus on kuitenkin huomattavasti heikompi, kuin esimerkiksi Guillaume ym. (2007) artikkelissa esitetty 2,5 m/s. Tämä on selitettävissä pienemmällä potkun amplitudilla. Pienempi amplitudi selittää myös osaltaan, miksi tämän tutkimuksen mukaan koehenkilöiden St-luku antaa ymmärtää, että koehenkilöiden delfiinipotkut ja nopeus vastaisivat maailman huippuja. Kuten aikaisemmin todettiin St-luku määrittää potkun propulsiota ja tehoa ja se lasketaan kaavasta fA/v . Atkinsonin ym. 2014 tutkimuksessa uimareitten St-luku oli noin 0,81 ja tätä matalammat arvot korreloivat suuremman uinti nopeuden kanssa. Luku vaihtelee taulukon 1 tutkimuksissa 0,46–1,21 väillä. Tässä tutkimuksessa St-luku asettui 0,48–0,56 välille. Tarkasteltaessa kaavaa, jolla St-luku lasketaan voidaan päätellä että tämän tutkimuksen amplitudien arvot vaikuttavat siten, että St-luvun kerroin jää pienemmäksi. Kaava toimii siis heikosti tällä otoksella eikä tuloksista voida tehdä johtopäätöksiä. Vertailtaessa tätä tutkimusta kirjallisuuskatsauksessa esiteltyihin artikkeleihin tulee huomioida ettei kirjallisuuskatsauksen artikkeleista poimitut tiedot taulukossa 1. vastaa huippu-uimareiden tuloksia. Ainoastaan Guillauden ym. (2007) artikkelissa esitetyt arvot vastaavat huippu-uimareiden arvoja nykyään.

Tarkasteltaessa nopean ja hitaan uimarin eroja löytyi muutama nopeuden kanssa korreloiva muuttuja. Kuten jo aikaisemminkin mainittiin frekvenssi korreloi positiivisesti nopeuden kanssa mittauksesta riippumatta, kuten myös muissa tutkimuksissa on huomattu (Webb ym. 1984, Loebbecke ym. 2008, Connaboy ym. 2009). Samoin jalkaterän liikenopeus ja uimarin nopeus korreloivat keskenään, mikä tukee frekvenssin ja nopeuden korrelaatiota. Mielenkiintoista kuitenkin oli se, ettei jalkaterän nopeus ja potkun amplitudi vatsallaan tehdyissä delfiinipotkuissa korreloinut, mutta selällä tehdyissä potkuissa löydettiin vahvat korrelaatiot ($sust = 0,87$ ja $sudelf = 0,74$). Toisaalta vatsallaan tehtyjen delfiinipotkujen frekvenssien ja amplitudin väliltä löytyi negatiivinen korrelaatio ($vust = -0,53$ ja $vudelf = -0,65$), mitä ei löytynyt selällä tehdyistä mittauksista. Frekvenssin ja amplitudin negatiivinen korrelaatio oli odotettavissa, mutta yllättävää oli ettei tätä löytynyt selällä tehdyistä potkuista. Tämä todennäköisesti kertoo enemmän siitä että hyvä selkäuimari osaa tehdä myös paremmat delfiinipotkut selällä, jolloin amplitudi on laajempi ja jalkaterän nopeus suurempi, kuin heikko selkäuimari jolla jalannopeus ja amplitudi ovat molemmat heikompia. Kuten jo aikaisemmin todettu uimarit tekevät todennäköisesti enemmän delfiinipotkuharjoituksia vatsallaan, kuin selällä ja vain selkäuimareilla selällä tehtyjä harjoituksia tulee saman verran tai enemmän kuin vatsallaan tehtyjä. Muuta kuin selkää päälajinaan uivat tekevät selällä harjoituksia

huomattavasti vähemmän ja se on todennäköisesti suurin syy siihen miksi selällään tehdyissä mittauksissa ei negatiivista korrelaatiota frekvenssin ja amplitudin väliltä löytynyt.

Lisäksi polvikulma näyttäisi korreloivan nopeuden kanssa, siten että alle 100° polvikulmalla nopeus oli heikompi kuin yli 100° polvikulmilla, joka mittauksessa. Potkun amplitudi ja nopeus taas eivät korreloineet keskenään eli vaihtelua potkun biomekaniikkaan syntyy uimareiden välillä siinä tekevätkö he enemmän töitä lantiosta vai eivät. Odotetusti hypoteesia 1 tukeen negatiivisesti nopeuden kanssa korreloi hartian liikelaajuus. Merkittävyyttä ei pystytty todistamaan, mutta näyttäisi siltä että heikommalla uimarilla keskivartalon hallinta ei riitä pitämään ylävartaloa riittävän stabiilina ja osa potkun energiasta kuluu ylävartalon heiluntaan. Muita potkun biomekaniikkaan mahdollisesti vaikuttavia tekijöitä, mitkä testattiin, mutta joissa vaikutusta suuntaan tai toiseen ei voitu todentaa olivat uimarin pituuden ja nopeuden sekä pituuden ja amplitudin väliset korrelaatiot, sekä lonkan fleksion ja ekstension vaikutukset nopeuteen. Hypoteesissa 2 odotettu potkun amplitudin ja yhdellä potkulla edetynmatkan positiivinen korrelaatio oli hyvin selkeä, mutta amplitudi tai yhdellä potkulla edetty matka eivät kuitenkaan korreloineet nopeuden kanssa.

9 JOHTOPÄÄTÖKSET

Impivaaran uimahallin kuvaus välineistö on melko uusi ja tämän tyylinen tutkimus välineistöllä tehtynä oli ensimmäinen. Tutkimusta varten jouduttiin tekemään useampia kokeiluja muun muassa markkereita testailtaessa. Uimaliitto ja uimaseurat ovat kuitenkin käyttäneet välineistöä jo useamman vuoden tekniikkakuvauksissaan ja välineistöä on kehitelty jatkuvasti tarkempaan ja automaattisempaan suuntaan.

Tutkimukseni on tehty pienellä otoksella eikä tuloksista voi tehdä suuria päätelmiä suomalaisten tai edes Turun alueen nuorten uimareiden delfiinipotkuista. Kuitenkin aikaisempaan kirjallisuuteen ja tuloksiini pohjaten näyttäisi siltä että potkujen amplitudin laajentamiseen keskittyvä harjoittelu olisi eduksi uimareille. Harjoittelu tulisi toteuttaa siten että amplitudin kasvattaminen ei heikentäisi frekvenssiä. Tämä vaatii lajinomaista alaraajojen voimaan ja vartalon hallintaan keskittyvää harjoittelua, jotta potkun amplitudin kasvaessa jalkaterännopeus ja, siten frekvenssi voidaan säilyttää nykyisellä tasolla ja ylävartalon heilunta ei lisäännny vaan hallinta jopa paransi. Tulososion kuvioissa 6. ja 7. on verrattu delfiinipotkunopeutta ja 50 metrin selkäuinnin ja vapaauinnin ilmoitettuja ennätysaikoja. Näyttäisi siltä että nopeammat delfiinipotkijat ovat nopeammin maalissa, joten delfiinipotkuihin keskittyminen jo nuorena olisi eduksi uimareille.

Tulee myös huomioida että uinti on edelleen muuttuva laji ja etenkin käännöksiä ja startteja kehitellään edelleen. Kun joku keksii tehdäkin käännöksen / startin eritavalla siten, että se on edelleen sääntöjen mukainen, leviää tieto hyvin nopeasti ja variaatio otetaan muuallakin kokeiluun. Saman aikaisesti muita variaatioita ei kielletä käyttämästä, jolloin uimareille jää enemmän varaa valita, mikä vaihtoehto on paras. Tämä erilaisten vaihtoehtojen laaja kirjo uinnissa johtuu todennäköisimmin siitä, ettei tutkimusaineistoa ole tarpeeksi, eikä vaadittavien tutkimusten tekeminen ole vielä kovin yksinkertaista. Nykyään on mahdollista käyttää EMG:tä, voimalevyjä ja 3D analysointia uinnin tutkimiseen. Näitä menetelmiä tulisi kehittää yhä helpommin vedessä käytettäviksi.

LÄHTEET

- Arellano, R. (1999). Vortices and Propulsion. Applied Proceedings of the XVII International Symposium on Biomechanics in Sports: SWIMMING 53–65.
- Arellano, R., Pardillo, S., & Gavilán, A. (2002). Underwater undulatory swimming: Kinematic characteristics, vortex generation and application during the start, turn and swimming strokes. In Proceedings of the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports, Universidad de Granada.
- Atkison, R.R., Dickey, J.P., Dragunas, A. & Nolte, V. 2014. Importance of sagittal kick symmetry for underwater dolphin kick performance. *Human Movement Science* 33, 298–311.
- Barbosaa, T., M., Costab, M., J. & Marinhoc, D., A. 2013. Proposal of a deterministic model to explain swimming performance. *International Journal of Swimming Kinetics* 2, 1–54.
- Beretić, I., Durovic, M., Okičić, T., Dopsaj, M. 2013. Relations between Lower Body Isometric Muscle Force Characteristics and Start Performance in Elite Male Sprint Swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine* 12, 639–645.
- Burket, B., Mellifont, R. & Mason, B. 2010. The Influence of Swimming Start Components for Selected Olympic and Paralympic Swimmers. *Journal of Applied Biomechanics* 2, 134–141.
- Cohen, R. C. Z., Cleary, P. W. & Mason, B. R. 2011. Simulations of dolphin kick swimming using smoothed particle hydrodynamics. *Human Movement Science* 31, 604–619.
- Colwin, C. M. 2002. Breakthrough Swimming. Human Kinetics, United States of America.
- Connaboy, C., Coleman, S. & Sanders, R. H. 2009 Hydrodynamics of undulatory underwater swimming: A review. *Sports Biomechanics* 8, 360–380.

- Cronin, J., Jones, J. & Frost, D. 2007. The relationship between dry-land power measures and tumble turn velocity in elite swimmers. *Journal of Swimming Research*, 17, 17–23.
- De Jesus, K., De Jesus, K., Figueiredo, P., Gonçalves, P., Pereira, S., Vilas-Boas, J. & Fernandes, R. 2013. Backstroke start kinematic and kinetic changes due to different feet positioning. *Journal of Sports Sciences* 31, 1665–1665.
- De Jesus, K., De Jesus, K., Medeiros, A.I.A., Gonçalves, P., Figueiredo, P., Fernandes, R.J. & Vilas-Boas, J.P. 2015. Neuromuscular Activity of Upper and Lower Limbs during two Backstroke Swimming Start Variants. *Journal of Sports Science and Medicine* 14, 591–601.
- Elipot, M., Hellard, P., Tair, R., Boissière, E., Rey, J.L., Lecat, S., & Houel, N. (2009). Analysis of swimmers velocity during the underwater gliding motion following grab start. *Journal of Biomechanics*, 42, 1367–1370.
- Guillaume, N., Benoit, B., Briac, C. & Eric, B. 2007. How are Strouhal number, drag, and efficiency adjusted in high level underwater monofin-swimming? *Human Movement Science* 26, 426–442.
- Hochstein, S. & Blickhan, R. 2011. Vortex re-capturing and kinematics in human underwater undulatory swimming. *Human Movement Science* 30, 998–1007.
- Houel, N., Elipot, M., André, F. & Hellard, P. 2013. Influence of Angles of Attack, Frequency and Kick Amplitude on Swimmer's Horizontal Velocity During Underwater Phase of a Grab Start. *Journal of Applied Biomechanics* 29, 49–54.
- Loebbecke, A., Mittal, R., Fish, F. & Mark, R. 2008. A comparison of the kinematics of the dolphin kick in humans and cetaceans. *Human Movement Science* 28, 99–112.
- Loebbecke, A., Mittal, R., Mark, R. & Hahn, J. 2009. A computational method for analysis of underwater dolphin kick hydrodynamics in human swimming. *Sports Biochaics* 8, 60–77.

Lyttle, A.D., Blanksby, B.A., Elliott, B.C. & Lloyd, D.G. 1998. Optimal depth for streamlined gliding. *Biomechanics and Medicine in Swimming VIII* s. 165–170. Gummerus Printing, Jyväskylä, Finland 1999.

Lyttle, A.D., Blanksby, B.A., Elliott, B.C. & Lloyd, D.G. 2000. Net forces during tethered simulation of underwater streamlined gliding and kicking techniques of the freestyle turn. *Journal of Sports Sciences* 18, 801–807.

Marinho, D. A., Reis, V. M., Alves, F. B., Vilas-Boas, J. P., Machado, L., Silva, A. J. & Roubou, A. I. 2009. Hydrodynamic Drag During Gliding in Swimming. *Journal of Applied Biomechanics* 25, 253–257.

McMaster, W.C., Troup J.P. 2001. Competitive Swimming Biomechanics: Freestyle. *International SportMedicine Journal* 6, 1–8.

Nevalainen, P., Kauhanen, A., Raduly-Baka, C., Laakso, M.-J. & Heikkonen, J. 2016 Video-based Swimming Analysis for Fast Feedback. *International Conference on Pattern Recognition Applications and Methods*.

Pacholak, S., Hochstein, S., Rudert, A. & Brücker, C. 2014. Unsteady flow phenomena in human undulatory swimming: a numerical approach. *Sports Biomechanics* 13, 176–194.

Sanders, R. H. (2002). New analysis procedure for giving feedback to swimming coaches and swimmers. Paper presented at the XXth International Symposium on Biomechanics in Sports – Applied Program – Swimming. Cáceres: University of Extremadura.

Seifert, L., Chollet, D. & Sanders, R. 2010. Does Breathing Disturb Coordination in Butterfly? *International Journal of Sports Medicine* 31, 167–173.

Shimojo, H., Sengoku, Y., Miyoshi, T., Tsubakimoto, S. & Takagi, H. 2014. Effect of imposing changes in kick frequency on kinematics during undulatory underwater swimming at maximal effort in male swimmers. *Human Movement Science* 38, 94–105.

Slawson, S.E., Conway, P.P., Cossor, J., Chakravorti, N. & West, A.A. 2013. The categorisa-

tion of swimming start performance with reference to force generation on the main block and footrest components of the Omega OSB11 start blocks. *Journal of Sports Sciences* 31, 468–478.

Strzala, M., Krezalek, P., Głab, G., Kaca, M., Ostrowski, A., Stanula, A. & Tyka, A.K. 2013. Intra-Cyclic Phases of Arm-Leg Movement and Index of Coordination in Relation to Sprint Breaststroke Swimming in Young Swimmers. *Journal of Sports Science and Medicine* 12, 690–697.

Takeda, T., Takagi, H. & Tsubakimoto, S. 2012. Effect of inclination and position of new swimming starting block's back plate on track-start performance. *Sports Biomechanics* 11, 370–381.

Toussaint, H.M. & Hollander, A.P. 1994. Energetics of competitive swimming. Implications for training programmes. *Sports Medicine* 18, 384–405.

Webb, P. W., KostECKI, P. T., and Stevens, E. D. (1984). The effect of size and swimming speed on locomotor kinematics of Rainbow Trout. *Journal of Experimental Biology*, 109, 77–95.

Willems, T.M., Cornelis, J.A.M., De Deurwaerder, L.E.P., Roelandt, F. & De Mits, S. 2014. The effect of ankle muscle strength and flexibility on dolphin kick performance in competitive swimmers. *Human Movement Science* 36, 167–176.

<http://www.iccm mediasport.com/products/backstroke-start> (viitattu 9.4.2017)

<http://www.fina.org/content/swimming-rules> (viitattu 10.9.17)

https://www.uimaliitto.fi/site/assets/files/1117/uintiurheilun_saantokirja_2015-2017_-_3_uintisaannot_2016-11-15.pdf (viitattu 10.9.17)